



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

---

---

**DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES**

**PLANTA DE CALIDAD DE *Pinus leiophylla* Y *Pinus teocote* USANDO  
COMPOSTAS DE CORTEZA Y ASERRÍN DE PINO**

**TESIS**

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES**

**Presenta:**

**SEBASTIÁN ESCOBAR ALONSO**

**Bajo la supervisión de:**

**DIRECTOR: M.C. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DIRECCION DE SERVICIOS ESCOLARES  
COMISION DE EXAMENES PROFESIONALES



Chapingo, Estado de México, julio de 2019

**PLANTA DE CALIDAD DE *Pinus leiophylla* Y *Pinus teocote* USANDO  
COMPOSTAS DE CORTEZA Y ASERRÍN DE PINO**

Tesis realizada por **SEBASTIÁN ESCOBAR ALONSO** 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: \_\_\_\_\_

  
**M.C. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO**

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
**DR. LEOPOLDO MOHEDANO CABALLERO**

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
**M.C. ANTONIO VILLANUEVA MORALES**

## CONTENIDO

LISTA DE CUADROS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
DEDICATORIA .....	viii
AGRADECIMIENTOS .....	ix
DATOS BIOGRÁFICOS.....	x
RESUMEN GENERAL.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....	13
1.1 Literatura citada.....	15
CAPITULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	19
2.1 <i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schtdl. & Cham.....	19
2.2 <i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schtdl. et Chames .....	21
2.3 Producción de planta en contenedores .....	24
2.4 Calidad de planta .....	28
2.5 Trabajos relacionados con el tema de investigación .....	30
2.6 Literatura citada.....	32
CAPITULO 3. Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género <i>Pinus</i> en México .....	39
3.1 Introducción .....	40
3.2 Metodología .....	43
3.3 Investigaciones realizadas y especies estudiadas .....	43

3.4 Variables e índices morfológicos .....	45
3.5 Variables fisiológicas.....	51
3.6 Pruebas de desempeño .....	55
3.7 Comprobación de supervivencia en campo.....	56
3.8 Conclusiones .....	58
3.9 Referencias.....	58
CAPITULO 4. Compostas de corteza y aserrín de pino para la producción de	
<i>Pinus leiophylla</i> de calidad.....	
4.1 Introducción .....	67
4.2 Materiales y métodos.....	68
4.2.1 Caracterización de mezclas de sustratos.....	69
4.2.2 Etapa de vivero .....	71
4.2.3 Variables morfológicas e índices de calidad.....	72
4.2.4 Concentración nutrimental.....	73
4.2.5 Evaluación de supervivencia inicial e incrementos en altura y diámetro	
.....	74
4.2.6 Diseño experimental y análisis estadístico .....	74
4.3 Resultados y discusión .....	75
4.3.1 Propiedades fisicoquímicas de mezclas.....	75
4.3.2 Efecto de las mezclas de sustratos en variables morfológicas e índices	
de calidad.....	78
4.3.2 Efecto de las mezclas de sustratos en variables fisiológicas .....	82
4.3.3 Supervivencia en campo e incrementos.....	84

4.4 Conclusiones .....	85
4.5 Reconocimientos .....	85
4.6 Referencias.....	86
CAPITULO 5. <i>Pinus teocote</i> de calidad usando compostas de corteza y aserrín de pino .....	90
5.1 Introducción .....	90
5.2 Materiales y métodos.....	92
5.2.1 Mezclas de sustratos.....	92
5.2.2 Etapa de vivero .....	93
5.2.3 Variables morfológicas e índices de calidad.....	94
5.2.4 Variables fisiológicas .....	94
5.2.5 Fase de campo.....	95
5.2.6 Diseño experimental y análisis estadístico .....	95
5.3 Resultados y discusión .....	96
5.3.1 Propiedades fisicoquímicas de mezclas.....	96
5.3.2 Efecto de las mezclas de sustratos en variables morfológicas e índices de calidadg.....	97
5.3.3 Efecto de las mezclas de sustratos en la concentración nutrimental .	100
5.3.4 Incrementos y supervivencia en campo .....	102
5.4 Conclusiones .....	103
5.5 Agradecimientos .....	103
5.6 Referencias.....	104

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Variables e índices morfológicos en algunas especies del género <i>Pinus</i> .....	46
Cuadro 2. Algunos indicadores fisiológicos en varias especies estudiadas.....	53
Cuadro 3. Estudios revisados sobre evaluación de supervivencia en campo...	57
Cuadro 4. Tratamientos utilizados con diferentes mezclas de sustratos. ....	70
Cuadro 5. Medias muestrales de tratamientos para las propiedades fisicoquímicas de mezclas de sustratos.....	75
Cuadro 6. Composición nutrimental de compostas.....	78
Cuadro 7. Respuesta a las mezclas de sustratos en el crecimiento inicial de <i>P. leiophylla</i> en vivero. ....	79
Cuadro 8. Concentración nutrimental foliar de plantas en <i>P. leiophylla</i> .....	83
Cuadro 9. Resultados de supervivencia e incrementos en diámetro en <i>P. leiophylla</i> .....	84
Cuadro 10. Mezclas de sustratos utilizados.....	92
Cuadro 11. Propiedades fisicoquímicas de mezclas de sustratos (Fuente: Escobar <i>et al.</i> , n.d., enviado). ....	96
Cuadro 12. Respuesta a las mezclas de sustratos en el crecimiento inicial de <i>P. teocote</i> en vivero.....	97
Cuadro 13. Concentración nutrimental foliar de <i>P. teocote</i> producido en diferentes tratamientos. ....	101
Cuadro 14. Resultados de incrementos en diámetro y supervivencia en campo en <i>P. teocote</i> .....	103

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Frecuencia de estudios por especie. ....	44
Figura 2. Proporción de estudios encontrados por variable morfológica .....	45
Figura 3. Lignotubérculo en <i>P. leiophylla</i> de diez meses. ....	73
Figura 4. Crecimiento de <i>P. leiophylla</i> en altura durante la etapa de vivero. ....	79
Figura 5. Crecimiento de <i>P. leiophylla</i> en diámetro durante la etapa de vivero. ....	80
Figura 6. Modelo regresión lineal entre PSL y D.....	81
Figura 7. Comparación plantas sin ( <i>izquierda, P. teocote</i> ) y con lignotuberculo ( <i>derecha, P. leiophylla</i> ) de la misma edad y proceso de producción. ....	82
Figura 8. Crecimiento de <i>P. teocote</i> en altura durante la etapa de vivero . ....	99
Figura 9. Crecimiento de <i>P. teocote</i> en diámetro durante la etapa de vivero. ....	100

## **DEDICATORIA**

***A mi madre Gladys Amanda Alonso Moyano, mi motor, soporte y sustento.***

***A José de Jesus Alonso Moyano, mi tío, padre y ejemplo.***

***A mi familia y su apoyo incondicional a pesar de los kilómetros.***

***A mis amigos mexicanos, que nunca me dejaron solo.***

***A Colombia, mi país natal y a México, el país que me adoptó.***

***A los futuros estudiantes de maestría. El mundo académico es difícil pero gratificante.***

***A Dios y a la vida.***



## **AGRADECIMIENTOS**

***Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgarme la beca para poder realizar mis estudios de maestría.***

***A la Dirección General de Investigación y Posgrado (DGIP) por el financiamiento otorgado para el desarrollo del proyecto y mi estancia de investigación en España.***

***Al Sr. Alejandro Mota Rivera por las semillas de Pinus teocote y Pinus leiophylla y los sustratos aquí discutidos.***

***Al Sr. Gerardo Mendoza Ángeles y Leopoldo Rosas García; que, con su ayuda, tiempo y paciencia, este proyecto de investigación salió adelante.***

***A los Srs. Alexis González Morales y Jorge Luis Nieves Juárez, por su apoyo en la producción y mantenimiento de la planta en vivero.***

***Al M.Sc. José Luis Navarro Sandoval, amigo y tutor; simplemente, gracias, por todo.***

***A los miembros del comité asesor Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, Dr. Leopoldo Mohedano Caballero y el Dr. Antonio Villanueva Morales; gracias por su disposición, enseñanzas y esfuerzo.***

***A cada uno que estuvo involucrado en la más mínima medición, gracias.***

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

### **Datos personales**

Nombre: Sebastián Escobar Alonso

Fecha de nacimiento: 7 de julio de 1994

Lugar de nacimiento: Villavicencio, Meta, Colombia

CURP: EOAS940707HNESLB07

Profesión: Ingeniero Ambiental

Cédula profesional: 76238-331966 VLL

### **Desarrollo académico:**

Bachillerato: Institución Educativa Juan Pablo II, Villavicencio, Meta, Colombia

Licenciatura: Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.



## RESUMEN GENERAL

Planta de calidad de *Pinus leiophylla* y *Pinus teocote* usando compostas de corteza y aserrín de pino

La búsqueda de sustratos alternativos a la turba de musgo es una necesidad de carácter mundial, dadas las implicaciones ambientales y económicas que trae consigo su uso. Como candidatos a sustitutos aparecen las compostas de corteza y aserrín de pino, por su fácil accesibilidad y relativo bajo precio. Los objetivos del presente estudio fueron: a) estudiar el desarrollo y calidad de planta de *Pinus leiophylla* y *Pinus teocote* producida en vivero, utilizando mezclas de sustratos con compostas de corteza y aserrín de pino, mediante indicadores morfológicos y fisiológicos, incrementos y supervivencia en campo; y b) describir las características fisicoquímicas de las mezclas propuestas. La calidad obtenida para ambas especies fue elevada en cualquiera de los tratamientos propuestos; sin embargo, el tratamiento T3 (40% composta de corteza + 60% de aserrín) superó en algunas variables al testigo. La supervivencia promedio obtenida en campo, bajo condiciones ambientales severas (saturación del suelo en la época de lluvias y sequía intensa) fue de 58.6% y 47.4% para *P. leiophylla* y *P. teocote*, respectivamente. Se recomienda la aplicación de las actividades culturales aquí descritas y hacer énfasis en aquellas que mejoren el desarrollo radical, como fertilizar con una mayor cantidad de fósforo, usar contenedores de mayor capacidad y hongos micorrízicos. Para *P. leiophylla* se propuso usar el lignotubérculo como parámetro de calidad, debido a su importancia fisiológica y ecológica. De manera paralela, se obtuvo un estado del arte sobre la calidad de planta del género *Pinus* en México, el cual arrojó que existe un gran margen para usar pruebas de desempeño y combinar variables morfo y fisiológicas en la determinación de la calidad. También se estableció que aproximadamente el 30% de las investigaciones realizaron pruebas de supervivencia en campo y que solo 17 de 57 taxa en México han sido estudiados.

**Palabras clave:** sustrato, estado del arte, índices de calidad, supervivencia en campo, sustratos alternativos.

## ABSTRACT

Seedling quality of *Pinus leiophylla* and *Pinus teocote* using bark compost and pine sawdust compost

The search for alternative growing media, instead of peat moss, is a global necessity given the environmental and economic implications that its use implies. Pine bark and pine sawdust composts appear as substitute candidates because of their accessibility and relatively low price. The objectives of the present study were: a) to study the development and seedling quality of *Pinus leiophylla* and *Pinus teocote* grown in forest nursery using mixtures of pine bark and pine sawdust composts as growing media, using morphological and physiological parameters, increments and survival in the field; and b) to describe the physicochemical characteristics of the proposed mixtures. The seedling quality obtained for both species was high in any of the proposed treatments, however, the T3 treatment (40% bark compost + 60% sawdust compost) was better than the control treatment for some variables. The average survival obtained in the field with difficult environmental conditions (soil waterlogging during the rainy season and an intense drought season) was 58.6% and 47.4% for *P. leiophylla* and *P. teocote*, respectively. It is recommended to apply the cultural activities described here and to emphasize those that improve radical development, as to fertilize with a greater amount of phosphorus, to use higher capacity containers and mycorrhizal fungus. For *P. leiophylla*, it was proposed to use the lignotuber as a seedling quality parameter due to its physiological and ecological importance. Also was carried out a state of the art on seedling quality for the genus *Pinus* in Mexico. It showed that there is a great margin to use performance tests as well as to combine morphological and physiological variables to determine the seedling quality. It was also determined that approximately 30% of the investigations carried out survival tests in the field and that only 17 of 57 taxa in Mexico have been studied.

**Keywords:** growing media, state of the art, seedling quality indexes, field survival, alternative growing media.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El género *Pinus* Linneo es el más grande de la familia Pinaceae (Ying & Chen, 2011). Existen alrededor de 120 taxa, de los cuales, México cuenta con más del 40% creciendo de manera natural en sus territorios, con aproximadamente 49 taxa, de los cuales, 22 son endémicos del país (Gernandt & Pérez-de La Rosa, 2014). Lo anterior, cataloga a este país como el de mayor riqueza y diversidad de pinos del mundo (Farjon & Style, 1997).

Sin embargo, los bosques de pino de México hacen parte de un fenómeno mundial al ver que estos ecosistemas están siendo fuertemente fragmentados y modificados, principalmente por la tala ilegal, la introducción de especies exóticas, la expansión de tierras agrícolas y regímenes de fuego alterados (Novo-Fernández *et al.*, 2018; Rodríguez-Trejo, 2014; Stanturf, Palik, Williams, Dumroese, & Madsen, 2014). Lo anterior, hace crucial desarrollar estrategias para lograr un suministro sostenible de germoplasma o material de siembra, para cualquier proyecto de restauración ecológica basado en plantas (Broadhurst, Jones, Smith, North, & Guja, 2015). Como señalan Haase & Davis (2017), la disminución de la deforestación y otras formas de degradación de bosques requiere la implementación incasable de programas de forestación y reforestación, especialmente, la plantación de brinzales producidos en viveros forestales.

En los viveros forestales el manejo de la humedad durante el proceso de germinación favorece el reblandecimiento de la cubierta de la semilla o tejido de protección, estimulando la actividad enzimática, el transporte de nutrimentos y el crecimiento del eje embrionario (Marcos, 1986). Además, se facilita el control de variables como la temperatura, el riego, el estado fitosanitario y el sustrato (Velásquez & Amador, 2007). Esta última es una variable de suma importancia, puesto que el sustrato debe poseer buena capacidad de intercambio catiónico, esterilidad biológica, pH adecuado, capacidad de retención de agua y buen

drenaje, para que la producción de plantas de calidad en contenedor aumente (Oliveira & Hernández, 2008); entendiéndose una planta de calidad como aquella que reúne una serie de atributos morfológicos y fisiológicos, que le darán la capacidad de sobrevivir a las condiciones del sitio donde se realizará su plantación (Rodríguez, 2008).

En la producción tecnificada de planta forestal a nivel mundial, el sustrato más usado es la turba de musgo, también llamada en inglés peat moss, por sus características agronómicas deseables (Pane, Spaccini, Piccolo, Scala, & Bonanomi, 2011). Sin embargo, la turba es importada desde el norte y centro de Europa, su costo aumenta continuamente y sus características fisicoquímicas cada vez son más variables (Chrysargyris, Stamatakis, Moustakas, Prasad, & Tzortzakis, 2017). Por esta razón es que existe una tendencia global en tratar de reducir su uso y minimizar la huella antropogénica producida en los pantanos de donde se extrae (Caron & Rochefort, 2013).

Esta tendencia ha obligado a buscar nuevas alternativas de sustratos que sean de buena calidad y localmente disponibles a un bajo precio, como el uso residuos orgánicos o subproductos (Chrysargyris *et al.*, 2017). Distintos materiales como la fibra de coco, también conocida como bonote (Abad, Noguera, Puchades, Maquieira, & Noguera, 2002; Rose & Haase, 2000), biochar (Dumroese *et al.*, 2018; Margenot *et al.*, 2018), composta de residuos de poda (Benito, Masaguer, De Antonio, & Moliner, 2005), residuos de ramas (Dhen, Abed, Zouba, Haouala, & AlMohandes Dridi, 2018), compostas de estiércol de pollo y vermicompost (Huang, Niu, Feagley, & Gu, 2019), y muchos más, representan opciones prometedoras como sustratos para la producción de especies forestales.

Ante una gran gama de opciones para utilizar materiales como sustitutos a la turba de musgo, se ha enfocado un gran interés por encontrar el sustrato óptimo para cada especie forestal debido a que cada una tiene requerimientos fisicoquímicos distintos (Niembro & Fierros, 1990). Diferentes autores, como

Aparicio Rentería, Cruz Jiménez, & Alba Landa (1999), Altamirano-Quiroz & Aparicio-Rentería (2002) y Hernández-Zarate, Aldrete, Ordáz-Chaparro, López-Upton, & López-López (2014), se han enfocado en encontrar sustratos, y su composición, especialmente para la propagación de material genético de especies del género *Pinus*, reconociendo la importancia que tiene este género en el ámbito económico, social y ambiental en México. En este ámbito, aparecen dos especies: *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl. & Cham. y *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., tienen una gran importancia por su amplia distribución y uso en este país.

De la especie *P. teocote* investigadores como Alba Landa, Ramírez García, & Aparicio Rentería (2007) y Alba, Mendizabal, Ramirez, & Méndez (2002), a través de ensayos de procedencia-progenie, han determinado cuáles serán, tanto semillas como plántulas, las de mejor calidad para distintos ambientes, adquiriendo potencial forestal y ambiental para actividades de reforestación y restauración por la información ya generada. De la especie *P. leiophylla*, pese a su amplia distribución, que va desde Estado de Chihuahua hasta el Estado de Oaxaca, en altitudes de 1600 a 3000 msnm, existe poca información en la literatura. Es de reconocerse su importancia ecológica y económica, ya que de esta especie se obtienen resinas, pulpas y material de construcción (Perry, 1991). Es importante realizar investigaciones que permitan ampliar la información disponible sobre este pino para su manejo integral. De esta manera, la presente investigación busca estudiar el desarrollo y calidad de brinzales de *Pinus teocote* y *Pinus leiophylla* usando mezclas de sustratos con compostas de corteza y aserrín de pino, en condiciones de vivero.

## 1.1 Literatura citada

Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maquieira, A., & Noguera, V. (2002). Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technology*, 82(3), 241–245. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00189-4](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00189-4)

- Alba, J., Mendizabal, L., Ramirez, E., & Méndez, M. de la P. (2002). Establecimiento de tres ensayos de procedencia/progenie de *Pinus teocote* Schl. et Cham. en el estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 4(2), 17–22.
- Alba Landa, J., Ramírez García, E. O., & Aparicio Rentería, A. (2007). Correlación de semillas y plántulas de *Pinus teocote* Schl. et Cham. De tres procedencias del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 9(1), 23–27.
- Altamirano-Quiroz, M. T., & Aparicio-Rentería, A. (2002). Efecto de la lombricomposta como sustrato alternativo en la germinación y crecimiento inicial *Pinus oaxacana* Mirov. y *Pinus rudis* Endl. *Foresta Veracruzana*, 4(1), 35–40.
- Aparicio Rentería, A., Cruz Jiménez, H., & Alba Landa, J. (1999). Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Pinus patula* Sch. et Cham., *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus pseudostrabus* Lindl. en condiciones de vivero. *Foresta Veracruzana*, 1(2), 31–34.
- Benito, M., Masaguer, A., De Antonio, R., & Moliner, A. (2005). Use of pruning waste compost as a component in soilless growing media. *Bioresource Technology*, 96(5), 597–603. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.006>
- Broadhurst, L. M., Jones, T. A., Smith, F. S., North, T., & Guja, L. (2015). Maximizing seed resources for restoration in an uncertain future. *BioScience*, 66(1), 73–79. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv155>
- Caron, J., & Rochefort, L. (2013). Use of peat in growing media: State of the art on industrial and scientific efforts envisioning sustainability. *Acta Horticulturae*, 982, 15–22. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.982.1>
- Chrysargyris, A., Stamatakis, A., Moustakas, K., Prasad, M., & Tzortzakis, N. (2017). Evaluation of Municipal Solid Waste Compost and/or Fertigation as Peat Substituent for Pepper Seedlings Production. *Waste and Biomass Valorization*, 9(12), 2285–2294. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0124-6>
- Dhen, N., Abed, S. ben, Zouba, A., Haouala, F., & AlMohandes Dridi, B. (2018). The challenge of using date branch waste as a peat substitute in container nursery production of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 7(4), 357–364. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0221-y>
- Dumroese, R. K., Pinto, J. R., Heiskanen, J., Tervahauta, A., McBurney, K. G., Page-Dumroese, D. S., & Englund, K. (2018). Biochar can be a suitable replacement for Sphagnum peat in nursery production of *Pinus ponderosa* seedlings. *Forests*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/f9050232>
- Farjon, A., & Style, B. T. (1997). *Pinus (Pinaceae)*. The New York Botanical Garden, Bronx: Flora Neotropica monograph 75.
- Gernandt, D. S., & Pérez-de La Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(Supl.), 126–133. <https://doi.org/10.7550/rmb.32195>



- Haase, D., & Davis, A. (2017). Developing and supporting quality nursery facilities and staff are necessary to meet global forest and landscape restoration needs. *Reforesta*, 4, 69–93. <https://doi.org/10.21750/REFOR.4.06.45>
- Hernández-Zarate, L., Aldrete, A., Ordáz-Chaparro, V. M., López-Upton, J., & López-López, M. Á. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia*, 48(6), 627–637.
- Huang, L., Niu, G., Feagley, S. E., & Gu, M. (2019). Evaluation of a hardwood biochar and two composts mixes as replacements for a peat-based commercial substrate. *Industrial Crops and Products*, 129, 549–560. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.044>
- Marcos, J. (1986). *Germinação de sementes*. In Semana de atualização em produção de sementes (pp. 11-39). Campinas: Fundação Cargill.
- Margenot, A. J., Griffin, D. E., Alves, B. S. Q., Rippner, D. A., Li, C., & Parikh, S. J. (2018). Substitution of peat moss with softwood biochar for soil-free marigold growth. *Industrial Crops and Products*, 112, 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.053>
- Niembro, R., & Fierros, G. (1990). *Factores ambientales que controlan la germinación de las semillas de pinos*. En: Memoria. Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales (pp. 124-144). México: Centro de Genética Forestal.
- Novo-Fernández, A., Franks, S., Wehenkel, C., López-Serrano, P. M., Molinier, M., & López-Sánchez, C. A. (2018). Landsat time series analysis for temperate forest cover change detection in the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, 230–244. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.015>
- Oliveira, A., & Hernández, F. (2008). Absorção de nutrientes em mudas de berinjela cultivadas em sustratos alternativos. *Revista Ciencia Agronômica*, 39(4), 583-589.
- Pane, C., Spaccini, R., Piccolo, A., Scala, F., & Bonanomi, G. (2011). Compost amendments enhance peat suppressiveness to *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia minor*. *Biological Control*, 56(2), 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.10.002>
- Perry, J. P. (1991). *The pines of Mexico and Central America*. Portland, Oregon: Timber Press.
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal*. México, D.F., Estados Unidos Mexicanos: Mundi Prensa México, S.A. de C.V.
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2014). *Incendios de vegetación, su ecología, manejo e historia* (vol. 1). (B. básica de Agricultura, Ed.). México.
- Rose, R., & Haase, D. L. (2000). The Use of Coir as a Containerized Growing Medium for Douglas-fir Seedlings. *Native Plants Journal*, 1(2), 107–111. <https://doi.org/doi:10.3368/npj.1.2.107>
- Stanturf, J. A., Palik, B. J., Williams, M. I., Dumroese, R. K., & Madsen, P. (2014). Forest Restoration Paradigms. *Journal of Sustainable Forestry*, 33(SUP1), 37–41. <https://doi.org/10.1080/10549811.2014.884004>

- Velásquez, V., & Amador, M. (2007). Análisis sobre la investigación fitopatológica de Chile seco (*Capsicum ornearum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 25(1), 80-84.
- Ying, T. S., & Chen, M. L. (2011). *Plant Geography of China*. Shanghai Scientific and Technical Publishers. Shanghai, China. 598 pp.

## CAPITULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 *Pinus leiophylla* Schiede ex Schlttdl. & Cham

*Pinus leiophylla* Schiede ex Schlechtendal & Chamisso es una especie nativa de México, con una importante relevancia económica y ecológica, el cual se distribuye desde Chihuahua en el norte del país hacia el sur, a través de la Sierra Madre Occidental en Oaxaca, y a lo largo del Eje Neovolcánico en el centro de México (Martínez, 1948; Perry, 1991). Esta especie ocasionalmente forma masas puras, pero la mayoría de las veces se encuentra en asociación con otros pinos y robles en suelos francos arenosos a arcillosos con una acidez moderada a neutra del suelo (Dvorak, Hodge, & Kietzka, 2007). Se asocia con especies como *P. engelmannii*, *P. arizonica*, *P. teocote*, *P. lumholtzii*, *Juniperus* sp., y *Quercus* sp. en el norte de México, y con *P. montezumae* Lamb., *P. ayacahuite*, *P. pseudostrobus*, *P. michoacana*, *P. patula*, *P. oaxacaz*, *Abies religiosa*, *A. guatemalensis*, *Quercus* sp., *Arbutus* sp., y otras especies en el centro (Eguiluz, 1982; Perry, 1991).

*P. leiophylla*, también conocida como ocote, ocote prieto, pino chino, smooth-leaved pine o pino Chihuahua (Martínez, 1948), tiene un estado de conservación de preocupación menor (IUCN, 2001). Se puede encontrar en altitudes que van desde los 1600 a 3000 msnm; puede tolerar temperaturas desde los -15 a 38°C en zonas con climas templados a templado cálidos, donde las temperaturas puede bajar hasta el punto de congelación en lo más frío del invierno (Perry, 1991). Es un árbol de 20 a 30 m y ocasionalmente puede llegar a los 35 m y un diámetro a la altura del pecho de 35 a 80 cm (Perry, 1991).

Los conos que produce esta especie son de forma ovoide a ovocónica y simétricos, cuando están frescos, tienen un color marrón amarillento lustroso, y un grosor de 4 a 8 cm y de 3.5 cm cuando están cerrados (López-Upton, 1993). Las semillas son de color gris a negro, de 3 a 4.5 mm de largo y aproximadamente

3 mm de ancho; el ala de la semilla es amarillenta, articulada, de 10 a 17 mm de largo y de 5 a 8 mm de ancho, pudiéndose aproximadamente 85 000 semillas por kilogramo (Perry, 1991).

Esta especie produce una madera relativamente densa, pesada y dura, con un duramen de color marrón pálido, que la hace útil principalmente para la construcción, fabricación de durmientes de trenes y combustible (López-Upton, 1993). Es una importante productora de resina que se utiliza en programas de reforestación y conservación de suelos por su capacidad de establecerse en lugares pobres y pedregosos y presentar resistencia relativa al estrés abiótico (Musálem & Martínez-García, 2003). Además, es especial porque, a diferencia de muchas especies de pino, desarrolla brotes desde el cuello de la raíz y a lo largo de sus ramas y tronco en respuesta a la defoliación, la poda, el fuego y otros factores (Lanner, 2002). Por tales motivos, *P. leiophylla* ha sido usada en plantaciones experimental alrededor del planeta para el control de la erosión y conservación del suelo en Asia, África, el Caribe, sur América y Oceanía (Rodríguez Franco 2002 citado por Jimenez-Casas & Zwiazek, 2014).

Pese a que *P. leiophylla* tiene un importante protagonismo ecológico y económico y que presenta amplia distribución natural, su población en la región central de México se ha reducido (Morales-Velázquez, Ramírez-Mandujano, Delgado-Valerio, & López-Upton, 2010). El cambio en los regímenes de fuego y el cambio de uso del suelo para el establecimiento de cultivos agrícolas y frutícolas han sido la principal causa de destrucción de poblaciones conformadas con árboles de esta especie (Gómez-Jiménez, Ramírez-Herrera, Jasso-Mata, & López-Upton, 2010; Rodríguez-Trejo, 2014). Lo anterior hace imperativo generar programas de producción de planta de calidad en vivero y fomentar trabajos de investigación en torno al manejo de esta especie. Han sido varios los estudios publicados sobre esta especie.

En ensayos de procedencias en México se puede encontrar estudios como los de Martínez, Vargas, Muñoz, & López (2002), Martínez, Vargas, López, & Muñoz (2002) y Castelán, Jiménez, López, Campos, & Vargas (2015), determinando que la mejor procedencia de esta especie es Michoacán. También se han probado procedencias de México en otras regiones del Brasil y Sudáfrica (Dvorak *et al.*, 2007). Evaluando la supervivencia en campo, aparecen Palacios *et al.* (2015), probando la espuma fenólica hidratada aumentando hasta en un 26% la probabilidad de sobrevivir.

## **2.2 *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl. et Chames**

*Pinus teocote* Schiede ex Schltdl. et Chames es una especie con distribución latitudinal muy amplia en México (Gernandt & Pérez, 2014). Según Contreras & Luna (2007), esta especie parece ser la especie de las gimnospermas más ampliamente distribuida en el territorio mexicano, encontrándose en 23 estados, y representa los árboles dominantes en algunos bosques de galería de México. Tiene un rango altitudinal que puede ir desde los 1000 hasta los 3300 msnm, ocupando lugares donde el régimen de precipitación es usualmente moderado, 500-1000 mm, aunque tolera valores mayores en zonas de Chiapas (Farjon & Styles, 1997).

*P. teocote*, también conocida por los nombres comunes de Ocote, Ocotl, Pino Real, Pino Chino, Pino Colorado, Pino Rosillo, Teocotl, Xakilche, Ocotl, Jalocote y en la lengua náhuatl como Xalócotl, se encuentra asociada a pinares o en bosques de pino-encino relativamente abiertos, usualmente en cordilleras secas y rocosas; también se le encuentra asociada con bosques de latifoliadas al sur de su área de distribución, en áreas con suelos poco profundos y eventualmente calcáreos (Farjon, Perez de la Rosa, & Style, 1997).

En la parte sur del país, el fenotipo de esta especie generalmente es de mala calidad y crece en laderas de grava o rocas bastante secas; en una porción del

norte, específicamente en Durango y Nuevo León, se pueden identificar rodales de muy buen aspecto en sitios húmedos y bien drenados; y en altitudes más altas, donde se forma nieve y ocurren heladas durante los meses de invierno, esta especie sobrevive (Martínez, 1948). Así pues, es capaz de sobrevivir a temperaturas que van desde los -14°C hasta 38°C (Eguiluz, 1982).

Es un árbol de talla mediana, de 8 a 25 m; cuando alcanzan una edad madura las ramas son horizontales y ligeramente inclinadas formando una copa redondeada (Martínez, 1948). Según Ortiz & Gernandt (2016), quienes describieron las características morfológicas del género *Pinus*, subsección *Australes*, en Guerrero y Oaxaca, la especie *P. teocote* tiene una funda de fascículo persistente; una longitud de acículas de 9 a 16 cm y pedúnculo de 0.7 a 1.2 cm; la longitud del cono es de 5 a 6.5 cm, con forma plana o levantada, el número de hojas por fascículo es tres y, ocasionalmente, cuatro.

Las semillas de esta especie son muy pequeñas, de 3 a 5 mm de longitud, color gris-café oscuro, con ala articulada de color más claro, translúcida, de 12 a 18 por 6 a 8 mm (Farjon *et al.*, 1997). Se han registrado 161 350 semillas kg<sup>-1</sup> por Pimentel (2009) y un valor promedio 162 057, con un mínimo de 69 013 y máximo 255 105 semillas kg<sup>-1</sup> por Patiño, De la Garza, Villagómez, Talavera, & Camacho, (1983).

*P. teocote* tiene un estado de conservación de preocupación menor según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2001). Es una especie que se utiliza para la extracción de madera, aunque, según Farjon & Styles (1997), debido a su moderada talla especialmente en el sur de su área de distribución, la producción de local de resinas es el modo de explotación más relevante.

Existen varios estudios sobre *P. teocote*, principalmente en México. Sáenz, Rosales, Rocha, Gallegos, & González (2010), estudiaron el contenido fenólico y

acción antioxidante de extractos de acículas de *P. teocote*, encontrando que esta especie tiene una actividad antioxidante muy importante, por su alto contenido de taninos, convirtiéndolo en un atractivo para la industria farmacéutica. Sobre la interacción de esta especie con fauna, Peredo & Galindo (2004), estudiaron la abundancia y depredación de aves depredadoras de semillas de esta especie en hábitats contrastantes en Veracruz; concluyen que una vegetación con mayor complejidad estructural disminuye la depredación de semillas, favoreciendo la formación de un mayor banco de germoplasma, lo que mejora procesos de regeneración natural.

En temas de procedencias y progenie, los estudios se concentran en el estado de Veracruz. Alba, Ramírez, & Aparicio (2007), estudiaron la correlación de semillas y plantas de *P. teocote* provenientes de tres lugares del estado. Encontraron que las procedencias evaluadas tienen correlación entre altura, diámetro y la longitud de hojas cotiledonares. Según los mismos autores, este tipo de investigación ayuda a incrementar el conocimiento de la especie para estructurar estrategias de uso y conservación que aseguren la obtención de productos de calidad.

Alba, Mendizabal, Ramirez, & Méndez (2002) establecieron tres ensayos de procedencia/progenie, para detectar si esta especie, obtenida de diferentes lugares, presenta adaptabilidad para ser recomendada en programas de reforestación. Encontraron valores mayores al 70% en la tasa de supervivencia. Márquez, Ramírez-García, & Cruz-Jiménez (2008) estudiaron conos de *P. teocote* de diez progenitores en una población del municipio de Perote. Comparando longitud, diámetro y su relación, encontraron diferencias significativas entre los progenitores, considerando que monitorear y evaluar la producción de semillas de manera continua y sistematizada es un requisito para lograr un ordenamiento forestal sostenible. Paralelamente, Mendizabal, Alba, Márquez, Ramírez, & Cruz (2010), compararon el potencial de producción y la

eficiencia de semillas de diez progenitores, encontrando diferencias significativas entre árboles y entre una cosechas distintas.

En el análisis de variables morfológicas para *P. teocote*, Hernández *et al.* (2015) determinaron que las ecuaciones altura-diámetro generalizadas estiman de manera confiable la altura total de árboles individuales dentro de un rodal, afirmando que el uso de dicha herramienta silvícola en inventarios y en la planeación en el aprovechamiento de recursos forestales en la región oriente del estado de Hidalgo disminuirá los costos y el tiempo invertido. En la misma zona, Hernández Ramos, García Magaña, *et al.* (2015), calcularon el índice de sitio, utilizando variables como la altura dominante, para así aportar una herramienta que estimaría la productividad y evitaría la sobre o subexplotación de rodales.

Cruz, Valdez, Ángeles, & de los Santos (2010) realizaron la modelación espacial de área basal y volumen de madera, correlacionando estas variables con temperatura media anual, altitud sobre el nivel medio del mar y precipitación media anual en lluvias, en el ejido de Atopixco. Por otro lado, Aguirre-Calderón (2002), modeló el crecimiento de esta especie en el noreste de México, proporcionando información sobre el patrón de desarrollo promedio bajo diferentes condiciones de productividad. Hidalgo. Wehenkel, Cruz, Carrillo, & Lujan (2012), estimaron volúmenes de corteza de dieciséis especies de árboles nativos de la Sierra Madre Occidental. Aunque existe información en la literatura acerca de *P. teocote* en ningún artículo se han analizado índices de calidad para esta especie, tema que se abordará en más adelante en esta misma sección.

### **2.3 Producción de planta en contenedores**

Los cambios en el uso de la tierra y las altas tasas de deforestación, se consideran uno de los principales responsables que conducen a la degradación ambiental, la fragmentación de la tierra y la pérdida de biodiversidad a escala mundial (Lambin *et al.*, 2001). La Organización de las Naciones Unidas para la



Agricultura y la Alimentación (FAO, 2011), estimó que la tasa de deforestación y pérdida de bosques por causas naturales a nivel mundial, disminuyó de unos 16 000 000 ha año<sup>-1</sup> en la década de 1990 a alrededor de 13 000 000 ha año<sup>-1</sup> en la década del 2000. Simultáneamente, la forestación y la expansión natural de los bosques en algunos países redujo significativamente la pérdida neta de áreas forestales a nivel mundial; en el período 2000-2010 se estimó en -5 200 000 ha año<sup>-1</sup> (un área aproximadamente del tamaño de Costa Rica), por debajo de -8 300 000 ha año<sup>-1</sup> en el período 1990-2000 (FAO, 2011). Finalmente, entre los períodos 1990-2000 y 2010-2015, la tasa de pérdida neta del área total de bosque se ha ido ralentizando en más del 50% (FAO, 2016).

En México, mediante un análisis de la dinámica de cambio de los recursos forestales realizado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2014), con información de las Cartas de Uso de Suelo y Vegetación (Series Ilv3r, III y IV) del INEGI para el Informe Nacional de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010, se estimó que en el periodo 2000-2005, la deforestación neta anual fue de 235 000 ha año<sup>-1</sup>, en tanto que para el periodo 2005-2010 fue de 155 000 ha año<sup>-1</sup>, cifra que se encuentra en revisión y actualización, de las cuales 9000 ha correspondieron a bosques templados y 146 000 ha a selvas. Durante el periodo 2005-2010, se perdía una superficie forestal anual a una tasa de - 0.24% (CONAFOR, 2014).

Aunque las tasas de pérdida de áreas forestales estén disminuyendo, las cifras continúan siendo altamente alarmantes. Lo anterior hace crucial desarrollar estrategias para lograr un suministro sostenible de germoplasma o material de siembra, para cualquier proyecto de restauración ecológica basado en plantas. La restauración ambiental con plantas tiene suma importancia y es reconocida a través del Convenio sobre la Diversidad Biológica, en el objetivo número 15, que busca restaurar el 15% de los ecosistemas degradados para el año 2020. Para ayudar a alcanzar este objetivo, la restauración de plantas basada en semillas se está llevando a cabo en diversas escalas espaciales que van desde pequeñas

iniciativas locales hasta grandes programas de gran escala financiados por el gobierno y privados (Broadhurst, Jones, Smith, North, & Guja, 2015). De esta manera, a escala mundial, el área de bosque plantado ha aumentado en más de 105 000 000 ha desde 1990. La tasa media anual de incremento entre 1990 y 2000 fue de 3 600 000 ha. La tasa alcanzó su máximo nivel y llegó a 5 900 000 ha año<sup>-1</sup> en el período 2000-2005, para luego disminuir a 3 300 000 ha año<sup>-1</sup> (2010-2015) , conforme se reducía la plantación en América del Norte, Asia oriental, Asia meridional y sudoriental, y Europa (FAO, 2016).

La restauración ambiental con plantas requiere un suministro constante de material de siembra, plantas que se producen en contenedores en condiciones de vivero. Este es un proceso en donde se le da a las semillas el manejo y tratamiento necesario para que tengan una buena germinación y para que las plantas crezcan adecuadamente, con el fin de lograr obtener altas tasas de sobrevivencia y se favorezca su desarrollo cuando el plantada en campo (Muñoz *et al.*, 2015). Al producir plantas en contenedores, se le brinda una posibilidad de sobrevivencia mucho mayor después del trasplante, debido a la protección que da la porción de material que acompaña a las raíces, comparado con el método de raíz desnuda (Pimentel, 2009).

En la producción de plantas en contenedores es de suma importancia elegir un sustrato de crecimiento adecuado, lo anterior porque es este medio el que aporta los requisitos funcionales básicos para el óptimo desarrollo de las plantas. Las tres funciones más importantes del sustrato, según Tsakaldimi (2006), son las de proporcionar soporte físico, retener agua y nutrientes y permitir la difusión de oxígeno a las raíces y la depuración de dióxido de carbono. Aunque no existe un sustrato de crecimiento ideal para todas las plantas, un medio de crecimiento debe incorporar buenas condiciones físicas, químicas y biológicas para un buen crecimiento de las plantas (Landis, 1990). En estas condiciones podemos generalizar que un sustrato idóneo es el que proporciona un pH ligeramente

ácido, alta capacidad de intercambio catiónica, baja fertilidad inherente, porosidad adecuada y ausencia de plagas (Landis, 1990).

Los sustratos de crecimiento generalmente se encuentran preparados con diferentes proporciones de dos o más materiales (inorgánicos, orgánicos y/o sintéticos), buscando la complementariedad de propiedades que permita obtener las mejores condiciones para el crecimiento vegetal (Tsakalimi, 2006). Actualmente, uno de los componentes más usados para la elaboración de sustratos es la turba de musgo (*peat moss*) debido a que cuenta con propiedades físicas y químicas estables, lo que proporciona un potencial de hidrogeniones estable, alta capacidad de retención de líquido y porosidad ideal (Pane, Spaccini, Piccolo, Scala, & Bonanomi, 2011). Para el caso de México, desde los años 1990s con inició la producción intensiva de plantas de especies forestales en charola; donde los sustratos estaban elaborados con turba de musgo importada de Canadá (Aguilera, Aldrete, Martínez, & Ordáz, 2016b).

Sin embargo, el uso de la turba ha sido ampliamente discutido por los impactos ambientales producidos en humedales en su proceso de obtención (Bullock, Collier, & Convery, 2012), emisión de gases de efecto invernadero y la pérdida de sumideros de carbono (Cleary, Roulet, & Moore, 2005). Además de su aparente insostenibilidad (Carlile, Cattivello, & Zaccheo, 2015) y los constantes problemas fitosanitarios que propicia, como la presencia de *Rhizoctonia solani* (Kühn) y *Pythium* spp. (Bonanomi, Antignani, Pane, & Scala, 2007). Además, en México, en los últimos años el valor de la turba se ha incrementado más de 150% con el aumento en los precios de los combustibles, y la devaluación del peso mexicano frente al dólar (Aguilera-Rodríguez, Aldrete, Martínez-Trinidad, & Ordáz-Chaparro, 2016b). Por tales razones existe una preocupación internacional para evaluar sustratos orgánicos alternativos a la turba, para la composición de mezclas de sustratos, que permita obtener una producción de plantas de calidad.

## 2.4 Calidad de planta

Muchas de las plantas que son llevadas a los lugares a reforestar o restaurar no crecen bien o simplemente no sobreviven al cambio de las condiciones ambientales en las que estaban establecidas. En ocasiones lo anterior se debe a una baja calidad de planta. La calidad de planta se puede definir, entonces, como la capacidad que tienen los individuos para adaptarse (aclimatarse) y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio, lo anterior depende de las características genéticas del germoplasma y de las técnicas utilizadas para su reproducción (Prieto-Ruíz, García-Rodríguez, Mejía-Bojórquez, Huchín-Alarcón, & Aguilar-Vitela, 2009).

En México, existe una preocupante situación al determinar que la supervivencia de las plantas en programas de reforestación en la recuperación de zonas deforestadas o degradadas es menor al 60%; en los últimos reportes, para el año 2013, el índice de supervivencia fue de 43.5% y para el 2014, se obtuvo el más alto con un 57% (CONAFOR, 2016). Este panorama pone en duda la calidad de planta que se producen en los viveros a nivel nacional y genera una necesidad por realizar investigación y resolver problemas de tipo operativo para poder aumentar los índices de supervivencia.

La calidad de las plantas se refleja en la integración de una multitud de características fisiológicas y morfológicas de la plántula (Ritchie, 1984). Según Haase (2008), por mucho, los atributos morfológicos han sido más utilizados que los atributos fisiológicos; sin embargo, estas dos categorías no son mutuamente incluyentes, en donde las características morfológicas de una plántula pueden considerarse una manifestación física de sus actividades fisiológicas.

Como atributos morfológicos aparecen algunos como la altura, el diámetro del tallo, la longitud del brote terminal, la biomasa aérea y subterránea, el color y la forma. Varios autores proponen índices relacionando atributos morfológicos a

través de expresiones sencillas. Así aparecen índices como el índice de Dickson (Dickson, Leaf, & Hosner, 1960), la relación peso seco de la parte aérea y peso seco de la parte subterránea (Thompson, 1985), el índice de esbeltez de Schmidt-Vogt (Schmidt-Vogt, 1980) y el índice de esbeltez. Como atributos fisiológicos entre los más usados se puede mencionar a la resistencia al frío, el crecimiento potencial de raíz, pérdida de electrolitos en la raíz, estrés hídrico, contenido nutrientes, reservas de carbohidratos y fluorescencia de clorofila (Haase, 2007; Ritchie, Landis, Dumroese, & Haase, 2010).

En el estudio de la calidad de planta, los atributos morfológicos y fisiológicos, tomados en masa, determinan en última instancia el rendimiento de las plantas, mientras que si se consideran de manera individual, tienen un valor predictivo relativamente bajo, a menos que queden muy lejos de algún rango normal (Ritchie, 1984). Por esta razón es que se hace imperativo determinar la calidad de planta de manera integral, esto proporciona datos útiles para mejorar la toma de decisiones en la gestión de este y comprender los efectos de las actividades culturales aplicadas o estrés ambiental (Haase, 2008).

A mediados del siglo XX, los investigadores comenzaron a examinar críticamente los atributos de las plantas que confirieron una mejor supervivencia para las plantas producidas a raíz desnuda y cultivadas en contenedores (Grossnickle, 2012). Sobre el género *Pinus* sp. en México, son distintas las investigaciones que han determinado la calidad de planta evaluando diferentes factores; por ejemplo, la adición de hidrogel al sustrato (Maldonado-Benítez, Aldrete, López-Upton, Vaquera-Huerta, & Cetina-Alcalá, 2011), contenedores recubiertos por cobre (Aldrete, Mexal, Phillips, & Vallotton, 2002), cambio en regímenes de irrigación (Ávila-Angulo *et al.*, 2017; Ávila-Flores, Prieto-Ruíz, Hernández-Díaz, Whehenkel, & Corral-Rivas, 2014), aplicación de poda química (Barajas-Rodríguez, Aldrete, Vargas-Hernández, & López-Upton, 2004), inoculación con ectomicorrizas (Barragán-Soriano, Pérez-Moreno, Almaraz-Suárez, Carcaño-Montiel, & Medrano-Ortiz, 2018; Rentería-Chávez, Pérez-Moreno, Cetina-Alcalá,

Ferrera-Cerrato, & Xoconostle-Cázares, 2017), volumen del contenedor (Bernaola-Paucar *et al.*, 2015), y muchos más. Sin embargo, los temas relacionados a sustratos alternativos a la turba de musgo se analizarán en la siguiente subsección.

## 2.5 Trabajos relacionados con el tema de investigación

Específicamente para el género *Pinus*, la evaluación de sustratos alternativos con el fin de sustituir a la turba de musgo ha sido investigada. Sin embargo, principalmente para la especie *P. teocote*, no se encontró mucha información sobre índices de calidad y su comportamiento utilizando sustratos alternativos; para *P. leiophylla* se encontró un trabajo realizado por Buendía-Velázquez, López-López, Cetina-Alcalá, & Diakite (2017), evaluando dos regímenes de adición de nutrientes y aserrín como material alternativo.

Así pues, en esta investigación fue necesario realizar una revisión de literatura sobre el uso de materiales como sustratos alternativos para el crecimiento del género *Pinus*, como una línea base y un acercamiento al tema de investigación. En este sentido, se encontraron investigaciones donde se propone el uso de lombricomposta en *P. oaxacana* y *P. rudis* (Altamirano-Quiroz & Aparicio-Rentería, 2002); cáscara de nuez en *P. patula* (Romero-Arenas *et al.*, 2013) y fibra de coco en *P. ponderosa* (Olivo & Buduba, 2006).

Teniendo presente el objetivo de la investigación sobre indagar el efecto que tiene usar compostas de corteza y aserrín para la producción de *P. teocote* y *P. leiophylla* como sustratos alternativos a la turba de musgo; aparecen investigaciones con propósitos similares en especies como *P. pseudostrobus*, *P. greggii*, *P. montezumae*, *P. halepensis* y algunos pinos no endémicos de México como *P. pinaster* y *P. pinea*.

Aguilera *et al.* (2016b), probaron aserrín fresco en la producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Llegando a la conclusión que este sustrato es adecuado si se combina con Multicote® u Osmocote Plus® con periodos de liberación de nutrimentos de 8 a 9 meses, en dosis de 8 g L<sup>-1</sup>. Reyes, Aldrete, Cetina, & López (2005), también investigaron el uso del aserrín crudo de pino y concluyeron que este material, mezclado en un 80% con otros materiales, como la turba, la corteza de pino y la tierra de monte, es un subproducto forestal que se puede utilizar satisfactoriamente como medio de crecimiento. Maldonado, Aldrete, López, Vaquera, & Cetina (2011), probaron el hidrogel combinado con 20 % de corteza y 80 % aserrín en *P. greggii*, dando el mejor resultado en la variable de diámetro a nivel del cuello la raíz, que está asociado con mejor calidad de planta y supervivencia en campo.

Para *Pinus montezumae*, Hernández, Aldrete, Ordaz, López, & López (2014), encontraron que un sustrato compuesto por 10 % de corteza + 70 % aserrín + 10 % perlita + 10 % vermiculita, tiene las características adecuadas para la producción de plantas de calidad de esta especie. Mientras que Aguilera *et al.* (2016a), concluyeron que un sustrato compuesto por 70% composta de aserrín, 15% composta de corteza de pino y 15% vermiculita se pueden tener resultados satisfactorios.

Mañas, Castro, Vila, & de las Heras (2010) probaron varios materiales que se consideran residuos en la producción de *Pinus halepensis*, y encontraron muy buenos resultados al utilizar mezclas de lodos activados estabilizados con corteza de pino composteada.

En taxa no mexicanos, Mañas, Castro, & De Las Heras (2009), evaluaron varios sustratos para la producción de *Pinus pinaster* Ait., incluyendo la composta de corteza de pino, llegando a la conclusión que un sustrato compuesto por una mezcla de residuos sólidos urbanos y lodo composteado podría dar mejores resultados para esa especie. Por otro lado, Guerrero, Gascó, & Hernández-

Apaolaza (2002), probaron la corteza de pino y lodos composteados para el crecimiento de *Pinus pinea*, obteniendo resultados favorables.

## 2.6 Literatura citada

- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordáz-Chaparro, V. M. (2016a). Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia*, 50(1), 107–118.
- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordáz-Chaparro, V. M. (2016b). Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(34), 7–20.
- Aguirre-Calderón, O. A. (2002). Modelización del crecimiento de *Pinus teocote* Schltl. et Cham. en el noreste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 4(17), 28–41.
- Alba, J., Mendizabal, L., Ramirez, E., & Méndez, M. de la P. (2002). Establecimiento de tres ensayos de procedencia/progenie de *Pinus teocote* Schl. et Cham. en el estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 4(2), 17–22.
- Alba Landa, J., Ramírez García, E. O., & Aparicio Rentería, A. (2007). Correlación de semillas y plántulas de *Pinus teocote* Schl. et Cham. De tres procedencias del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 9(1), 23–27.
- Aldrete, A., Mexal, J. G., Phillips, R., & Vallotton, A. D. (2002). Copper coated polybags improve seedling morphology for two nursery-grown Mexican pine species. *Forest Ecology and Management*, 163, 197–204. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00579-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00579-5)
- Altamirano-Quiroz, M. T., & Aparicio-Rentería, A. (2002). Efecto de la lombricomposta como sustrato alterno en la germinación y crecimiento inicial *Pinus oaxacana* Mirov. y *Pinus rudis* Endl. *Foresta Veracruzana*, 4(1), 35–40.
- Ávila-Angulo, M. L., Aldrete, A., Vargas-Hernández, J. J., Gómez-Guerrero, A., González-Hernández, V. A., & Velázquez-Martínez, A. (2017). Hardening of *Pinus oaxacana* Mirov seedlings under irrigation management in nursery. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 23(2), 221–229. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.05.029>
- Ávila-Flores, I. J., Prieto-Ruíz, J. A., Hernández-Díaz, J. C., Whehenkel, C. A., & Corral-Rivas, J. J. (2014). Preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. mediante déficit de riego en vivero. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 20(3), 237–245. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.02.004>
- Barajas-Rodríguez, J. E., Aldrete, A., Vargas-Hernández, J. J., & López-Upton, J. (2004). La poda química en vivero incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. *Agrociencia*, 38(5), 545–553.



- Barragán-Soriano, J. L., Pérez-Moreno, J., Almaraz-Suárez, J. J., Carcaño-Montiel, M. G., & Medrano-Ortiz, K. I. (2018). Inoculation with an edible ectomycorrhizal fungus and bacteria increases growth and improves the physiological quality of *Pinus montezumae* Lamb. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 24(1), 3–16. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.01.010>
- Bernaola-Paucar, R. M., Pimienta-Barrios, E., Gutiérrez-González, P., Ordáz-Chaparro, V. M., Santiago, G. A., & Salcedo-Pérez, E. (2015). Efecto del volumen del contenedor en la calidad y supervivencia de *Pinus hartwegii* Lindl . en sistema doble-trasplante. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(28), 174–187.
- Bonanomi, G., Antignani, V., Pane, C., & Scala, F. (2007). Suppression of Soilborne Fungal Diseases with Organic Amendments. *Journal of Plant Pathology*, 89(3), 311–324. <https://doi.org/10.2307/41998410>
- Broadhurst, L. M., Jones, T. A., Smith, F. S., North, T., & Guja, L. (2015). Maximizing seed resources for restoration in an uncertain future. *BioScience*, 66(1), 73–79. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv155>
- Buendía-Velázquez, M. V., López-López, M. A., Cetina-Alcalá, V. M., & Diakite, L. (2017). Substrates and nutrient addition rates affect morphology and physiology of *Pinus leiophylla* seedlings in the nursery stage. *IForest*, 10, 115–120. <https://doi.org/10.3832/ifor1982-009>
- Bullock, C. H., Collier, M. J., & Convery, F. (2012). Peatlands, their economic value and priorities for their future management - The example of Ireland. *Land Use Policy*, 29(4), 921–928. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.01.010>
- Carlile, W. R., Cattivello, C., & Zaccheo, P. (2015). Organic Growing Media: Constituents and Properties. *Vadose Zone Journal*, 14(6), 1–14. <https://doi.org/10.2136/vzj2014.09.0125>
- Castelán-Muñoz, N., Jiménez-Casas, M., López-Delgado, H. A., Campos-García, H., & Vargas-Hernández, J. J. (2015). Familial variation in *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. seedlings in response to drought: water and osmotic potential. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 21(3), 295–306. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.10.043>
- Cleary, J., Roulet, N. T., & Moore, T. R. (2005). Greenhouse Gas Emissions from Canadian Peat Extraction, 1990–2000: A Life-cycle Analysis. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 34(6), 456–461. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-34.6.456>
- CONAFOR. (2014). Programa Nacional Forestal 2014-2018. Retrieved from [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/4/5382Programa Nacional Forestal 2014-2018.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/4/5382Programa%20Nacional%20Forestal%202014-2018.pdf)
- CONAFOR. (2016). *Boletín 008*. Ciudad de México, México. Retrieved from <https://www.gob.mx/conafor>
- Contreras-Medina, R., & Luna-Vega, I. (2007). Species richness, endemism and conservation of Mexican gymnosperms. *Biodiversity and Conservation*, 16(6), 1803–1821. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9072-3>
- Cruz Leyva, I. A., Valdez Lazalde, J. R., Ángeles Pérez, G., & de los Santos Posadas, H. M. (2010). Modelación espacial de área basal y volumen de

- madera en bosques manejados de *Pinus patula* y *P. teocote* en el ejido Atopixco, Hidalgo. *Madera Bosques*, 16(3), 75–97.
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle*, 36, 10–13.
- Dvorak, W. S., Hodge, G. R., & Kietzka, J. E. (2007). Genetic variation in survival, growth, and stem form of *Pinus leiophylla* in Brazil and South Africa and provenance resistance to pitch canker. *Southern Hemisphere Forestry Journal*, 69(3), 125–135. <https://doi.org/10.2989/SHFJ.2007.69.3.1.351>
- Eguiluz, P. T. (1982). Clima y distribución del género *Pinus* en México. *Forestal Revista Ciencias*, 38(7), 31–44.
- FAO. (2011). The state of forest resources – a regional analysis. In *State of the World's Forests* (pp. 1–27). Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract>
- FAO. (2016). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. ¿Cómo están cambiando los bosques del mundo?* (Segunda ed). Roma. Retrieved from [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)
- Farjon, A., Perez de la Rosa, J., & Style. (1997). *Guía de campo de los Pinos de México y América Central*. The Royal Botanic Gardens, Kew producido en asociación con el Instituto Forestal de Oxford, Universidad de Oxford.
- Farjon, A., & Styles, B. T. (1997). *Pinus (Pinaceae)*. The New York Botanical Garden, Bronx: Flora Neotropica monograph 75.
- Gernandt, D. S., & Pérez-De La Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 126–133. <https://doi.org/10.7550/rmb.32195>
- Gómez-Jiménez, D., Ramírez-Herrera, C., Jasso-Mata, J., & López-Upton, J. (2010). Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 297–304.
- 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>
- Guerrero, F., Gascó, J. M., & Hernández-Apaolaza, L. (2002). Use of pine bark and sewage sludge compost as components of substrates for pine and *Cupressus arizonica* production. *Journal of Plant Nutrition*, 25(1), 129–141. <https://doi.org/10.1081/PLN-100108785>
- Haase, D. L. (2007). Morphological and Physiological Evaluations of Seedling Quality. In L. E. Riley, R. K. Dumroese, & T. D. Landis (Eds.), *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2006. Proceedings RMRS-P-50* (pp. 3–8). Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Haase, D. L. (2008). Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. *Tree Planters' Notes*, 52(2), 24–30.
- Hernández, L., Aldrete, A., Ordaz, V. M., López, J., & López, M. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia*, 48, 627–637.
- Hernández Ramos, J., García Cuevas, X., Hernández Ramos, A., García Magaña, J. J., Muñoz Flores, H. J., Flores López, C., & García Espinoza,

- G. G. (2015). Ecuaciones altura-diámetro generalizadas para *Pinus teocote* Schlecht. & Cham. en el estado Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(31), 8–21.
- Hernández Ramos, J., García Magaña, J. J., García Cuevas, X., Hernández Ramos, A., Muñoz Flores, H. J., & Samperio Jiménez, M. (2015). Índice de sitio para bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham. en el oriente del estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 6(27), 24–37.
- IUCN. (2001). The IUCN red list categories and criteria: Versión 3.1. Retrieved from <http://www.iucnredlist.org/>
- Jimenez-Casas, M., & Zwiazek, J. J. (2014). Adventitious sprouting of *Pinus leiophylla* in response to salt stress. *Annals of Forest Science*, 71(7), 811–819. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0379-z>
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Folke, C., Veldkamp, T. A. (2001). The causes of land-use and land-cover change : moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11, 261–269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- Landis, T. D. (1990). Growing media. In T. D. Landis, R. W. Tinus, S. E. McDonald, & J. P. Barnett (Eds.), *The Container Tree Nursery Manual Agriculture Handbook 674 (vol 2)* (pp. 41–85). Washington, United States of America: Department of Agriculture, Forest Service.
- Lanner, R. M. (2002). Why do trees live so long? *Ageing Research Reviews*, 1(4), 653–671. [https://doi.org/10.1016/S1568-1637\(02\)00025-9](https://doi.org/10.1016/S1568-1637(02)00025-9)
- López-Upton, J. (1993). *Pinus leiophylla*. In J. Vozzo (Ed.), *Tropical tree seed manual. Agri. Handbk. 721* (pp. 619–621). Washington, DC.: USDA For. Serv.
- Maldonado-Benítez, 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, 389–398.
- Mañas, P., Castro, E., & De Las Heras, J. (2009). Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media. *New Forests*, 37(3), 295–311. <https://doi.org/10.1007/s11056-008-9125-4>
- Mañas, Pilar, 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>
- Márquez Ramírez, J., Ramírez-García, E. O., & Cruz-Jiménez, H. (2008). Estudio de conos de *Pinus teocote* Schl. et Cham. de diez progenitores en una población de Los Molinos, municipio de Perote, Veracruz, México. *Floresta Veracruzana*, 10(1), 47–52.
- Martínez-Trinidad, T., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J., & Muñoz-Orozco, A. (2002). Respuesta al déficit hídrico en *Pinus leiophylla*: acumulación de biomasa, desarrollo de hojas secundarias y mortandad de plántulas. *Terra Latinoamericana*, 20(3), 291–301.
- Martínez-Trinidad, T., Vargas-Hernández, J., Muñoz-Orozco, A., & López-Upton, J. (2002). Respuesta al déficit hídrico en *Pinus leiophylla* consumo de agua

- y crecimiento en plántulas de diferentes poblaciones. *Agrociencia*, 36(3), 365–376.
- Martínez, M. (1948). *Los pinos mexicanos* (2da.). México, D.F., Estados Unidos Mexicanos: Editorial Botas.
- Mendizábal Hernández, L. del C., Alba Landa, J., Marqués Ramírez, J., Ramírez García, E. O., & Cruz Jiménez, H. (2010). Potencial de producción y eficiencia de semillas de dos cosechas de *Pinus teocote* Schl. et Cham. *Floresta Veracruzana*, 12(2), 21–26.
- Morales-Velázquez, M. G., Ramírez-Mandujano, C. A., Delgado-Valerio, P., & López-Upton, J. (2010). Indicadores reproductivos de *Pinus leiophylla* Schltdl. et Cham. en la cuenca del río Angulo, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2), 31–38.
- 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.
- Musálem, M. A., & Martínez-García, S. (2003). *Monografía de Pinus leiophylla Schl. et Cham. Proyecto de investigación manejo sustentable y conservación de la biodiversidad de los bosques de clima templado y frío de México*. Chapingo, México: INIFAP.
- Olivo, V. B., & Buduba, C. G. (2006). Influencia de seis sustratos en el crecimiento de *Pinus ponderosa* producido en contenedores bajo condiciones de invernáculo. *Bosque (Valdivia)*, 27(3), 267–271. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002006000300007>
- Ortiz-Martínez, A., & Gernandt, D. S. (2016). Species Diversity and Plastid Dna Haplotype Distributions of *Pinus* Subsection Australes (*Pinaceae*) in Guerrero and Oaxaca. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 19(2), 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2016.06.002>
- Palacios-Romero, A., Rodríguez-Laguna, R., Prieto-García, F., Meza-Rangel, J., Razo-Zárate, R., & Hernández-Flores, M. de la L. (2015). Supervivencia de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham. en campo mediante la aplicación de espuma fenólica hidratada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(32), 83–92.
- Pane, C., Spaccini, R., Piccolo, A., Scala, F., & Bonanomi, G. (2011). Compost amendments enhance peat suppressiveness to *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia minor*. *Biological Control*, 56(2), 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.10.002>
- Patiño, F., De la Garza, P., Villagómez, Y., Talavera, I., & Camacho, F. (1983). *Guía para la recolección y manejo de semillas de especies forestales (Boletín divulgativo No. 68)*. México, D.F., México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales.
- Peredo Flores, R., & Galindo González, J. (2004). Abundancia y diversidad de aves depredadoras de semillas de *Pinus teocote* Schl. et Cham. en hábitats contrastantes de Veracruz, México. *Floresta Veracruzana*, 6(2), 47–53.
- Perry, J. P. (1991). *The pines of Mexico and Central America*. Portland, Oregon: Timber Press.

- Pimentel-Bribiesca, L. (2009). *Producción de árboles y arbustos de uso múltiple* (1a. Edició). D. F, México: Mundi Prensa México, S.A. de C.V.
- Prieto-Ruíz, J. Á., García-Rodríguez, J. L., Mejía-Bojórquez, J. M., Huchín-Alarcón, S., & Aguilar-Vitela, J. L. (2009). *Producción de planta del género Pinus en vivero en clima templado frío* (Publicación). Durango, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- 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 ectomicorrícicos en dos sustratos. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(1), 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.06.004>
- Reyes-Reyes, J., Aldrete, A., Cetina-Alcalá, V., & 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. (1984). Assessing Seedling Quality. In M. L. Duryea & T. D. Landis (Eds.), *Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings* (pp. 243–259). The Hague/Boston/Lancaster. for Forest Researching Laboratory. Oregon State University. Corvallis.: Martinus Nijhoff Dr W. Junk Publishers. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-6110-4\\_23](https://doi.org/10.1007/978-94-009-6110-4_23)
- Ritchie, G., Landis, T., Dumroese, K., & Haase, D. (2010). Assessing plant quality. In T. Landis, K. Dumroese, & D. Haase (Eds.), *The Container Tree Nursery Manual Agriculture Handbook 674 (vol 7)* (p. 200). Washington, D.C.: U.S: Department of Agriculture, Forest Service.
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2014). *Incendios de vegetación, su ecología, manejo e historia (vol. 1)*. (B. básica de Agricultura, Ed.). México.
- Romero-Arenas, O., Damián, M. A., Hernández, I., Parraguirre, C., Márquez, M., & Huerta, M. (2013). Evaluación económica de cáscara de nuez como sustrato para producción de plántulas de *Pinus patula* Schl. et Cham. en vivero. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 17(2), 23–40.
- Sáenz-Esqueda, M. ., Rosales-Castro, M., Rocha-Guzmán, N. ., Gallegos-Infante, J. ., & González-Laredo, R. . (2010). Contenido fenólico y acción antioxidante de extractos de acículas de *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii* y *P. teocote*. *Madera Bosques*, 16(3), 37–48.
- Schmidt-Vogt, H. (1980). *Characterization of plant material*. Waldbau. Zweiter Band. Sechste Auflage, Neubearbeitet. Hamburg and Berlin, Germany: Verlag Paul Parey.
- Thompson, B. E. (1985). Seedling morphological evaluation. What can you tell by looking? In M. L. Duryea (Ed.), *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests* (pp. 59–71). Corvallis, United States of America: Oregon State University.
- Tsakalimi, M. (2006). Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) core and rice hulls as components of container media for growing *Pinus halepensis* M. seedlings. *Bioresource Technology*, 97(14), 1631–1639. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.07.027>
- Wehenkel, C., Cruz Cobos, F., Carrillo, A., & Lujan Soto, J. E. (2012). Estimating bark volumes for 16 native tree species on the Sierra Madre Occidental,

Mexico. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(6), 578–585.  
<https://doi.org/10.1080/02827581.2012.661453>

### **CAPITULO 3. Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México**

State of the art of the research on seedling quality of the genus *Pinus* in Mexico

**Resumen:** Las investigaciones sobre calidad de planta son necesarias para orientar la producción en vivero y contribuir a mejorar la supervivencia en campo en programas de reforestación. Para indagar acerca del uso de variables morfológicas, fisiológicas y pruebas al determinar la calidad de planta producida en vivero de especies nativas del género *Pinus* en México, se realizó una búsqueda de artículos científicos sobre el tema, publicados del año 2000 hasta mediados del 2018 en diferentes bases de datos. Se encontraron 61 artículos científicos (77 estudios). El diámetro y la altura resultaron ser los atributos morfológicos más utilizados, seguidos de la relación peso seco parte aérea y peso seco de la parte subterránea. Los atributos fisiológicos más empleados fueron la concentración foliar de nutrientes y el potencial hídrico. Menos de un tercio de las investigaciones realizan la comprobación de supervivencia en campo, por lo que más estudios deben ser respaldados usando esta prueba para dar mayor robustez y aplicabilidad a los resultados. Solo se ha tratado formalmente 17 de los 57 taxa de pinos que hay en México. Dada la relevancia ecológica y económica del género, es importante continuar la investigación con las demás especies y profundizar con las ya estudiadas en temas como especies de micorrizas y nivel de micorrización en las plantas, entre otros.

**Palabras clave:** calidad de planta, índices de calidad, estado del arte, pinos, reforestación, viveros forestales.

**Abstract:** Research on plant quality is necessary to guide nursery production and to contribute the improvement of survival in the field in reforestation programs. To investigate the use of morphological and physiological variables as well as tests, to determine the quality of seedlings from Mexican *Pinus* species, produced in the nursery, a review of the subject was made in scientific articles published from the year 2000 to middle 2018 in different databases. We found 61 scientific articles (77 studies). Diameter and height were the most used morphological attributes, followed by the ratio shoot dry weight to root

dry weight. The most used physiological attributes were the foliar concentration of nutrients and the water potential. Less than a third of the investigations carry out field survival tests, so more studies should be supported using this test to make the results more robust and applicable. Only 17 out of the 57 pine taxa in Mexico have been formally researched. Given the ecological and economic relevance of the genus, it is important to continue research with the other species and to deepen topics such as the analysis of mycorrhizal species and level of mycorrhization in plants.

**Keywords:** seedling quality, quality indexes, state of the art, pines, reforestation, forest nurseries.

### 3.1 Introducción

Los bosques de pino tienen una gran importancia ecológica y económica en México. A menudo son el componente principal de la vegetación, influyendo en los procesos del ecosistema, como los ciclos biogeoquímicos e hidrológico; son el hábitat y fuente de alimento de fauna silvestre y de ellos se obtiene madera, leña, pulpa, resinas, semillas comestibles y otros productos no maderables (Sánchez, 2008).

México es un centro de diversificación del género *Pinus* y donde se encuentra el mayor número de taxa de éste; lo anterior provocado en gran medida por procesos orográficos y climáticos en el pasado geológico (Challenger y Soberón, 2008). Gernandt y Pérez (2014), señalan que, en el territorio mexicano, hay 57 de los aproximadamente 120 taxa del género. Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2001), de estas especies 35 se encuentran en estado de preocupación menor, siete son vulnerables, ocho están cercanas a ser amenazadas, seis en peligro de extinción y una con estatus desconocido. Por lo anterior es necesario implementar



programas para la conservación y propagación de especies en riesgo. Esto implica la producción de planta de calidad en viveros, que puedan establecerse exitosamente en sus áreas de distribución natural.

Sin embargo, a nivel mundial los bosques de pino están siendo fuertemente fragmentados y modificados por la introducción de especies no nativas (Bekele, 2011). Lo anterior, provocado principalmente por la tala ilegal, la expansión de tierras agrícolas e incendios forestales (alteración de regímenes de fuego). Se hace crucial desarrollar estrategias para lograr un suministro sostenible de germoplasma o material de siembra, en cualquier proyecto de restauración ecológica (Broadhurst *et al.*, 2015). Con frecuencia el material plantado en programas de reforestación no sobrevive en campo, lo cual en parte se relaciona con la baja calidad de planta con la que se trabaja.

La calidad de planta se puede definir como las características morfo-fisiológicas de un árbol que permiten su supervivencia, crecimiento y desarrollo en el sitio de plantación (Duryea, 1985). Para su determinación, se utilizan una serie de parámetros morfológicos y fisiológicos, así como pruebas, que ayudan a predecir si los individuos a plantar sobrevivirán en las condiciones ambientales del sitio de plantación.

Los factores que limitan el establecimiento incluyen los antropógenas (pastoreo, etc.), pero también los naturales (como heladas y sequías). Cuando se trata de estos últimos, en gran medida el problema estriba en la calidad de planta. Las características que evidencian calidad, dependen de la genética, pero también de la tecnología de propagación (Prieto *et al.*, 2009; Rodríguez, 2008). En el presente trabajo

emplearemos el término planta de calidad, aunque se han usado otros como se aprecia a continuación. La evolución del concepto de brinzal de calidad fue analizada por Grossnickle y MacDonald (2018). Tales autores señalan que el término ha evolucionado desde el de brinzales deseables, que son seleccionados por su vigor y capacidad de crecimiento, al desarrollo del concepto de brinzal objetivo, con características morfológicas y fisiológicas relacionables cuantitativamente con la supervivencia en el sitio de plantación (Mexal y Landis, 1990), hasta la aplicación operativa de este último concepto y su expansión al de planta objetivo (incluyendo especies arbóreas arbustivas y herbáceas) (Landis, 2011), así como la aplicación de este último en la relación viverista-reforestador, con el propósito de alcanzar objetivos específicos de reforestación (Dumroese *et al.*, 2016).

Los atributos morfológicos más utilizados son: diámetro (D), altura (A), pesos seco total (PST), húmedo total (PHT), de la parte aérea (PSA) y subterránea (PSS). Se han propuesto índices que relacionan las variables anteriores, como el índice de esbeltez (IE), la relación peso seco aéreo entre peso seco de raíz (PSA/PSS), el índice de Dickson (ID) (Dickson *et al.*, 1960) y el índice de lignificación (IL). Como atributos fisiológicos se utilizan comúnmente el potencial hídrico, concentración de nutrientes y de carbohidratos, fotosíntesis neta, índice de mitosis, entre otros. Así mismo, hay pruebas que incluyen la prueba de crecimiento potencial de raíz (RGP), la resistencia al frío y a la sequía, entre otras (Duryea, 1985). Existen intervalos de calidad para atributos morfológicos y algunos fisiológicos en varias coníferas nacionales, que permiten clasificar la calidad de pinos (cespitoso y no cespitoso) y latifoliadas. Fueron propuestos por Sáenz *et al.* (2010) y modificados por Rueda *et al.* (2014).

Numerosos parámetros se han utilizado en investigaciones para pinos mexicanos. Sin embargo, no existe un análisis sobre la frecuencia de uso de cada parámetro, el éxito que ha tenido cada uno de ellos ni de las especies estudiadas. Con base en lo anterior, el objetivo de esta revisión bibliográfica es indagar sobre el uso de variables morfológicas, fisiológicas y pruebas para determinar la calidad de planta producida en vivero de las especies nativas del género *Pinus* en México, con la finalidad de hacer un diagnóstico y ayudar a vislumbrar oportunidades de investigación en el tema con este género.

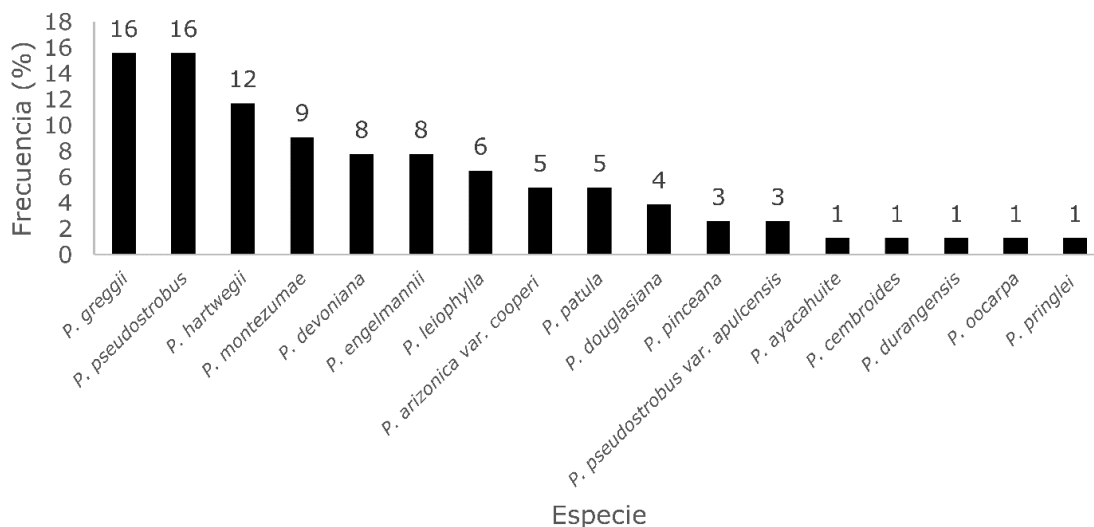
### **3.2 Metodología**

La búsqueda de literatura se realizó en las bases de datos: ScienceDirect, Scopus, JSTOR, SciELO, Springer, Redalyc y Google Scholar. La revisión se realizó tanto en inglés como en español y abarcó exclusivamente artículos de revistas científicas y publicados del año 2000 hasta mediados de 2018. Las palabras usadas en la búsqueda se concentraron en título y palabras clave, relacionadas con la producción de planta en vivero y calidad de planta de especies mexicanas de pino. Dado que algunos artículos incluyen más de una especie, a la investigación de cada una de ellas le denominamos estudio.

### **3.3 Investigaciones realizadas y especies estudiadas**

Para el periodo analizado, se hallaron 61 artículos, correspondiente a 77 estudios sobre el tema en el género, con una media de 4.3 por año. La variabilidad va de 0 (2008) hasta 11 (2015). Dos terceras partes se publicaron en los últimos 10 años.

Solamente se han publicado trabajos, en revistas científicas, de 17 de los 57 taxa que existen en México (29.8%). Las especies más estudiadas son, en orden descendente: *P. pseudostrobus* Lindl., *P. greggii* Engelm. ex Parl., *P. hartwegii* Lindl. y *P. montezumae* Lamb. (Figura 1). Estas cuatro especies suman 52% de los estudios revisados. Lo anterior a pesar de que Perry (1991) señala que varias especies mexicanas de pino tienen gran potencial para ser utilizadas en plantaciones forestales comerciales.



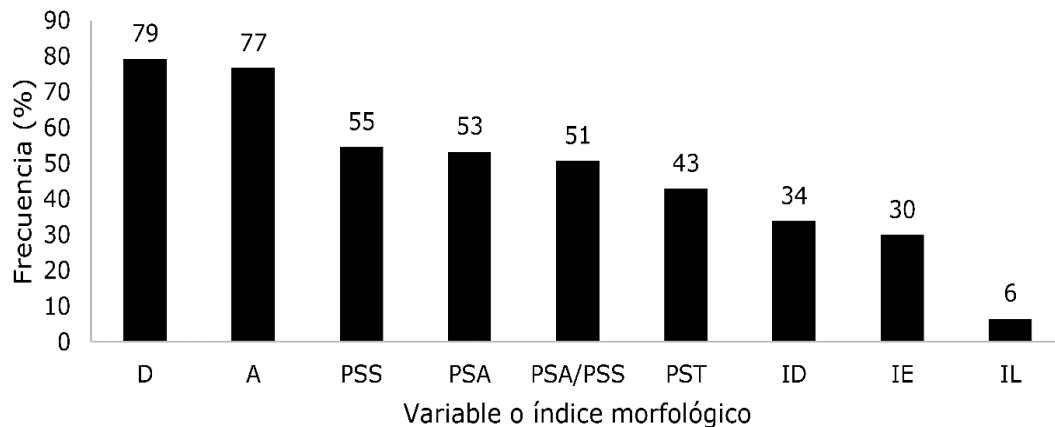
**Figura 1. Frecuencia de estudios por especie.**

La mayoría de las especies estudiadas tienen importancia económica. Entre las especies no estudiadas las hay con menor importancia económica, pero con relevancia ecológica o con algún nivel de riesgo, por ejemplo, *Pinus attenuata* Lemmon, *P. contorta* Douglas ex Loudon var. *murrayana*, *P. jeffreyi* Balf., *P. maximartinezii* Rzed., *P. rzedowski* Madrigal et M. Caball. y *P. chiapensis* (Martínez) Andresen (de los 20 taxa incluidos en la norma oficial mexicana de especies en riesgo de la

SEMARNAT, 2010) que demandan investigación en términos de restauración forestal. Además, existen trabajos de conservación y restauración, incluido el tema de calidad de planta. Destaca que la gran mayoría de los estudios está dirigida a especies de clima templado-frío (94.6%), solo 4% y 1.4% de los estudios están encaminados a especies de regiones semiáridas y tropicales, respectivamente, si bien la mayoría de las especies nacionales corresponden al primer tipo de clima.

### 3.4 Variables e índices morfológicos

Las variables morfológicas más utilizadas son diámetro (61 estudios) y altura (59 estudios) (Figura 2). Los indicadores morfológicos para los 17 taxa estudiados se muestran en el Cuadro 1.



**Figura 2. Proporción de estudios encontrados por variable morfológica**

**Cuadro 1. Variables e índices morfológicos en algunas especies del género *Pinus*.**

Especie	TP	TDP	Variables e índices morfológicos								Ref.
			D (mm)	A (cm)	PSA (g)	PSS(g)	PST (g)	PSA/PS S	IE	ID	
<i>P. arizonica</i> var. <i>cooperi</i>	C	8-11	3.0-4.8	10-25	1.6-2.3	0.7-1.2	2.3-3.7	1.6	2.2	0.9	1,2,3,4
<i>P. ayacahuite</i>	BP	8	6.6	28.4	7.5	3.0	10.5	2.7	5.6	1.6	5
<i>P. cembroides</i>	C	9.5	4.8	19.3	5.7	4.8	10.5	1.2	4.0	2.1	6
<i>P. devoniana</i> *	C	9-12	7.1-13.5	8.6-11.2	3-10.6	1.2-3.3	4.2-13.9	0.4-3.2	2-12.2	1.2	7,8,9
<i>P. devoniana</i> *	BP	8	15.9	9.8	10.5	3.7	14.2	2.8	6.3	2.5	5
<i>P. douglasiana</i>	C	7-12	3.3-5.0	13.3-35.3	5.3	1.1	6.5	3.1-3.6	4.2-6.1	0.2	8,9,10
<i>P. durangensis</i>	C	-	3.3	9.6	-	-	4.5	1.1	-	-	11
<i>P. engelmannii</i> *	C	7.5-12	4.4-6.5	10.2	2.4-3.8	0.4-2.8	2.8-6.6	3.2-6.1	1.6-2.2	0.4-1.2	12,13,14,15
<i>P. greggii</i>	BP	10	3.9	24.9	-	-	-	0.4	-	0.5	16
<i>P. greggii</i>	C	7-14	3.5-9.2	26.7-36.6	2.3-15.8	0.6-5.3	2.9-21.1	2.6-4.2	3.3-10.4	0.2-0.4	7,8,17,18
<i>P. hartwegii</i> **	C	12	5.2	4.3	1.5	0.9	2.4	1.7	0.8	1.0	19
<i>P. leiophylla</i>	C	12	3.5-4.6	14.4-30.0	1.7-2.6	0.5-1.2	2.1	0.3	-	0.3	20,21,22
<i>P. montezumae</i> *	BP	8	11.2	-	5.1	2.3	7.3	0.4	-	-	23
<i>P. montezumae</i> *	C	9.5-10	8.1-11.4	-	4.0-4.8	1.2-2.7	5.2-7.5	1.8-3.7	-	-	24,25
<i>P. oocarpa</i>	C	-	3.9	34	-	-	-	4.3	9.8	-	8
<i>P. patula</i>	C	7.5	3.2	20.3	1.1	0.9	2.0	1.3	6.4	0.3	26
<i>P. pringlei</i>	C	13	6.6	15.4	4.5	3.6	8.1	1.2	-	-	27
<i>P. pseudostrobus</i>	BP	8	6.2	14.9	6.4	1.4	7.9	0.2	-	-	23
<i>P. pseudostrobus</i>	C	9-12	3.8-6.5	24.3-29.4	1.2-7.5	0.3-2.3	1.4-2.3	2.9-3.4	4.6-7.6	0.4-1.3	7,28,29
<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i>	BP	7.5	3.3	18.5	1.2	2.5	3.6	2.3	-	-	30

\*Especie cespitosa. \*\*A veces cespitosa. TP=Tipo de producción (C=Contenedor, BP=Bolsa de polietileno). TDP= Tiempo de producción (meses). Ref.=Referencia. Referencias: 1 (Prieto *et al.*, 2004b), 2 (Prieto *et al.*, 2007), 3 (Prieto *et al.*, 2012), 4 (Prieto *et al.*, 2018), 5 (Muñoz *et al.*, 2015), 6 (Gutiérrez *et al.*, 2015), 7 (Sáenz *et al.*, 2014), 8 (Rueda *et al.*, 2012), 9 (Bernaola *et al.*, 2016), 10 (Rueda *et al.*, 2014), 11 (Arteaga *et al.*, 2003), 12 (Ávila *et al.*, 2014), 13 (Rosales *et al.*, 2015), 14 (Martínez *et al.*, 2015), 15 (García *et al.*, 2015), 16 (Barajas *et al.*, 2004), 17 (Martínez *et al.*, 2012), 18 (Sánchez *et al.*, 2016), 19 (Bernaola *et al.*, 2015), 20 (Palacios *et al.*, 2017), 21 (Palacios *et al.*, 2015), 22 (Buendía *et al.*, 2017), 23 (Aldrete *et al.*, 2002), 24 (Hernández *et al.*, 2014), 25 (Aguilera *et al.*, 2016a), 26 (Romero *et al.*, 2012), 27 (López *et al.*, 2018), 28 (Aguilera *et al.*, 2016b), 29 (Ávila *et al.*, 2017), 30 (Reyes *et al.*, 2005).

En la revisión aparecieron otras variables e índices morfológicos que se usaron en menor medida, como: longitud de la raíz principal (Ávila *et al.*, 2014; Ortíz y Rodríguez, 2008; Robles *et al.*, 2017), peso seco aéreo relativo y peso seco subterráneo relativo (Robles *et al.*, 2017; Sosa y Rodríguez, 2003), relación altura/longitud de raíz principal (Muñoz *et al.*, 2015; Pineda *et al.*, 2004; Sáenz *et al.*, 2014), número y longitud de ramillas (Pineda *et al.*, 2004), volumen de la parte aérea y/o radical (Bernaola *et al.*, 2015, 2016; Prieto *et al.*, 2018; Prieto *et al.*, 2009). Como índices morfológicos, se menciona en dos ocasiones el índice de contenedor-raíz (ICR) (Bernaola *et al.*, 2015, 2016). La última cita reporta que cuanto más grande sea el valor del ICR (27.5 y 125.0), mayor será el porcentaje de supervivencia (13 y 94 %, respectivamente), con plantas de *P. hartwegii* después de dos años de establecidas en campo.

**Diámetro.** Se usó en 79% de los estudios. Un árbol con buen diámetro tiene más posibilidades de contar con una adecuada lignificación, reservas de carbohidratos, mayor cantidad de yemas para la rebrotación y un sistema radical más desarrollado (Rodríguez, 2008). Para Mexal y Landis (1990), de todos los atributos, éste es el más relevante, pues define la robustez del tallo que se asocia con el vigor y la supervivencia de la plantación. Según Sáenz *et al.* (2014), los ejemplares producidos en tubetes o charolas, con diámetro >5 mm son más resistentes al doblamiento y pueden tolerar mejor los daños producidos por plagas, aunque esto puede variar según la especie. Sin embargo, estas tendencias no son universales (Grossnickle, 2012).

Se encontraron diámetros diferentes para distintas especies de acuerdo con el tiempo y la tecnología de producción en vivero. Algunos ejemplos de producción en contenedor son: *P. hartwegii* de 12 meses con 5.1

mm (Bernaola *et al.*, 2015); *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltld. de 8 meses con 6.6 mm (Muñoz *et al.*, 2015); y *P. devoniana* Lindl. de 7 meses con 4.2 mm (Rueda *et al.*, 2014). Producidas en bolsas de polietileno: *P. montezumae* de 8 meses con 11.2 mm (Aldrete *et al.*, 2002) y de 24 meses con 15.1 mm (Robles *et al.*, 2017).

Esta información es solo una referencia, porque el diámetro es una característica que puede variar, para la misma especie, por factores como el tipo y capacidad del contenedor usado (Bernaola *et al.*, 2015), la procedencia de la semillas (Ortega *et al.*, 2003), presencia de micorrizas (Martínez *et al.*, 2015) y tipo de sustrato (Arteaga *et al.*, 2003), si se usa malla sombra, el tiempo que ésta se deje sobre el cultivo o si se trata de una especie cespitosa, entre otros factores. En la medida que el sitio de plantación sea más adverso (con mayor limitación de humedad, exposiciones sur, suelos pobres o degradados, etc.), el valor límite para este indicador aumentará y viceversa, en sitios más productivos tal valor límite tenderá a ser menor. Con *P. taeda* L., producidos a raíz desnuda, South *et al.* (1985) hallaron que la probabilidad de mortalidad en campo mayor a 75% fue de 88% en árboles con un diámetro de cuello de raíz < 2.4 mm, pero en la medida que el diámetro aumentó se redujo dicha probabilidad, hasta alcanzar 8% en aquellos con diámetro > 6.3 mm.

**Altura.** El siguiente atributo más utilizado fue la altura, en 77% de los estudios. Esta característica ha sido usada como predictor de la calidad de una planta debido a que es una medida general de las capacidades fotosintética y de transpiración; esto puede reflejarse con un desarrollo de la estructura radical y, finalmente, mejor aprovechamiento de nutrientes, agua y anclaje (Mexal y Landis, 1990). Una buena altura



permite a la planta competir por espacio de crecimiento, capturando más radiación solar que plantas más pequeñas (Grossnickle, 2012).

Sin embargo, en sitios adversos los árboles con elevadas alturas pueden tener menor supervivencia y en sitios no adversos, los árboles más altos pueden lograr mejor supervivencia. Por ejemplo, Tuttle *et al.* (1988) hallaron para *P. taeda* de 2 años de plantado, que en sitios productivos ésta incrementó con la altura de los árboles, hasta llegar a 98% con los de 35 cm de altura. Por el contrario, en sitios adversos, los árboles con esta última clase de altura tuvieron una supervivencia de 55%.

Como ejemplo, en *P. pseudostrobus* producidos en contenedores, se registraron alturas de 27.9, 24.3 y 29.4 cm con 9, 10 y 12 meses, respectivamente (Aguilera *et al.*, 2016b; Ávila *et al.*, 2017; Sáenz *et al.*, 2014); *P. hartwegii* de 16.11 y 34.8 cm, con 12 y 24 meses (Bernaola *et al.*, 2015; Viveros *et al.*, 2007). En sistema de producción tradicional en bolsas de polietileno, se encontró *P. greggii* de 10 meses con 24.9 cm (Barajas *et al.*, 2004).

**Pesos secos y relación PSA/PSS.** El PSA se determinó en 53% y el PSS en 55% de los estudios. La razón por la que se determina el peso en base seca es porque la cantidad de agua en el tejido vegetal puede variar mucho, para lo cual, el peso húmedo (o fresco) proporciona una medición menos consistente que el peso seco (Haase, 2007). En cuanto al PST, aparece en 43% de los estudios. Una planta de calidad debe ser tan pesada como sea posible para producir el mejor crecimiento, sin dejar de tener el equilibrio entre brotes y raíces necesarios para sobrevivir (Thompson, 1985). Además, se ha comprobado que existe una fuerte relación entre el peso seco de las plantas y el diámetro del

tallo (Ritchie, 1984); por lo tanto, se correlaciona con la supervivencia y el crecimiento en campo.

La relación PSA/PSS provee más información que los pesos secos individuales y fue determinada en 51% de los estudios. Una planta de calidad debe tener una relación PSA/PSS baja, para aumentar la posibilidad de sobrevivir, puesto que al tener una estructura radical bien desarrollada tendrá una mejor absorción de nutrientes y accesibilidad al agua. En esta revisión se identificaron valores desde 0.2 en *P. pseudostrobus* producido en bolsa (Aldrete *et al.*, 2002) hasta 3.2 a 6.1 en *P. engelmannii* Carrière en contenedor (Rosales *et al.*, 2015; García *et al.*, 2015). Rueda *et al.* (2014), recomiendan un valor <2.0.

**Índice de Dickson.** El ID relaciona las variables diámetro, altura, PSA/PSS y los ajusta por efecto del tamaño de la planta (PST). Valores altos en este índice representan un buen y equilibrado desarrollo de la planta (Reyes *et al.*, 2005). Según Rueda *et al.* (2014), plantas con ID > 0.5 son de buena calidad; en esta revisión se encontraron valores desde 0.07 para *P. engelmannii* (Rosales *et al.*, 2015) hasta 4.7 para *P. montezumae*, especie cespitosa producida en bolsa (Robles *et al.*, 2017).

**Índice de esbeltez.** El IE que es la relación entre la altura y el diámetro de la planta; mientras menor sea su valor, más baja y gruesa será, tendiendo a ser más apta para ambientes con limitaciones de humedad o fríos (Rodríguez, 2008). Roller (1977), demostró que el índice de esbeltez con valores menores de 6.0, está asociado con una mejor calidad de los individuos, en *Picea mariana*. En esta revisión se encontraron valores desde 1.6 para *P. devoniana* de 7 meses (Rueda

*et al.*, 2014) hasta 10.4 para *P. greggii* de 9 meses (Sáenz *et al.*, 2014). Si durante el cultivo el índice es grande, se recomienda realizar podas aéreas, esto también se puede aplicar cuando la relación PSA/PSS tiene valores altos, con el fin de compensar la parte transpiracional con la de absorción de agua.

**Índice de lignificación.** El índice de lignificación, empleado 6% de las veces, da una estimación del grado de robustez que se necesita para la planta soporte estrés, como el hídrico, en el sitio de plantación (Prieto *et al.*, 2009). Para *P. engelmannii* se encontraron valores de 29.2, 22.9 y 24.3%, evaluando la reducción de la disponibilidad de humedad como preacondicionamiento (Ávila *et al.*, 2014; Prieto *et al.*, 2004a); en *P. leiophylla* Schiede ex Schltl. et Cham. se encontró un valor de 30.9% evaluando sustratos y tasas de adición de nutrientes (Buendía *et al.*, 2017). Aunque este índice pueda ser una estimación útil, determinar el peso húmedo de una planta puede ser poco preciso, como ya se discutió.

### 3.5 Variables fisiológicas

**Concentración de nutrientes.** El estudio de la concentración de nutrimentos se ha enfocado principalmente a nitrógeno (36.4%), fósforo (32.5%) y potasio (28.6%) (Cuadro 2); son importantes porque se evalúa a uno de los componentes más críticos en la producción de viveros de alta calidad: la fertilización (Jacobs y Landis, 2009). Según estos autores, las plantas requieren cantidades adecuadas de nutrientes para el equilibrio adecuado de los procesos fisiológicos básicos, como la fotosíntesis y promover un rápido crecimiento y desarrollo. Sin un buen suministro de nutrientes, el

crecimiento se ralentiza, y se reduce el vigor de la planta. Una fertilización adecuada promueve tasas de crecimiento. Sin embargo, un exceso de nutrientes puede afectar el óptimo desarrollo de la planta hasta llegar a ser tóxico, por esta razón medir la concentración de nutrientes es útil como estimador de calidad (Gutiérrez *et al.*, 2015). Otro efecto detrimental potencial de fertilización abundante, con concentraciones de N en la zona de consumo superfluo, favorece la síntesis de citocininas, el desarrollo foliar y bajos desarrollo radical y disponibilidad de carbohidratos de reserva, como hallaron Rodríguez *et al.* (2002) en *P. palustris* Mill. del sureste de EE. UU., producido a raíz desnuda.

Cada nutriente tiene funciones en los procesos fisiológicos de planta, su cuantificación ayuda a establecer la calidad de la planta (Jacobs y Landis 2014). No obstante, solo cuatro estudios analizaron macronutrientes secundarios y micronutrientes, destacando que tres de ellos tratan sobre el uso de hongos ectomicorrízicos (Barragán *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2012; Rentería *et al.*, 2017) y uno evaluando el efecto de dos niveles de pH de agua de riego y de dos niveles de fertilización, en la morfología y concentración nutrimental foliar de *P. cembroides* Zucc. (Gutiérrez *et al.*, 2015). En el Cuadro 2, se sintetizan los estudios nutrimentales de calidad de planta. En algunos estudios los niveles de N, P y K están por debajo o por encima de los propuestos por Landis (1989) para coníferas producidas en contenedor.

**Cuadro 2. Algunos indicadores fisiológicos en varias especies estudiadas.**

Espece	TP	TDP (meses)	N(%)	P(%)	K(%)	C (%)	Lignina (%)	Ref.
<i>P. arizonica var. cooperi</i>	C	8	1.5	0.2	1.5	-	-	1
<i>P. ayacahuite</i>	BP	8	1.3	0.2	0.6	45.9	20.2	5
<i>P. cembroides</i>	C	9.5	1.7	0.7	2.3	-	-	6
<i>P. devoniana</i>	C	9-12	0.5-1.3	0.1-0.3	0.5-0.7	45.3-45.4	-	7,8,9
	BP	8	1.4	0.2	0.7	45.3	21.5	5
<i>P. douglasiana</i>	C	7	1.1-1.2	0.2-0.5	0.2-0.6	45.4-46.3	7.0-22.4	8,10
<i>P. engelmannii</i>	C	12	1.3	0.2	0.4	-	-	15
<i>P. greggii</i>	C	9	1.0-1.3	0.2	0.6-0.7	45.9-46.0	21.5-25.6	7,8
<i>P. hartwegii</i>	C	17	1.2	0.2	-	-	-	31
<i>P. leiophylla</i>	C	-	2.3	0.2	0.5	-	-	22
<i>P. montezumae</i>	C	9.5	1.2	0.2	0.3	-	-	25
<i>P. oocarpa</i>	C	-	1.4	0.3	0.6	45.3	18.5	8
<i>P. pringlei</i>	C	13	0.5	0.1	0.1	-	-	27
<i>P. pseudostrobus</i>	C	9	1.0-1.1	0.2-0.3	0.6-0.6	45.2-45.9	20.0-20.4	8,32
<b>Valores recomendados<sup>†</sup></b>	-	-	1.4-2.2	0.2-0.4	0.4-1.5	-	-	

TP=Tipo de producción(C=Contenedor, BP=Bolsa de polietileno). TDP= Tiempo de producción. Ref.=Referencia. Referencias: 31 (Ortega y Rodríguez, 2007), 32 (Gómez *et al.*, 2013). <sup>†</sup>Valores estándares para nutrientes de área foliar para plantas producidas en contenedor (Landis, 1989).

Sin embargo, en la mayoría estudios declaran una calidad de planta adecuada y no se presentan respuestas visibles de deficiencia o exceso de nutrientes. Esto sugiere que, ante la diversidad de especies forestales nacionales, tales concentraciones nutrimentales propuestas representan un buen punto de partida, pero hay que afinarlo con frecuencia reduciéndolas.

**Concentración de carbohidratos.** En la concentración de carbohidratos solo se encontraron dos (2.6%) artículos para *P. greggii* (Cetina *et al.*, 2001; Cetina *et al.*, 2002). Esta variable fisiológica puede funcionar como predictor de la supervivencia, con diferencias por las condiciones de crecimiento, manejo, almacenamiento y plantación; es una prueba muy susceptible a cualquier cambio (Marshall, 1985) (Cuadro 2).

**Potencial hídrico.** Se utilizó en 7.8% de los estudios. Este indicador está compuesto principalmente por dos componentes en planta de vivero: el potencial osmótico (PO) y el potencial de presión (PP); cuando una planta está turgente,  $PHP = 0$ , porque el PP es positivo, e iguala al PO, el cual es negativo (Landis *et al.*, 1989). El déficit moderado de agua, afectado por la hora del día, la especie, la edad de la planta, el nivel de reposo y la resistencia al estrés y el ambiente, provoca el cierre de los estomas, la disminución de la fotosíntesis y la reducción del crecimiento; un fuerte déficit hídrico puede ocasionar daños permanentes al sistema fotosintético y a otros procesos fisiológicos, lo que afectará el crecimiento o provocará la mortalidad (Haase, 2007). Conocer los niveles estrés hídrico de cada especie puede llegar a tolerar es de suma importancia en programas de restauración para que estos no fracasen. Un ejemplo claro de esto es el uso de *P.*

*leiophylla* como pionera que puede tolerar niveles de estrés hídrico hasta de -3.5 MPa (Castelán, 2014).

### 3.6 Pruebas de desempeño

Las pruebas de desempeño o atributos de rendimiento se determinan colocando muestras de plantas en entornos controlados específicos y evaluando sus respuestas. Tienen el inconveniente de consumir mucho tiempo; sin embargo, dan resultados en las respuestas de la planta que a menudo están relacionadas con el rendimiento en el campo (Ritchie, 1984). Entre las más usadas a nivel mundial se encuentran prueba de resistencia al frío y crecimiento potencial de raíz, usadas en solo 1% y 5% de los estudios.

**Resistencia al frío.** La resistencia al frío es la temperatura mínima a la cual un porcentaje de una población de brinzales sobrevivirá o mantendrá un nivel dado de daño (Ritchie, 1984). En zonas templadas y frías, la resistencia al frío se da manera natural, se expresa con el endurecimiento de la planta; sin embargo, cuando se piensa hacer la producción de planta en viveros, es necesario comprender el proceso de resistencia al frío para producir material debidamente endurecido (Glerum, 1985). El único caso en los artículos revisados fue el de Ramírez y Rodríguez (2010), donde aplicaron diferentes concentraciones de nitrato de potasio a plantas en vivero de 13 meses de *Pinus hartwegii* para modelar la probabilidad de daños por frío como función de la concentración de K en la solución fertilizante.

**Crecimiento potencial de raíz.** Se encontraron solo tres investigaciones que lo utilizaron (Ávila *et al.*, 2017; Robles *et al.*, 2017;

Sánchez *et al.*, 2016). Estima la capacidad de las plantas para emitir raíces cuando se encuentran en un ambiente favorable. Investigaciones han mostrado que existe una correlación entre la producción de raíces y sobrevivencia. Sin embargo, la prueba da sus mejores resultados con especies que producen abundantes raíces y en ambientes no limitativos (Ritchie y Landis, 2003).

### **3.7 Comprobación de supervivencia en campo**

La gran mayoría de los estudios revisados utilizan solo parámetros morfológicos como indicadores de calidad de planta. Lo anterior puede deberse a la difícil accesibilidad de equipos e instrumentos costosos para realizar las pruebas fisiológicas, además que se necesita personal capacitado. O bien se adolece de recursos financieros para cubrir los costos en los laboratorios que hacen las determinaciones.

Los indicadores fisiológicos no deben considerarse sin tomar en cuenta a los morfológicos, pues una planta puede tener una buena nutrición, pero si su sistema radical no está bien desarrollado, la probabilidad de sobrevivir en un ambiente con limitaciones de humedad es bajo (Gutiérrez *et al.*, 2015; Rodríguez, 2008). Solo 29.5% de los artículos revisados (Cuadro 3), realizaron pruebas de supervivencia en campo y dado que la definición de calidad de planta la involucra, es necesario que estudios subsecuentes realicen comprobación en campo para darles mayor robustez y rigor científico.



**Cuadro 3. Estudios revisados sobre evaluación de supervivencia en campo.**

Especie	T E	EI	Tratamientos	Resultados	Ref.
<i>P. arizonica</i> var. <i>cooperi</i>	18	Sí	Envases 80 cm <sup>3</sup> y 170 cm <sup>3</sup> , riegos (cada 48, 96 y 168 h), sitios plantación contrastantes	Sitio de plantación significativo en supervivencia en crecimiento en A. S de 85.6%.	2
<i>P. arizonica</i> var. <i>cooperi</i> , <i>P. engelmannii</i>	13	Sí	Dos categorías de calidad (D y A).	La 1ª, S=67.5% (D>6.5 mm), la 2ª sin diferencias. (S >90%).	4
<i>P. greggii</i>	12	Sí	Podas raíz y tallo, riego.	La poda de tallo estimuló crecimiento, pero no S.	33
<i>P. greggii</i>	36	Sí	Efecto de poda química de raíz con Cu.	Sin diferencias en crecimiento ni S (97.8%).	16
<i>P. greggii</i>	21	Sí	Procedencias/progenie (21 familias)	Diferencias entre familias, una con S=46%.	34
<i>P. hartwegii</i>	36	Sí	Fuego (S e incrementos), 2 calidades planta.	Mayor S (48.8%) en áreas no quemadas.	35
<i>P. hartwegii</i>	6	Sí	4 tipos quemas prescritas, 2 calidades planta.	>S en testigo y quema prescrita marzo.	31
<i>P. hartwegii</i>	24	Sí	Quemas prescritas, densidad rodal.	Con < D, < S, en rodales con quema intensa y densos.	36
<i>P. hartwegii</i>	12	Sí	Plantas nodrizas y micrositos al plantar.	No efecto en S. >N,P,K y crecimiento en A con <i>Lupinus</i> .	37
<i>P. hartwegii</i>	12	No	Capacidad de contenedor.	S=96% en contenedores de 5 L (retrasplante).	19
<i>P. hartwegii</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>P. pseudostrobus</i> , <i>P. pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i>	27	Sí	Alturas contrastantes (2200 y 2800 msnm) y diferentes especies.	<i>P. pseudostrobus</i> fue la mejor especie para el sitio, por su resistencia al frío y crecimiento potencial. (S=84.8%)	38
<i>P. leiophylla</i>	6	Sí	Bloques espuma fenólica hidratada al plantar	S >70% con espuma fenólica de 616 cm <sup>3</sup> y 462 cm <sup>3</sup>	21
<i>P. montezumae</i>	12	No	2 calidades, 3 sitios	La calidad alta (D > 6 mm) tuvo > S (83.82%)	39
<i>P. montezumae</i>	22	Sí	2 calidades, 2 altitudes, 2 exposiciones	La exposición N (S=88.6 %), superó a la sur (83.3 %).	40
<i>P. patula</i>	12	Sí	Tratamiento de quema y clase de A	S= 92 y 94% en localidades quemada y no quemada.	41
<i>P. pringlei</i>	10	No	Inoculación hongos ectomicorrízicos.	S=0% sin inoculación. Planta inoculada con S 30-50%	27
<i>P. pseudostrobus</i>	15	Sí	3 tipos de propagación, cárcavas.	S=86% con pinos inoculados con <i>Pisolithus tinctorius</i>	32
<i>P. pseudostrobus</i>	14	No	Producción, preacondicionamiento, sitio.	S=52.9%. Diferencias entre producción y sitios.	42

TE=tiempo de evaluación (meses), EI=evaluación de incrementos en variables morfológicas. Ref.=referencia, S=supervivencia, D=diámetro, A=altura. Referencias: 33 (Cetina *et al.*, 2002), 34 (Díaz *et al.*, 2012), 35 (Ortiz y Rodríguez, 2008), 36 (Vera y Rodríguez, 2007), 37 (Ramírez y Rodríguez, 2009), 38 (Viveros *et al.*, 2007), 39 (Bautista *et al.*, 2005), 40 (Robles *et al.*, 2017), 41 (Sosa y Rodríguez, 2003), 42 (Rosales *et al.*, 2015).

### 3.8 Conclusiones

- La mayoría de las investigaciones usan parámetros morfológicos como indicadores de calidad, principalmente: altura y diámetro, y aunque este último es un buen indicador, usar parámetros fisiológicos permite entender mejor el funcionamiento de la planta en vivero y sitio de plantación.
- En el futuro, más investigaciones deben ser respaldadas con supervivencia en campo, para dar mayor robustez y aplicabilidad a los resultados.
- Son pocas las especies de *Pinus* estudiadas. Es importante seguir profundizando en ellas, pero también es necesario ampliar el abanico de especies si se quiere adelantar más en programas de restauración, con especies en riesgo y de otras de interés económico o ecológico.
- Se deben incrementar los estudios sobre especies micorrízicas y nivel de micorrización.
- Hay margen para aplicar mayor variedad de pruebas, como dormancia de la yema para las especies de ambientes fríos, o fluorescencia de la clorofila, así como incrementar el uso de pruebas como crecimiento potencial de raíz.

### 3.9 Referencias

- Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T. y V. M. Ordáz C. 2016a. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50(1): 107–118.
- Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T. y V. M. Ordáz C. 2016b. Producción de *Pinus pseudostrabus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(34): 7–20. doi:10.29298/rmcf.v7i34.79.
- Aldrete, A., J. G. Mexal, R. Phillips and A. D. Vallotton. 2002. Copper

- coated polybags improve seedling morphology for two nursery-grown Mexican pine species. *Forest Ecology and Management* 163: 197–204. doi:10.1016/S0378-1127(01)00579-5.
- Arteaga M., B., S. León y C. Amador. 2003. Efecto de la mezcla de sustratos y fertilización sobre el crecimiento de *Pinus durangensis* Martínez en vivero. *Foresta Veracruzana* 5(2): 9–15.
- Ávila A., M. L., A. Aldrete, J. J. Vargas H., A. Gómez G., V. A. González H. and A. Velázquez M. 2017. Hardening of *Pinus oaxacana* Mirov seedlings under irrigation management in nursery. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 23(2): 221–229. doi:10.5154/r.rchscfa.2016.05.029.
- Ávila F., I. J., J. A. Prieto R., J. C. Hernández D., C. A. Whehenkel y J. J. Corral R. 2014. Preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. mediante déficit de riego en vivero. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 20(3): 237–245. doi:10.5154/r.rchscfa.2014.02.004
- Barajas R., J. E., A. Aldrete, J. J. Vargas H. y J. López U. 2004. La poda química en vivero incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38(5): 545–553.
- Barragán S., J. L., J. Pérez M., J. J. Almaraz S., M. G. Carcaño M. and K. I. Medrano O. 2018. Inoculation with an edible ectomycorrhizal fungus and bacteria increases growth and improves the physiological quality of *Pinus montezumae* Lamb. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 24(1): 3–16. doi:10.5154/r.rchscfa.2017.01.010.
- Bautista Z., N., V. M. Cetina A., J. A. Vera C. y C. T. Cervantes M. 2005. Evaluación de la calidad de brinzales de *Pinus montezumae* Lamb., producidos en el San Luis Tlaxialtemalco, Distrito Federal. *Ra Ximhai. Revista De Sociedad, Cultura, Desarrollo* 1(1): 167–176.
- Bekele, M. 2011. Forest plantations and woodlots in Ethiopia. *In: Afr. For. Forum Work. Pap. Ser.* pp. 1–51.
- Bernaola P., R. M., E. Pimienta B., P. Gutiérrez G. V. M. Ordáz C., G. A. Santiago y E. Salcedo P. 2015. Efecto del volumen del contenedor en la calidad y supervivencia de *Pinus hartwegii* Lindl. en sistema doble-trasplante. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(28): 174–187. doi:10.29298/rmcf.v6i28.275.
- Bernaola P., R. M., J. F. Zamora N., J. de J. Vargas R., V. M. Cetina A., R. Rodríguez M. y E. Salcedo P. 2016. Calidad de planta en etapa de vivero de dos especies de pino en sistema Doble-Trasplante. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(33): 74–93. doi:10.29298/rmcf.v7i33.91.
- Broadhurst, L. M., T. A. Jones, F. S. Smith, T. North and L. Guja, 2015. Maximizing seed resources for restoration in an uncertain future.

- BioScience 66(1): 73–79. doi:10.1093/biosci/biv155.
- Buendía V., M. V., M. Á. López L., V. M. Cetina A. and L. Diakite. 2017. Substrates and nutrient addition rates affect morphology and physiology of *Pinus leiophylla* seedlings in the nursery stage. *IForest* 10: 115–120. doi:10.3832/ifor1982-009.
- Castelán Muñoz, N. 2014. Fisiología de plántulas de *Pinus leiophylla* sometidas a estrés hídrico. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 67 p.
- Cetina A., V. M., V. A. González H., M. L. Ortega D., J. Vargas H. y A. Villegas M. 2002. Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm. previamente sometido a podas o sequía en vivero. *Agrociencia* 36(2): 233–241.
- Cetina A., V. M., M. L. Ortega D., V. A. González H., J. J. Vargas H., M. T. Colinas L. y A. Villegas M. 2001. Fotosíntesis y contenido de carbohidratos de *Pinus greggii* Engelm. en respuesta a la poda y al régimen de riego en vivero. *Agrociencia* 35(6): 599–607.
- Challenger, A. y J. Soberón, J. 2008. Los ecosistemas terrestres. *In: Soberón, J., G. Halffter y J. Llorente B. (eds.) Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad.* Conabio. México, D.F., México. pp. 87-108.
- Díaz L., C., E. Ramírez G. y H. Cruz J. 2012. Estrategia de conservación de *Pinus greggii* Engelm. en el estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 14(1): 43–50.
- Dickson, A., A. L. Leaf and J. F. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle* 36: 10–13.
- Dumroese, K., T. D. Landis, J. Pinto, D. Haase, K. Wilkinson and A. Davis. 2016. Meeting Forest Restoration Challenges: Using the Target Plant Concept. *Reforesta* 1: 37–52. doi:10.21750/refor.1.03.3.
- Duryea, M. L. 1985. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. *In: Duryea, M. L. (ed.) Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests.* Corvallis, OR, USA. pp. 1–4.
- García P., J. L., A. Aldrete, J. López U., J. J. Vargas H. y J. A. Prieto R. 2015. Efecto de la condición ambiental y la fertilización en el preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38(3): 297–304.
- Gernandt, D. S. y J. A. Pérez de La Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(Supl.): 126–133. doi:10.7550/rmb.32195.
- Glerum, C. 1985. Frost hardiness of coniferous seedlings: principles and applications. *In: Duryea, M. L. (ed.) Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests.*

- Corvallis, OR, USA. pp. 107–123.
- Gómez R., M., J. Villegas, C. Sáenz R. y R. Lindig C. 2013. Efecto de la micorrización en el establecimiento de *Pinus pseudostrobus* en cárcavas. *Madera y Bosques* 19(3): 51–63. doi:10.21829/myb.2013.193327.
- Grossnickle, S. C. 2012. Why seedlings survive: Influence of plant attributes. *New Forests* 43(5–6): 711–738. doi:10.1007/s11056-012-9336-6.
- Grossnickle, S. C. and J. MacDonald. 2018. Seedling Quality: History, Application, and Plant Attributes. *Forests* 9: 283. doi:10.3390/f9050283.
- Gutiérrez G., J. V., D. A. Rodríguez T., A. Villanueva M., S. García D. y J. L. Romo L. 2015. Calidad del agua en la producción de *Pinus cembroides* Zucc. en vivero. *Agrociencia* 49(2): 205–219.
- Haase, D. L. 2007. Morphological and Physiological Evaluations of Seedling Quality. *In*: Riley, L. E., R. K. Dumroese and T. D. Landis (eds.) National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations–2006. Proceedings RMRS-P-50. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO, USA. pp. 3–8.
- Hernández Z., L., A. Aldrete, V. M. Ordáz C., J. López U. y M. A. López L. 2014. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48(6): 627–637.
- Jacobs, D. F. y T. D. Landis. 2009. Fertilization. *In*: Dumroese, R. K., T. Luna and T. D. Landis (eds.) Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries - Volume 1: Nursery management. Agriculture Handbook 730. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, D.C., USA. pp. 201–215.
- Jacobs, D. F. y T. D. Landis. 2014. Plant nutrition and fertilization. *In*: Wilkinson, K. M., T. D. Landis, D. L. Haase, B. F. Daley and R. K. Dumroese (eds.) Tropical nursery manual: a guide to starting and operating a nursery for native and traditional plants. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, D.C., USA. pp. 232–251.
- Landis, T. D. 1989. Mineral Nutrients and Fertilization. *In*: Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett (eds.) The Container Tree Nursery Manual Agriculture Handbook 674 (vol 4). Department of Agriculture, Forest Service. Washington, D.C., USA. pp. 1-67.
- Landis, T. D. 2011. The Target Plant Concept - A History and Brief Overview. *In*: Riley, L. E., D. L. Haase and J. R. Pinto (eds.) National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations—2010. Department of Agriculture, Forest Service,

- Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO, USA. pp. 61-66.
- Landis, T. D., R. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett. 1989. Seedling Nutrition and Irrigation. *In*: Landis, T. D., R. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett (eds.) The Container Tree Nursery Manual Agriculture Handbook 674. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, D.C., USA. 119 p.
- López G., A., J. Pérez M., F. Hernández S., E. Uscanga M., A. García E., V. M. Cetina A., M. del R. Cardoso V. and B. Xoconostle C. 2018. Nutrient mobilization, growth and field survival of *Pinus pringlei* inoculated with three ectomycorrhizal mushrooms. *Botanical Sciences* 96(2): 286–304. doi:10.17129/botsci.1239.
- Marshall, J. D. 1985. Carbohydrate status as a measure of seedling quality. *In*: Duryea, M. L. (ed.) Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests. Oregon State University. Corvallis, OR, USA. pp 49-58.
- Martínez N., L. E., H. Sarmiento L., J. Á. Sigala R., S. Rosales M. y J. B. Montoya A. 2015. Respuesta a la inoculación inducida de *Russula delica* Fr. en plantas de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(33): 108–117. doi:10.29298/rmcf.v7i33.93.
- Martínez R., M., J. Pérez M., L. Villarreal R., R. Ferrera C., B. Xoconostle C., J. J. Vargas H. y M. Honrubia G. 2012. Crecimiento y contenido nutrimental de *Pinus greggii* Engelm. inoculado con el hongo comestible ectomicorrízico *Hebeloma mesophaeum* (Pers.) Qué. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 18(2): 183–192. Doi:10.5154/r.rchscfa.2010.11.112.
- Mexal, J. y T. D. Landis. 1990. Target Seedling Concepts: Height and Diameter. *In*: Rose, R., S. J. Campbell and T. D. Landis (eds.) Target Seedling Symposium meeting of the western forest nursery associations. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO, USA. pp. 17-35.
- Muñoz F., H. J., J. T. Sáenz R., V. M. Coria A., J. de J. García M., J. Hernández R. y G. E. Manzanilla Q. 2015. Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(27): 72–89. doi:10.29298/rmcf.v6i27.282
- Ortega B., V. y D. A. Rodríguez T. 2007. Supervivencia y crecimiento iniciales y concentración de nutrimentos de *Pinus hartwegii* plantado en localidades quemadas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 13(2): 115–124.
- Ortega M., A., L. Mendizábal H., J. Alba L. y A. Aparicio R. 2003. Germinación y crecimiento inicial de *Pinus hartwegii* Lindl. de

- siete poblaciones del Estado de México. *Foresta Veracruzana* 5(2): 29–34.
- Ortíz R., J. N. y D. A. Rodríguez T. 2008. Incremento en biomasa y supervivencia de una plantación de *Pinus hartwegii* Lindl. en áreas quemadas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 14(2): 89–95. doi:10.4270/ruc.2010216.
- Palacios R., A., R. Rodríguez L., F. Prieto G., J. Meza R., R. Razo Z. y M. de la L. Hernández F. 2015. Supervivencia de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham. en campo mediante la aplicación de espuma fenólica hidratada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(32): 83–92. doi:10.29298/rmcf.v6i32.100.
- Palacios R., A., R. Rodríguez L., R. Razo Z., J. Meza R., F. Prieto G. and M. de la L. Hernández F. 2017. Survival of plants of *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. y Cham., by adding water reservoirs at transplanting in a greenhouse. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 23(1): 35–45. doi:10.5154/r.rchscfa.2015.10.046.
- Perry, J. P. 1991. *The pines of Mexico and Central America*. Timber Press. Portland, OR, USA. 231 p.
- Pineda O., T., V. M. Cetina A., J. A. Vera C., C. T. Cervantes M. y A. Khalil G. 2004. El trasplante contenedor-contenedor (1+1) y contenedor-raíz (P+1) en la producción de planta de *Pinus greggii* Engelm. *Agrociencia* 38(6), 679–686.
- Prieto R., J. Á., R. J. Almaraz R., J. J. Corral R. y A. Díaz V. 2012. Efecto del estrés hídrico en *Pinus cooperi* Blanco durante su preacondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(12): 19–28. doi:10.29298/rmcf.v3i12.505.
- Prieto R., J. Á., E. H. Cornejo O., P. A. Domínguez C., J. de J. Návar C., J. G. Marmolejo M. y J. Jiménez P. 2004a. Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr., producido en vivero. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 13(3): 443–451.
- Prieto R., J. Á., P. A. Domínguez C., E. H. Cornejo O. y J. de J. Návar C. 2007. Efecto del envase y del riego en vivero en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. *Maderas y Bosques* 13(1): 79–97.
- Prieto R., J. Á., P. A. Domínguez C., J. de J. Návar C. y E. H. Cornejo O. 2004b. Factores que influyen en la producción de *Pinus cooperi* en vivero. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 10(1): 63–70.
- Prieto R., J. Á., A. Duarte S., J. R. Goche T., M. M. González O. y M. Á. Pulgarín G. 2018. Supervivencia y crecimiento de dos especies forestales, con base en la morfología inicial al plantarse. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(47): 151–168. doi:10.29298/rmcf.v9i47.182.

- Prieto R., J. Á., J. L. García R., J. M. Mejía B., S. Huchín A. y J. L. Aguilar V. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Folleto Técnico. SAGARPA-INIFAP-Campo Experimental "Valle del Guadiana. Durango, Dgo., México. pp. 6-8.
- Ramírez C., A. y D. A. Rodríguez T. 2009. Plantas nodriza en la reforestación con *Pinus hartwegii* Lindl. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente 15(1): 43-48.
- Ramírez C., Y. y D. A. Rodríguez T. 2010. Resistencia a bajas temperaturas en *Pinus hartwegii* sometido a diferentes tratamientos con potasio. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente 16(1): 79-85. doi:10.5154/r.rchscfa.2009.09.032.
- Rentería C., M. C., J. Pérez M., V. M. Cetina A., R. Ferrera C. y B. Xoconostle C. 2017. Transferencia de nutrientes y crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. inoculado con hongos comestibles ectomicorrícicos en dos sustratos. Revista Argentina de Microbiología 49(1): 93-104. doi:10.1016/j.ram.2016.06.004.
- Reyes R., J., A. Aldrete, V. M. Cetina A. y J. López U. 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. 1984. Assessing Seedling Quality. In: Duryea, M. L. y T. D. Landis (eds.) Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, Boston, Lancaster for Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis, OR, USA. pp. 243-259.
- Ritchie, G. A. y T. D. Landis. 2003. Seedling quality tests: root growth potential. Forest Nursery Notes, Summer 2003. USDA Forest Service. Portland, OR, USA. pp. 8-10.
- Robles V., F., D. A. Rodríguez T. y A. Villanueva M. 2017. Calidad de planta y supervivencia en reforestación de *Pinus montezumae* Lamb. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 8(42): 55-76. doi:10.29298/rmcf.v8i42.19.
- Rodríguez-Trejo, D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi Prensa México, S.A. de C.V. México, D.F., México. 156 p.
- Rodríguez T., D. A., M. L. Duryea y T. L. White. 2002. Fertilización nitrogenada y concentración de carbohidratos en plántulas de *Pinus palustris* Mill. producidas a raíz desnuda. Agrociencia 36(6): 683-691.
- Roller, K. J. 1977. Suggested Minimum Standards for Containerised Seedlings in Nova Scotia. Department of Fisheries and Environment Canada, Canadian Forestry Service. Fredericton, New Brunswick, Canada. Information Report M-X-69. p 18.



- Romero A., O., R. López E., M. Á. Damián H., I. Hernández T., J. F. Parraguirre L. y M. Huerta L. 2012. Evaluación del residuo de cáscara de nuez (*Juglans regia* L.) en la producción de plántulas de *Pinus patula*, en vivero. *Agronomía Costarricense* 36(2): 103–110.
- Rosales M., S., J. Á. Prieto R., J. L. García R., R. E. Madrid A. y J. Á. Sigala R. 2015. Preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. bajo diferentes condiciones ambientales en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(27): 64–71. doi:10.29298/rmcf.v6i27.281.
- Rueda S., A., J. de D. Benavides S., J. Á. Prieto R., J. T. Sáenz R., G. Orozco G. y A. Molina C. 2012. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(14): 69–82. doi:10.29298/rmcf.v3i14.475.
- Rueda S., A., J. de D. Benavides S., J. T. Sáenz R., H. J. Muñoz F., J. Á. Prieto R. y G. Orozco G. 2014. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(22): 58–73. doi:10.29298/rmcf.v5i22.350.
- Sáenz R., J. T., H. J. Muñoz F., C. M. Á. Pérez D., A. Rueda S. y J. Hernández R. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(26): 98–111. doi:10.29298/rmcf.v5i26.293.
- Sáenz R., J. T., H. J. Muñoz F., J. Á. Prieto R. y A. Rueda S. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich., México. 19 p.
- Sánchez A., H., A. Aldrete, J. Vargas H. y V. M. Ordáz C. 2016. Influencia del tipo y color de envase en el desarrollo de plantas de pino en vivero. *Agrociencia* 50(4): 481–492.
- Sánchez G., A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques* 14(1): 107–120.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. 30 de diciembre de 2010, Segunda Sección. México, D.F., México. 65 p.
- Sosa P., G. y D. A. Rodríguez T. 2003. Efecto de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de *Pinus patula* en un área quemada. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 9(1): 34–43.
- South, D. B., J. N. Boyer y L. Bosch. 1985. Survival and growth of

- loblolly pine as influenced by seedling grade: 13-year results. *Southern Journal of Applied Forestry* 9(2): 76–81. doi:10.1093/sjaf/9.2.76.
- Thompson, B. E. 1985. Seedling morphological evaluation. What can you tell by looking? *In*: Duryea, M. L. (ed.) *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests*. Oregon State University. Corvallis, OR, USA. pp. 59–71.
- Tuttle, C. L., D. B. South, M. S. Golden y R. S. Meldahl. 1988. Initial *Pinus taeda* seedling height relationships with early survival and growth. *Canadian Journal of Forest Research* 18(7): 867–871. doi:10.1139/x88-133.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). 2001. The IUCN red list categories and criteria: Version 3.1. <http://www.iucnredlist.org/> (6 de mayo 2019).
- Vera V., V. y D. A. Rodríguez T. 2007. Supervivencia e incremento en altura de *Pinus hartwegii* a dos años de quemas prescritas e incendios experimentales. *Agrociencia* 41(2): 219–230.
- Viveros V., H., C. Sáenz R., J. López U. y J. J. Vargas H. 2007. Growth and frost damage variation among *Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae* and *P. hartwegii* tested in Michoacán, México. *Forest Ecology and Management*, 253(1–3), 81–88. doi:10.1016/j.foreco.2007.07.005.

## **CAPITULO 4. Compostas de corteza y aserrín de pino para la producción de *Pinus leiophylla* de calidad**

*Compost of pine bark and pine sawdust for the quality production of Pinus leiophylla*

### **Resumen:**

**Introducción:** La búsqueda de sustratos alternativos a la turba de musgo es una necesidad de carácter mundial dadas las implicaciones ambientales y económicas en su extracción y transporte. Las compostas de corteza y aserrín de pino aparecen como una prometedora opción.

**Objetivos:** Describir características fisicoquímicas de sustratos compuestos por composta de corteza y composta de aserrín de pino. Evaluar la calidad de planta de *P. leiophylla* usando mezclas de dichas compostas.

**Materiales y métodos:** Se realizó una caracterización fisicoquímica de las mezclas propuestas para determinar su aptitud como sustratos. La calidad de planta se estimó a partir de parámetros morfológicos y fisiológicos al final del ciclo de producción, así como y la supervivencia e incrementos en campo.

**Resultados y discusión:** Se encontró que todos los tratamientos son recomendables para su uso; destaca en algunas variables el tratamiento: 40% composta de corteza + 60% composta de aserrín. En un lugar con condiciones difíciles, la supervivencia tuvo un valor promedio de 58.6%. El uso de un tratamiento u otro dependerá de la disponibilidad de los materiales en la zona. Se propone al lignotubérculo, presente en esta especie, como parámetro de calidad.

**Conclusión:** Los sustratos alternativos utilizados suplen a la turba de musgo y propician la producción de planta de calidad.

**Palabras clave:** viveros forestales, sustratos alternativos, sustitos al *peatmoss*, supervivencia en campo, características del sustrato.

## 4.1 Introducción

Para enmendar la pérdida de alrededor de 155 000 ha anuales de bosques y selvas, en México se han creado diversos programas de reforestación, anuales o sexenales, en donde, desafortunadamente, cada año se registran porcentajes de supervivencia inferiores al 60% (Palacios-Romero *et al.*, 2017). Es por esta razón que estos programas deben estar enfocados a la producción de plantas de alta calidad, centrándose en mejorar la supervivencia y el crecimiento en el campo (Cortina, Vilagrosa, & Trubat, 2013).

El reconocer la importancia de evaluar la calidad de planta ha motivado el desarrollo de distintos métodos, en su gran mayoría, orientados a la medición de atributos morfológicos y fisiológicos relacionados, de forma directa, con la supervivencia y el crecimiento de las plantas en el campo (Grossnickle & Folk, 1993; Rose, Carlson, & Morgan, 1990) Cabe señalar, que las características contenidas en sus atributos, se encuentran estrechamente relacionadas con los procedimientos de cultivo realizados durante la producción de la planta en el vivero (Brichler, Rose, Royo, & Pardos, 1998). Uno de los factores decisivos es la correcta elección de un sustrato que cuente con las características que propicien un medio de crecimiento ideal. Es decir, que cuente con un pH ligeramente ácido, elevada capacidad de intercambio catiónico, baja fertilidad inherente, porosidad adecuada y una condición libre de plagas y enfermedades (Landis, 1990).

En ese escenario, uno de los sustratos más usados en las mezclas es el *peat moss*, o turba de musgo, por contar con las propiedades idóneas (Li, Chen, Caldwell, & Deng, 2009). Sin embargo, su uso ha sido cuestionado por el impacto ecológico y otros factores asociados al costo del combustible utilizado en la extracción, procesamiento y transporte, y el deseo de utilizar sustratos más sostenibles (Huang, Niu, Feagley, & Gu, 2019). Es por eso que se han probado diferentes materiales considerados subproductos de distintos procesos, que han

mostrado una buena respuesta (Chrysargyris, Stamatakis, Moustakas, Prasad, & Tzortzakis, 2017; Fernández *et al.*, 2018; Haitao *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2019). Por ejemplo, la utilización de aserrín y corteza de pino como sustratos obedece a que son materiales de bajo costo y han demostrado ser funcionales (Hernández, Aldrete, Ordaz, López, & López, 2014). Sin embargo, los requerimientos fisiológicos en cada especie son distintos, así como las características fisicoquímicas de las mezclas de materiales; por lo cual, este trabajo plantea que la calidad de planta se puede ver afectada por la composición de la mezcla de sustratos como hipótesis de investigación.

*Pinus leiophylla* Schiede ex Schtdl. & Cham. aparece con un importante protagonismo para ser utilizada en programas de reforestación. Su capacidad para producción de resina y de establecerse en suelos pobres y tierras cubiertas de lava volcánica y relativa resistencia a factores abióticos, la convierten en una especie pionera de interés ecológico (Castelán, Jiménez, López, Campos, & Vargas, 2015; Jiménez & Zwiazek, 2014). Además, es de las especies de pino mexicanas más adaptadas al fuego (Rodríguez, 2014). Por lo anterior, esta investigación tiene como objetivo la caracterización fisicoquímica de mezclas de sustratos formulados por composta de corteza y composta de aserrín, además de evaluar la calidad de planta de *P. leiophylla* producidos en dichas mezclas, a través de parámetros morfológicos, fisiológicos y un ensayo de supervivencia en campo.

## **4.2 Materiales y métodos**

### **4.2.1 Caracterización de mezclas de sustratos**

Las mezclas de sustratos propuestas en esta investigación están compuestas, principalmente, por composta de corteza y composta de aserrín de *Pinus* sp. (Cuadro 4), obtenidas de un aserradero del municipio de Chignahuapan, Puebla, ubicado en las coordenadas 19°42'30.3"N 98°03'56.3"O. Como testigo (T6), se

utilizó turba de musgo Pro-Mix® Flex, perlita expandida y vermiculita exfoliada de la marca Agrolita®. De forma adicional se agregó fertilizante de lenta liberación Multicote® (8) 18-6-12+2MgO+ME a una dosis de 4 kg m<sup>-3</sup>.

**Cuadro 4. Tratamientos utilizados con diferentes mezclas de sustratos.**

Tratamiento	Materiales (% V/V)				
	Composta corteza	Composta aserrín	Turba de musgo	Perlita	Vermiculita
T1	10	70		10	10
T2	20	80			
T3	40	60			
T4	60	40			
T5	80	20			
T6			60	20	20

La caracterización física se hizo según describe Landis (1990) para determinar las siguientes variables: porosidad total (PT), con la ecuación  $PT (\%) = \text{Volumen de poro total (cm}^{-3}) / \text{Volumen del contenedor (cm}^{-3})$ ; porosidad de aireación (PA),  $PA (\%) = \text{Volumen de poros de aire (cm}^{-3}) / \text{Volumen del contenedor (cm}^{-3})$ ; porosidad de retención de humedad (PRH),  $PRH (\%) = PT (\%) - PA (\%)$ . Para el cálculo de la densidad aparente (DA) se requirió conocer el peso del sustrato utilizado para llenar un contenedor, después de haber sido sometido a un proceso de deshidratación por 78 horas a 70°C en un horno de secado de la marca Ríos Rocha® S.A. serie H-41. Finalmente, se aplicó la siguiente ecuación:  $DA (\text{g cm}^{-3}) = \text{Peso seco del sustrato (g)} / \text{Volumen del contenedor (cm}^3)$  (Hernández, Aldrete, Ordaz, López, & López, 2014).

A las compostas se les determinó la concentración de N, P y K con la metodología descrita en el apartado de concentración nutrimental. El pH y conductividad eléctrica (CE) se determinaron a partir de una mezcla sustrato-agua destilada en una proporción 3:1, con un potenciómetro HANNA® instruments HI 2210 y un puente ORION® modelo 15. Para la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se utilizó el método de acetato de amonio 1N y pH 7 por arrastre de vapor, según la

Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2000).

#### 4.2.2 Etapa de vivero

La etapa de producción de planta se hizo en el vivero forestal de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Estado de México, ubicado en las coordenadas 19°29'46"N 18°00'51"O a 2250 msnm. El clima es Cw, templado-frío con lluvias en verano, precipitación media anual de 600 a 700 mm y temperatura media anual de 15 °C, con extremas promedio de 24.2°C y 6.0°C (García, 2004; Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2019).

Las semillas de *P. leiophylla* fueron recolectadas en 2016 en Santa María Zotoltepec, municipio de Ixtacamaxtitlan, Puebla, a 19°39'34.0"N y 97°52'03.9"O. Se les realizó el proceso de beneficio y se almacenaron hasta su uso. La siembra se realizó en septiembre de 2017 en contenedores rígidos de polietileno de color negro con cavidades cuadradas de 210 cm<sup>3</sup>. Los contenedores se colocaron en mesas portacontenedores con perfiles de madera a 40 cm sobre el suelo, para mejor aireación de la parte inferior de las cavidades y propiciar la poda de raíz. La germinación inició 12 días después de la siembra y terminó 24 días después.

El desarrollo de la planta se manejó en varias fases: a) establecimiento(4 semanas), b) crecimiento 1(5 semanas), c) endurecimiento 1(7 semanas), d) crecimiento 2(20 semanas) y e) endurecimiento 2(4 semanas). Debido al arribo del invierno se realizó endurecimiento previo al crecimiento. La fase de establecimiento se realizó bajo malla sombra al 30%, mientras que la fase de crecimiento y endurecimiento se hicieron a luz solar directa.

En la fase de establecimiento los riegos se realizaron tres veces por semana con regadera a 0.23 cm<sup>3</sup> cm<sup>-2</sup>; en fase de crecimiento a 0.46 cm<sup>3</sup> cm<sup>-2</sup> y en la fase de

finalización (endurecimiento) a  $0.23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-2}$ . Para ajustar el pH del agua de riego a 5.5, se utilizó ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) al 1%. La ferti-irrigación empezó 23 días después que finalizara la germinación con fertilizante soluble Peters Professional® 9-45-15 en la fase a; 20-20-20 en la fase b y d; y 4-25-45 en la fase c y e. La ferti-irrigación se realizó tres veces por semana con metas de 100 ppm de P (46 ppm N y 63 ppm K), 130 ppm de N (57 ppm P y 108 ppm K) y 180 ppm de K (25 ppm N y 68 ppm P) en cada una de las fases de desarrollo.

#### **4.2.3 Variables morfológicas e índices de calidad**

Las plantas fueron evaluadas a los diez meses de edad y se les determinó: altura (A) (cm), desde la base del tallo hasta la yema apical; diámetro (D) (mm), en la base del tallo con vernier (marca Truper®). Para la estimación de los pesos secos (g): total (PST), de la parte aérea (PSA), de la parte subterránea (PSS), de raíces secundarias (PSRS) y del lignotubérculo (PSL), se utilizó el horno de secado descrito anteriormente y balanza OHAUS® Corporation, modelo SPX223. Esta última variable se definió como la zona debajo de los rebrotes basales hasta donde se presentaba un estrechamiento abrupto de la raíz principal (Figura 3).

Se determinó la relación entre el peso seco de la parte aérea y subterránea (PSA/PSS), con la fórmula  $\text{PSA/PSS} = \text{PSA(g)}/\text{PSS(g)}$ ; el índice de esbeltez,  $\text{IE} = \text{A(cm)}/\text{D(mm)}$ ; y el índice de Dickson,  $\text{ID} = \text{PST(g)} / ((\text{A(cm)}/\text{D(mm)}) + (\text{PSA(g)}/\text{PSS(g)}))$  (Ritchie, Landis, Dumroese, & Haase, 2010). Para dar seguimiento al crecimiento, durante los primeros nueve meses de desarrollo, se registraron de forma aleatoria el diámetro y la altura midiendo cinco plantas por bloque, con un total de 20 por cada tratamiento.





**Figura 3. Lignotubérculo en *P. leiophylla* de diez meses.**

#### **4.2.4 Concentración nutrimental**

Se determinaron concentraciones de nutrientes N, P, K, Na, Ca, Mg y Fe en acículas de las plantas producidas en cada tratamiento. Adicionalmente, como referencia, se determinaron en una muestra compuesta de cuatro plantas de regeneración del área de recolección de semillas de, aproximadamente, 20 cm de altura. Se siguieron los métodos de Miller, Gavlak y Horneck (2013) como referencia. Para N, el método de digestión en horno de microondas con  $H_2SO_4/H_2O_2$  y cuantificación en inyector de flujo QuikChem 8500 LACHAT Instruments<sup>®</sup>. Para P, K, Na, Ca, Mg y Fe, la digestión se realizó con  $HNO_3/H_2O_2$ . La cuantificación de estos elementos se hizo con espectrofotómetro UV Jenway modelo 6715 para P; fotómetro de flama Cole-Parmer<sup>®</sup> modelo 02655 para K y Na; y espectrofotómetro de absorción atómica GBC modelo SavantAA  $\Sigma$  para Ca, Mg y Fe.

#### **4.2.5 Evaluación de supervivencia inicial e incrementos en altura y diámetro**

La plantación se realizó manteniendo la identidad de cada tratamiento en el predio experimental Las Cruces de la UACH, municipio de Texcoco, ubicado en 19°27'20.7"N 98°48'33.9"W a 2609 msnm; con temperatura media anual entre los 12 y 14°C y precipitación media anual menor a 800 mm, con valores máximos en julio de 130 mm y un mínimo en febrero de 5 mm (INEGI, 2019). Pasados siete meses de la plantación se evaluó la supervivencia e incrementos en altura y diámetro.

#### **4.2.6 Diseño experimental y análisis estadístico**

Las pruebas físicas de los sustratos se determinaron por cuadruplicado y se realizó el análisis de varianza (ANDEVA) con el procedimiento PROC GLM de SAS (versión 9.4, SAS Institute Inc., 2013). En la etapa de vivero el diseño experimental fue en bloques completos al azar (DBCA) con seis tratamientos y cuatro bloques. Para las variables morfológicas, la unidad experimental evaluada consistió en cuatro plantas por tratamiento en cada bloque. En el ANDEVA se ajustó un modelo mixto con efectos fijos para los tratamientos y efectos aleatorios para los bloques, mediante el procedimiento PROC GLIMMIX de SAS. Para evaluar las variables fisiológicas la unidad experimental consistió en una muestra compuesta por cuatro plantas de cada bloque y un ANDEVA con el procedimiento PROC GLM.

El diseño experimental para la plantación fue un DBCA con seis bloques, con ocho plantas por cada tratamiento elegidas de manera aleatoria de la fase de vivero. Para el análisis estadístico se usó SAS a través del ajuste de un modelo lineal, con efectos fijos de los bloques, considerando la variabilidad que podría haber en el sitio. Posterior a los análisis de varianza en todos los casos, se compararon las medias de los tratamientos con la prueba de rango estudentizado

de Tukey (HSD). Adicionalmente, se implementó un análisis de correlación lineal de Pearson para las variables de respuesta en vivero mediante el uso del procedimiento PROC CORR de SAS .

### 4.3 Resultados y discusión

#### 4.3.1 Propiedades fisicoquímicas de mezclas

Las medias muestrales por tratamiento para las propiedades fisicoquímicas estudiadas se presentan en el Cuadro 5. La variable PT presentó diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ), siendo el T4 y T5 los de menor valor con 75.8% y 72.6% respectivamente. La PA presentó diferencias ( $p = 0.0186$ ) entre el tratamiento T2 y T6. Aunque las recomendaciones sobre la PT y PA pueden variar considerablemente (Landis, 1990), Havis y Hamilton (1976), afirman que la PT de un medio de crecimiento adecuado debe ser mayor al 50%. Por otro lado, Handreck y Black (2010) reportan una PA alrededor del 10% en sustratos para contenedores de poca longitud. En general, una mezcla con alta porosidad presentará ventajas potenciales con una buena retención de agua y aireación (Bunt, 1988).

**Cuadro 5. Medias muestrales de tratamientos para las propiedades fisicoquímicas de mezclas de sustratos.**

Tratamiento	PT (%)	PA (%)	PRH (%)	DA (g cm <sup>-3</sup> )	CIC (meq L <sup>-1</sup> )	pH	CE (dSm <sup>-1</sup> )
T1	87.3bc	10.1ab	77.1bc	0.21c	151.2	6.02	0.114
T2	92.4a	7.3b	84.9a	0.25b	199.6	6.10	0.142
T3	90.0ab	8.1ab	81.9ab	0.26b	121.0	5.96	0.124
T4	75.8d	7.9ab	68.0de	0.29a	85.9	5.92	0.209
T5	72.6d	7.9ab	64.8e	0.30a	80.7	5.91	0.207
T6	82.7c	10.7a	72.0cd	0.17d	206.4	5.16	0.312
p-valor	<0.0001	0.0186	<0.0001	<0.0001	-	-	-

Para cada variable de columna, medias que comparten la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba HSD ( $\alpha = 0.05$ ).

La PRH mostró diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ). Los valores más altos se presentaron en T2 y T3, tratamientos con más cantidad de aserrín, y su valor tendió a disminuir a medida que aumentaba la cantidad de composta de corteza. Esta tendencia se debe en parte a la naturaleza hidrofóbica que la corteza desarrolla después de ser composteada (Paradelo, Moldes, Dominguez, & Barral, 2009). Por ello, encontrar una relación adecuada entre aserrín y corteza es sustancial porque el aserrín y la turba pueden retener exceso de humedad y generar ambientes anóxicos. Finalmente, utilizar materiales composteados también es importante porque este proceso degrada sustancias fitotóxicas como taninos y fenoles, además, reduce excesos de nitrógeno y mejora la CIC (Carlile, Cattivello, & Zaccheo, 2015; Handreck & Black, 2010).

La DA presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.0001$ ). El valor menor se presentó en el testigo, T6, con un valor de  $0.17 \text{ g cm}^{-3}$ . Se observó una tendencia de aumento para esta variable con respecto a la adición de composta de corteza. Al respecto, Landis (1990) plantea que la densidad aparente de un medio de crecimiento puede variar considerablemente dependiendo de su composición química y estructura física. Los valores encontrados son similares a los reportados por Hernández *et al.* (2014). En general, las mezclas que tienen una baja DA no presentan condiciones desventajosas; por el contrario, su menor peso se considera una ventaja durante la preparación de la mezcla del sustrato y su transporte (Bunt, 1988).

El valor de la CIC para todos los tratamientos estuvo en el intervalo de  $80.7 \text{ meq L}^{-1}$  y  $206.4 \text{ meq L}^{-1}$ , con el mayor valor para el testigo, T6 (Cuadro 5). Los tratamientos con mayor cantidad de composta de corteza mostraron menores valores de CIC. Cuando a las plantas producidas en contenedores se les aplica ferti-irrigación o fertilizantes de liberación controlada, se pueden utilizar medios de cultivos con CIC de  $50$  a  $200 \text{ meq L}^{-1}$  (Handreck & Black, 2010). Por tal motivo, las mezclas utilizadas aportaron valores deseables para su uso, con el fin de

mantener un alto nivel de fertilidad del sustrato porque se mitiga la lixiviación de nutrientes (Landis, 1989).

El pH de las mezclas se mantuvo en el intervalo entre 6.10 en el T2 y 5.16 en el testigo, T6, debido a la naturaleza ácida del *peat moss* (Landis, 1990). En la producción de coníferas se recomienda operar con un pH en el medio de cultivo de 5.5, que es donde se puede encontrar la mayor disponibilidad de nutrientes en medios orgánicos; aunque se puede tener pH ligeramente más ácido y un poco más básico, hasta de 6.5 (Landis, 1989, 1990). Por lo cual, las mezclas estudiadas aportaron un pH adecuado para el desarrollo de las plantas.

La CE tuvo valores entre 0.114 y 0.312  $\text{dSm}^{-1}$ , con el mayor valor para el tratamiento testigo, T6. Wright (1986) sugiere tener una CE entre 0.6-2.0  $\text{dSm}^{-1}$  y Chong y Rinker (1994) trabajar con un valor alrededor de 1.0  $\text{dSm}^{-1}$  para tener un crecimiento vigoroso en plantas producidas en contenedores. Debido a que la composta de corteza contribuye con pocas sales solubles al medio de crecimiento, se recomienda mejorar la CE aplicando sustratos como compostas de residuos de la industria de producción de hongos (Chong & Rinker, 1994). Adicionalmente, con los debidos estudios de factibilidad, el uso de aserrín de aserraderos costeros puede contener altos contenidos de sales y podría ser una buena alternativa (Landis, Jacobs, Wilkinson, & Luna, 2014).

El análisis nutrimental de los sustratos se puede apreciar en el Cuadro 6. Se encontró que el contenido de N en la composta de corteza y aserrín es mucho menor que en turbas de musgo (1-3%), aunque se pueden hallar valores menores en la literatura como en el caso de Borges (2018) con 0.023% N, se hace importante la aplicación de N para evitar competencia entre microorganismos y la planta (Bures, 1997). Los valores de P y K son adecuados, comparados con la turba de musgo, y se encuentran entre lo reportado por autores como Najjari y Ghasemi (2018). De igual manera, la cantidad de P orgánico que se mineraliza y se pone a disposición, durante el periodo típico de crecimiento de una planta

producida en contenedor, es pequeña y se suple con la aplicación de fertilizantes (Bunt, 1988). Con respecto al K, existe evidencia que las plantas pueden sustituir este elemento por el sodio, además se podría aumentar su cantidad con la adición de vermiculita dentro de las mezclas (Bunt, 1988). En general, para la producción en contenedores, se requieren sustratos esencialmente infértiles y el suplemento de nutrimentos se gobierna mediante la ferti-irrigación (Landis, 1990).

**Cuadro 6. Composición nutrimental de compostas.**

Compostas	N (%)	P (%)	K (%)
Cortezas	0.094	0.020	0.025
Aserrín	0.046	0.056	0.012
Turbas	1-3 <sup>†</sup>	0.01-0.05 <sup>†</sup>	0.04 <sup>†</sup>

<sup>†</sup> Bunt (1988)

#### 4.3.2 Efecto de las mezclas de sustratos en variables morfológicas e índices de calidad

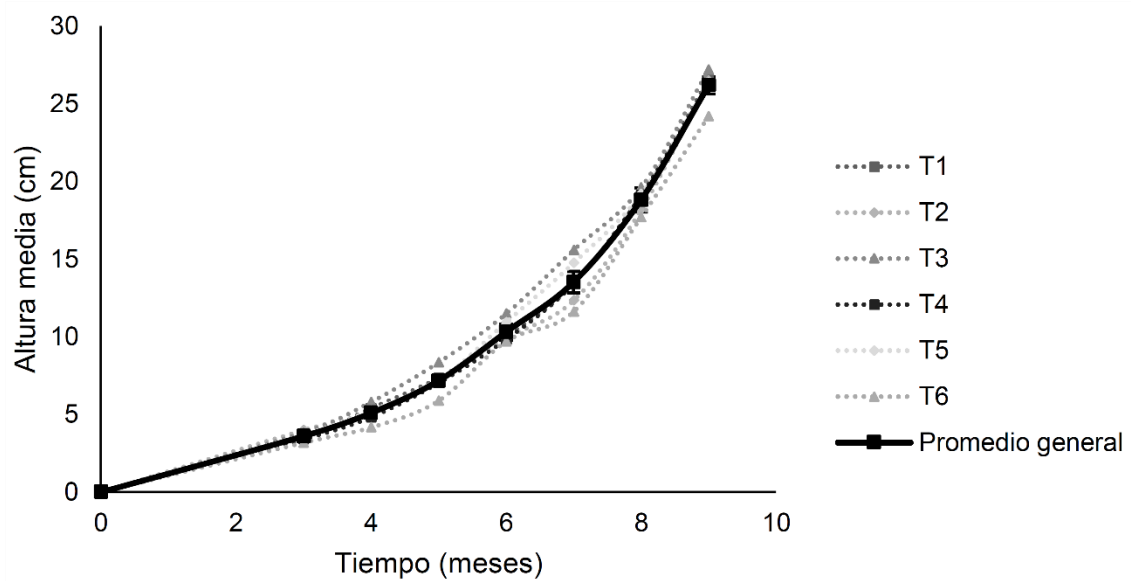
Los resultados de esta sección se muestran en el Cuadro 7. La altura y el diámetro presentaron diferencias significativas con  $p < 0.0001$  y  $p = 0.0037$ , respectivamente. En la altura fueron los tratamientos T1, T3 y T5, los que difieren de los tratamiento T2 y el testigo, T6, que tienen menor talla. Destaca que el tratamiento T3 supera en diámetro a los tratamientos T6 y T1. Estos dos parámetros son medidas aceptadas del potencial de rendimiento de las plantas; la altura se considera importante porque es una estimación general del poder fotosintético y de transpiración que puede reflejarse en un desarrollo óptimo de la arquitectura radical, mejorando el aprovechamiento de nutrientes, agua y el anclaje. Por otro lado, el diámetro es una característica muy relevante porque puede definir la robustez del tallo, aspecto que se asocia con el vigor y la supervivencia de la plantación (Mexal & Landis, 1990). La evolución de estas dos

variables dentro de la producción en vivero se puede observar en las Figuras 4 y 5.

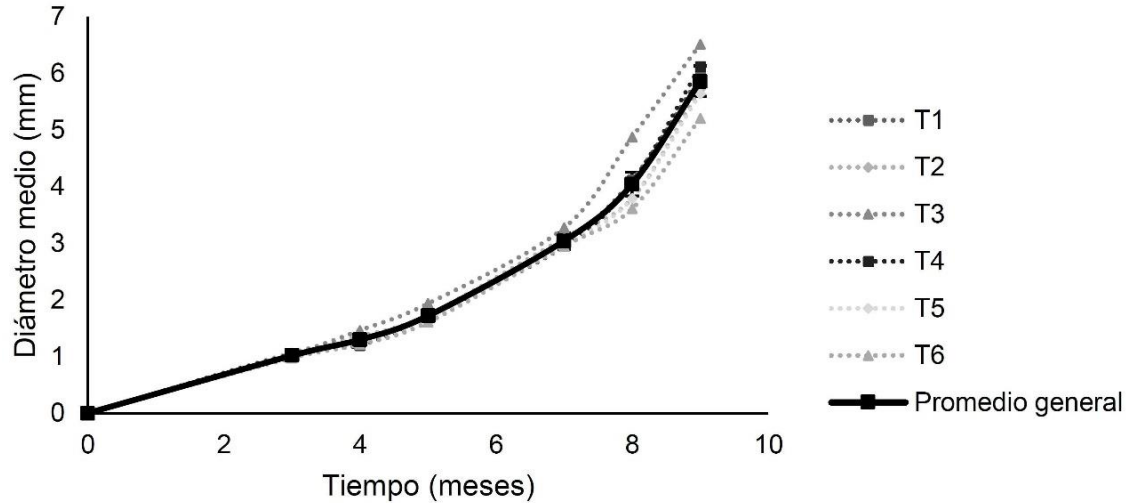
**Cuadro 7. Respuesta a las mezclas de sustratos en el crecimiento inicial de *P. leiophylla* en vivero.**

Tmto.	A (cm)	D (mm)	PST (g)	PSA (g)	PSS (g)	PSRS (g)	PSA/P SS	IE	ID	PSL (g)
T1	26.95a	7.44b	5.48a	3.85a	1.63a	1.01a	2.42ab	3.72a	0.92a	0.37b
T2	23.23b	7.58ab	5.47a	3.80a	1.67a	1.12a	2.33b	3.17a	1.03a	0.40ab
T3	29.60a	8.87a	6.53a	4.65a	1.88a	1.17a	2.52ab	3.35a	1.12a	0.51a
T4	26.34ab	8.62ab	5.96a	4.22a	1.74a	1.07a	2.49ab	3.11a	1.10a	0.48ab
T5	27.55a	8.13ab	6.04a	4.37a	1.66a	1.07a	2.62ab	3.49a	1.01a	0.42ab
T6	23.34b	7.27b	5.86a	4.31a	1.55a	0.93a	2.94a	3.37a	1.01a	0.41ab
p-valor	<0.0001	0.004	0.247	0.154	0.427	0.362	0.024	0.133	0.528	0.036

n=16 para todas la variables. Letras en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos según la prueba HSD ( $\alpha=0.05$ ).



**Figura 4. Crecimiento de *P. leiophylla* en altura durante la etapa de vivero.**



**Figura 5. Crecimiento de *P. leiophylla* en diámetro durante la etapa de vivero.**

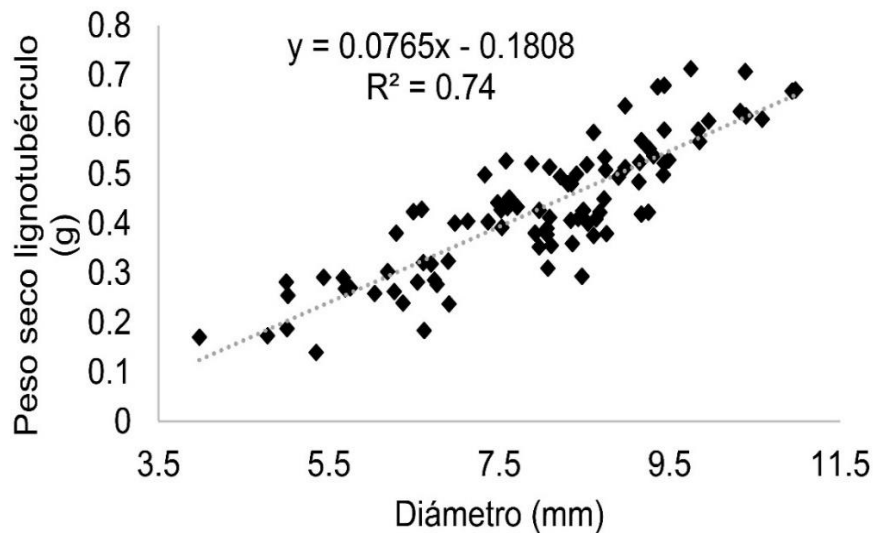
PSA, PSS, PRSS y PST no presentaron diferencias significativas. Los valores obtenidos en estas variables son similares a los reportados por Castelán *et al.* (2015), en distintas familias de esta especie, con un sustrato de mezcla de turba, perlita y vermiculita (2:1:1). En general, plantas con una buena masa radical tienden a sobrevivir mucho mejor que las que tienen poca raíz; incluso, plantas con diámetros <3 mm pueden tener una supervivencia de >70% con una alta masa radical (Mexal & Landis, 1990).

En los índices morfológicos de calidad sólo se presentaron diferencias significativas en la relación PSA/PSS ( $p=0.0236$ ), con un valor en T2 (2.33) menor que en T6 (2.94). Un valor bajo en PSA/PSS implica un mejor equilibrio entre la parte de absorción de agua y la que realiza la transpiración, lo cual es una condición particularmente favorable para las zonas secas (Thompson, 1985). El ID fue >0.5 en todos los tratamientos y, según lo propuesto por Muñoz-Flores *et al.* (2015), se trata de plantas de buena calidad. Lo mismo aplica para el IE, dado que todos los valores estuvieron por debajo de 6.0.

El PSL presentó diferencias significativas entre el tratamiento T3 y el T1. El coeficiente de correlación de Pearson entre PSL y D fue significativo (0.825,



$p < 0.0001$ ). El análisis de varianza en el modelo de regresión lineal entre las variables arrojó una evidencia fuerte sobre su linealidad ( $p < 0.0001$ ) y un  $R^2 = 0.74$  (Figura 6). El uso de este modelo permitirá realizar predicciones del PSL con base en el diámetro. Se usará al lignotubérculo como un importante parámetro de calidad porque este órgano actúa como reservorio de yemas durmientes, nutrientes y carbohidratos que pueden desempeñar un papel crítico en el proceso de recuperación después de una perturbación como incendios de baja a mediana intensidad (Scott, Bowman, Bond, Pyne, & Alexander, 2014). Hasta donde se sabe, no se había reportado la presencia de este órgano en *P. leiophylla*, ni se había utilizado con tal propósito (Figura 7).



**Figura 6. Modelo regresión lineal entre PSL y D.**

El tratamiento T3 puede ser la mejor opción para *P. leiophylla* puesto que fue el tratamiento en común que presentó mejores valores para diversos indicadores morfológicos, con respecto al testigo. Esta tendencia puede ser explicada porque el tratamiento tuvo uno de los valores más altos de PT y PRH, con respecto al T6. Adicionalmente, se puede destacar que hay evidencia de que esta especie es sensible a la DA, dado que esta variable se encuentra entre 0.25 y 0.26 en T3 y T2, respectivamente, mientras que los demás valores presentaron diferencias significativas con medias por debajo y por encima de estos tratamientos.



**Figura 7. Comparación plantas sin (izquierda, *P. teocote*) y con lignotuberculo (derecha, *P. leiophylla*) de la misma edad y proceso de producción.**

#### **4.3.2 Efecto de las mezclas de sustratos en variables fisiológicas**

Se encontraron diferencias significativas ( $p=0.0767$ ) en el contenido de nitrógeno con el T1 superior a las muestras de bosque (Cuadro 8). Los contenidos de nitrógeno están por debajo de lo que reporta Landis (1989) para plantas producidas en contenedor; sin embargo, estos valores son sólo un referente debido a que ninguno de los tratamientos presentaron problemas visibles por falta de nitrógeno. Además, los contenidos son similares o mayores a los que se encontró en las plantas de regeneración natural, por lo que al incluir más cantidades de nitrógeno a la ferti-irrigación se podría incurrir en un exceso. El P no presentó diferencias significativas ( $p=0.2854$ ) y aunque algunos tratamientos estuvieron por debajo de lo recomendado, las plantas no presentaron síntomas de déficit de este elemento. En la concentración de K, todos los tratamientos evaluados presentaron concentraciones mayores a la de las plantas muestreadas en el bosque ( $p<0.0001$ ), y dentro del rango adecuado reportado por Landis (1989).

**Cuadro 8. Concentración nutrimental foliar de plantas en *P. leiophylla*.**

Tratamiento	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Na (%)
T1	1.26a	0.22a	0.74a	0.13b	0.13b	190.0b	0.051ab
T2	1.21ab	0.25a	0.77a	0.14b	0.12bc	137.8b	0.063a
T3	1.19ab	0.16a	0.72a	0.15ab	0.10c	153.9b	0.029cd
T4	1.12ab	0.19a	0.75a	0.16ab	0.10c	144.3b	0.034bc
T5	1.17ab	0.23a	0.75a	0.16ab	0.10c	104.4b	0.033c
T6	1.24ab	0.18a	0.72a	0.13b	0.11bc	174.8b	0.028cd
Muestras de bosque	1.04b	0.26a	0.55b	0.19a	0.20a	439.1a	0.013d
Valores recomendados <sup>†</sup>	1.40-2.20	0.20-0.40	0.40-1.50	0.20-0.40	0.10-0.30	60-200	-
<i>p</i> -valor	0.0767	0.2854	<0.0001	0.0154	<0.0001	<0.0001	<0.0001

<sup>†</sup> Valores estándares para nutrientes de área foliar para plantas producidas en contenedor (Landis, 1989).

El Ca reflejó una concentración menor a los valores recomendados, pero su concentración fue igual que la de los individuos de regeneración natural en los tratamientos T3, T4 y T5. En el caso del Mg, las concentraciones obtenidas están por debajo de lo que se encontró en las muestras de campo; no obstante, todos los tratamientos se encuentran dentro del rango adecuado. Para el caso del Fe, todos los tratamientos presentaron valores apropiados por debajo de 200 ppm. Los individuos de regeneración natural muestreados presentaron un valor mucho más alto. Lo anterior puede verse como resultado de la naturaleza arcillosa del suelo en Chignahuapan ya que, en suelos saturados de agua, el hierro soluble puede aumentar en varios órdenes de magnitud debido al bajo potencial redox y ser absorbido en cantidades excesivas por las plantas (Rout & Sahoo, 2015; Schmidt, 1993).

### 4.3.3 Supervivencia en campo e incrementos

La supervivencia en campo no presentó diferencias significativas a través de los tratamientos ( $p=0.6846$ ) (Cuadro 9). Como supervivencia general se obtuvo un valor de 58.6%, siendo este valor un reflejo de las condiciones poco benignas del sitio (suelos muy arcillosos poco permeables en época de lluvia e intensa temporada de sequía); tratándose de una plantación con fines de restauración en un ambiente difícil. Palacios-Romero *et al.* (2017) evaluaron la adición de espuma fenólica obteniendo un porcentaje de supervivencia en un tratamiento sin adicionar espuma de 47% a seis meses, mientras que al adicionarla lograron porcentajes mayores al 70%. Dado que una de las principales razones por las que se obtienen porcentajes tan bajos de supervivencia en los programas de reforestación son las sequías prolongadas, la adición de polímeros hidratados resulta ser una buena alternativa.

**Cuadro 9. Resultados de supervivencia e incrementos en diámetro en *P. leiophylla*.**

Tratamiento	Supervivencia (%)	Diámetro (mm)	Incremento diámetro(%)
T1	54.50a	13.51a	81.59
T2	56.67a	13.06a	72.30
T3	58.50a	12.99a	46.45
T4	67.00a	12.21a	41.65
T5	71.17a	13.03a	60.27
T6	52.33a	12.09a	66.30
p-valor	0.6846	0.2557	-

La altura final no presentó diferencias significativas entre tratamientos ni incrementos a siete meses después de la plantación. De igual manera, el diámetro final no mostró diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, esta variable tuvo un importante incremento, principalmente en los tratamientos T1 (81.59%) y T2 (72.30%). El diámetro, que tuvo una fuerte relación con el PSL, aumentó durante el invierno debido a que durante esta temporada existe mayor acumulación de reservas como glucosa, fructosa, sacarosa,

galactosa/arabinosa en la albura (Fischer & Höll, 2004) y almidones (Gholz & Cropper Jr., 1991). Finalmente, se observó que las diferencias obtenidas en vivero en la variable diámetro en campo no prevalecieron. El uso de contenedores pequeños puede restringir el crecimiento de las raíces, por lo que se reduce la disponibilidad de nutrientes y agua, lo que puede disminuir el crecimiento general de la planta (Domínguez *et al.*, 2006). Cuando las plantas son llevadas a campo, esta restricción desaparece y con el tiempo la biomasa de las plantas tiende a igualarse; en especial si proceden del mismo lote de semillas. Tal efecto fue evidenciado por Rodríguez y Duryea (2003) en *P. palustris* Mill. procedentes de contenedores y raíz desnuda a un año de ser plantados.

#### **4.4 Conclusiones**

Los tratamientos propuestos en esta investigación muestran ser buenos candidatos como sustitutos a la turba de musgo al contar con propiedades fisicoquímicas idóneas. El tratamiento T3 mostró mejores resultados en los variables altura, diámetro y peso seco de lignotubérculo con respecto al tratamiento testigo; sin embargo, para la altura y el diámetro, estas diferencias dejan de ser notorias cuando son llevadas a campo después de siete meses de ser plantadas. La determinación del diámetro posibilita la estimación del peso seco del lignotubérculo, variable de importancia ecológica en la supervivencia y recuperación después de perturbaciones como incendios. Tratándose de un sitio de plantación con condiciones adversas para su establecimiento, las actividades culturales descritas en el presente estudio dieron como resultado plantas de calidad y una aceptable supervivencia en campo.

#### **4.5 Reconocimientos**

Al CONACYT por la beca proporcionada al primer autor para realizar sus estudios de maestría. A la UACH por el apoyo económico para la realización del análisis nutrimental, proyecto no. 137902003 "*Las plantaciones en la restauración*". Al Sr.

Alejandro Mota Rivera por las semillas de *P. leiophylla* y las compostas. Al Sr. Gerardo Mendoza Ángeles y al Biól. Leopoldo Rosas García por el apoyo indispensable en la investigación. Al M.C. José Luis Navarro Sandoval y su equipo por su ayuda durante la producción y mantenimiento de la planta en vivero.

## 4.6 Referencias

- Borges, L. (2018). Physical and chemical characterization of organic materials for agricultural substrates. *Agrociencia*, 52, 639–652.
- Brichler, T., Rose, R. W., Royo, A., & Pardos, M. (1998). La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 7(1), 109–122. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=164957&info=resumen&idioma=SPA>
- Bunt, A. C. (1988). Physical aspects. In *Media and mixes for container-grown plants* (pp. 40–63). Dordrecht: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-7904-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-011-7904-1_3)
- Bures, S. (1997). *Sustratos*. Madrid, España: Agrotécnicas S. L.
- Carlile, W. R., Cattivello, C., & Zaccheo, P. (2015). Organic Growing Media: Constituents and Properties. *Vadose Zone Journal*, 14(6), 1–14. <https://doi.org/10.2136/vzj2014.09.0125>
- Castelán-Muñoz, N., Jiménez-Casas, M., López-Delgado, H. A., Campos-García, H., & Vargas-Hernández, J. J. (2015). Familial variation in *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. seedlings in response to drought: water and osmotic potential. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 21(3), 295–306. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.10.043>
- Chong, C., & Rinker, D. L. (1994). Use of spent mushroom substrate for growing containerized woody ornamentals: An overview. *Compost Science and Utilization*, 2(3), 45–53. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1994.10757933>
- Chrysargyris, A., Stamatakis, A., Moustakas, K., Prasad, M., & Tzortzakis, N. (2017). Evaluation of Municipal Solid Waste Compost and/or Fertigation as Peat Substituent for Pepper Seedlings Production. *Waste and Biomass Valorization*, 9(12), 2285–2294. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0124-6>
- Cortina, J., Vilagrosa, A., & Trubat, R. (2013). The role of nutrients for improving seedling quality in drylands. *New Forests*, 44(5), 719–732. <https://doi.org/10.1007/s11056-013-9379-3>
- Domínguez-Lerena, S., Herrero Sierra, N., Carrasco Manzano, I., Ocaña Bueno, L., Peñuelas Rubira, J. L., & Mexal, J. G. (2006). Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management*, 221(1–3), 63–71.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.031>

- Fernández, J. A., Egea-Gilabert, C., Ros, M., López-Serrano, M., Pascual, J. A., & Giménez, A. (2018). An agroindustrial compost as alternative to peat for production of baby leaf red lettuce in a floating system. *Scientia Horticulturae*, 246(December 2018), 907–915. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.080>
- Fischer, C., & Höll, W. (2004). Food reserves of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Trees*, 5(4), 187–195. <https://doi.org/10.1007/bf00227524>
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen* (5ta ed.). México: Instituto de Geografía-UNAM.
- Gholz, H. L., & Cropper Jr., W. P. (1991). Carbohydrate dynamics in mature *Pinus elliotii* var. *elliottii* trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(12). <https://doi.org/doi.org/10.1139/x91-240>
- Grossnickle, S. C., & Folk, R. S. (1993). Stock Quality Assessment: Forecasting Survival or Performance on a Reforestation Site. *Tree Planters' Notes*, 44(3), 113–121.
- Haitao, Z., Tianpeng, L., Yuhua, S., Ke, F., Zhijun, Y., & Qiande, Z. (2018). Cow Manure Disposal Using an Earthworm Bio-Bed and the Development of a Vermicompost-Based Substrate for Capsicum Seedlings. *Compost Science and Utilization*, 2397(May), 1–12. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2018.1434022>
- Handreck, K., & Black, N. (2010). *Growing media for ornamental plants and turf* (4th edition). Sydney, NSW, Australia: UNSW Press.
- Havis, J. R., & Hamilton, W. W. (1976). Physical properties of container media. *Journal of Arboriculture*, 2(7), 139–140.
- Hernández, L., Aldrete, A., Ordáz, V. M., López, J., & López, M. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia*, 48, 627–637.
- Huang, L., Niu, G., Feagley, S. E., & Gu, M. (2019). Evaluation of a hardwood biochar and two composts mixes as replacements for a peat-based commercial substrate. *Industrial Crops and Products*, 129, 549–560. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.044>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2019). Mapa climatología. Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/climatologia/>
- Jiménez-Casas, M., & Zwiazek, J. J. (2014). Adventitious sprouting of *Pinus leiophylla* in response to salt stress. *Annals of Forest Science*, 71(7), 811–819. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0379-z>
- Landis, T. D. (1989). Mineral Nutrients and Fertilization. In T. D. Landis, R. W. Tinus, S. E. McDonald, & J. P. Barnett (Eds.), *The Container Tree Nursery manual Agriculture Handbook 674 (vol 4)* (pp. 1–67). Washington, D.C.: U.S: Department of Agriculture, Forest Service.
- Landis, T. D. (1990). Growing media. In T. D. Landis, R. W. Tinus, S. E. McDonald, & J. P. Barnett (Eds.), *The Container Tree Nursery manual Agriculture Handbook 674 (vol 2)* (pp. 41–85). Washington, United States of America: Department of Agriculture, Forest Service.
- Landis, T. D., Jacobs, D. F., Wilkinson, K. M., & Luna, T. (2014). Growing media. In K. M. Wilkinson, T. D. Landis, D. L. Haase, B. F. Daley, & R. K.

- Dumroese (Eds.), *Tropical nursery manual: a guide to starting and operating a nursery for native and traditional plants. Agriculture Handbook 732* (pp. 100–121). Washington, United States of America: Department of Agriculture, Forest Service.
- Li, Q., Chen, J., Caldwell, R. D., & Deng, M. (2009). Cowpeat as a substitute for peat in container substrates for foliage plant propagation. *HortTechnology*, 19(2), 340–345. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.2.340>
- Mexal, J., & Landis, T. (1990). Target Seedling Concepts: Height and Diameter. In R. Rose, S. J. Campbell, & T. D. Landis (Eds.), *Target Seedling Symposium meeting of the western forest nursery associations* (pp. 17–35). Fort Collins, CO. USA: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. <https://doi.org/Gen. Tech. Rep. RM-200>.
- Miller, R., Gavlak, R., & Horneck, D. (2013). *Soil, Plant and Water Reference Methods for the Western Region* (4th edition, Vol. 1). Fort Collins.: WREP-125.
- 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. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.282>
- Najjari, F., & Ghasemi, S. (2018). Changes in chemical properties of sawdust and blood powder mixture during vermicomposting and the effects on the growth and chemical composition of cucumber. *Scientia Horticulturae*, 232(December 2017), 250–255. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.018>
- Palacios-Romero, A., Rodríguez-Laguna, R., Razo-Zárte, R., Meza-Rangel, J., Prieto-García, F., & Hernández-Flores, M. de la L. (2017). Espuma fenólica de célula abierta hidratada como medio para mitigar estrés hídrico en plántulas de *Pinus leiophylla*. *Madera Bosques*, 23(2), 43–52. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.232512>
- Paradelo, R., Moldes, A. B., Dominguez, J. M., & Barral, M. T. (2009). Reduction of water repellence of hydrophobic plant substrates using biosurfactant produced from hydrolyzed grape marc. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(11), 4895–4899. <https://doi.org/10.1021/jf900353m>
- Ritchie, G., Landis, T., Dumroese, K., & Haase, D. (2010). Assessing plant quality. In T. Landis, K. Dumroese, & D. Haase (Eds.), *The Container Tree Nursery manual Agriculture Handbook 674 (vol 7)* (p. 200). Washington, D.C.: U.S: Department of Agriculture, Forest Service.
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2014). *Incendios de vegetación, su ecología, manejo e historia (vol 1)*. (B. básica de Agricultura, Ed.). México.
- Rodríguez, D. A., & Duryea, M. L. (2003). Seedling quality indicators in *Pinus palustris* Mill. *Agrociencia*, 37(3), 299–307. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00557-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00557-1)
- Rose, R., Carlson, W., & Morgan, P. (1990). The Target Seedling Concept. In R. Rose, S. Campbell, & T. D. Landis (Eds.), *Proceedings combined meeting of the Western forest nursery associations* (pp. 1–8). Rocky Mtn Forest and Range Expt Sta, Fort Collins, CO: USDA for Serv.



- Rout, G. R., & Sahoo, S. (2015). Role of Iron in Plant Growth and Metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3(0), 1–24. <https://doi.org/10.7831/ras.3.1>
- SAS Institute Inc. (2013). The SAS System, Version 9.4. Cary, North Carolina, USA. Retrieved from <http://www.sas.com/>
- Schmidt, W. (1993). Iron stress-induced redox reactions in bean roots. *Physiologia Plantarum*, 89(3), 448–452. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1993.tb05197.x>
- Scott, A. C., Bowman, D. M., Bond, W. J., Pyne, S. J., & Alexander, M. E. (2014). *Fire on earth: an introduction*. John Wiley & Sons Ltd.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis., Diario oficial de la Federación Martes 31 de diciembre de 2002 § (2000).
- Thompson, B. E. (1985). Seedling morphological evaluation. What can you tell by looking. In M. L. Duryea (Ed.), *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests* (pp. 59–71). Corvallis, United States of America: Oregon State University.
- Wright, R. D. (1986). The pour through nutrient extraction procedure. *HortScience*, 21, 227–229.

## **CAPITULO 5. *Pinus teocote* de calidad usando compostas de corteza y aserrín de pino**

*Pinus teocote* quality plant using bark pine compost and pine sawdust compost

**Resumen:** La utilización de planta de calidad que asegure supervivencia en programas de forestación y reforestación es necesaria en México. Uno de los factores que más afecta la calidad y costos de producción es el sustrato. El objetivo del presente estudio fue evaluar compostas de corteza y aserrín de pino en la producción de planta de *Pinus teocote* como una alternativa al uso de la turba de musgo. La calidad de planta resultó ser adecuada en todas las mezclas propuestas, a partir de parámetros morfológicos, fisiológicos e índices de calidad. Sin embargo, el tratamiento T3 (40% de composta de corteza y 60% de composta de aserrín) permitió un mejor desarrollo radical en las plantas, dando ventajas de aclimatación en el lugar de plantación. La supervivencia obtenida fue mayor al 47% en todos los tratamientos, sin diferencias significativas entre ellos, en un lugar con condiciones difíciles. Se recomienda el uso de estos sustratos, agregando un componente que mejore la conductividad eléctrica del medio de cultivo, además de implementar actividades que propicien un desarrollo abundante de raíces.

**Palabras clave:** índices de calidad, supervivencia en campo, sustitutos del peat moss

### **5.1 Introducción**

La disminución de la deforestación y otras formas de degradación de bosques requiere la implementación constante de programas de forestación y reforestación, especialmente la plantación de individuos producidos en viveros (Haase & Davis, 2017). Un factor primordial para esta producción es el sustrato, porque éste influye directamente en la morfología y fisiología del sistema radical y parte aérea, modificando el estado nutrimental y calidad de la planta (Hernández, Aldrete, Ordaz, López, & López, 2014). A nivel mundial, el sustrato más usado es la turba de musgo, por sus características agronómicas positivas (Pane, Spaccini, Piccolo, Scala, & Bonanomi, 2011). Sin embargo, este material, importado desde el norte y centro de Europa, ha empezado a encarecerse y sus características cada vez son más variables (Chrysargyris, Stamatakis, Moustakas, Prasad, & Tzortzakis, 2017).

Con este panorama, el uso de sustratos producidos a nivel local, con propiedades apropiadas para sostener un crecimiento adecuado de las plantas, es altamente deseable (Buendía, López, Cetina, & Diakite, 2017). Así pues, muchas investigaciones a nivel mundial han evaluado la factibilidad de utilizar materiales orgánicos derivados de desechos primarios o desechos transformados del sector agrícola y agroindustrial, así como desechos sólidos municipales, para el reemplazo parcial o completo de la turba comercial y solucionar un problema ambiental con la disposición y eliminación de dichos materiales (Barrett, Alexander, Robinson, & Bragg, 2016). Dos materiales, las compostas de aserrín y corteza de pino, aparecen como una alternativa de sustratos para la producción de plantas en contenedor (Aguilera, Aldrete, Martínez, & Ordáz, 2016; Sánchez, Aldrete, Cetina, & López, 2008).

Debido a que se percibe una mayor diversidad de bienes y servicios ambientales, socialmente sensibles con el uso de especies nativas en la reforestación y restauración de zonas degradadas (Hall, Ashton, Garen, & Jose, 2011), la producción de especies de pinos mexicanos debe ser imperativa en cualquier programa de producción implementado en el territorio. Además, se debe reconocer la importancia de promover el cuidado de la diversidad del género *Pinus* en México, considerado como un centro secundario de diversificación, con 49 de las aproximadamente 120 especies en el mundo, de las cuales, 22 son endémicas (Gernandt & Pérez-De La Rosa, 2014). De ahí, *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl. & Cham aparece como una especie que, dentro de las gimnospermas, es una de las más ampliamente distribuidas en el territorio mexicano, encontrándose en 23 estados (Contreras & Luna, 2007). Además de su amplia distribución y uso potencial en la extracción de madera y resinas, se ha convertido en un objetivo de la industria farmacéutica por su importante actividad antioxidante, debido a sus altas concentraciones de taninos en acículas (Sáenz, Rosales, Rocha, Gallegos, & González, 2010). Sin embargo, esta especie ha sido poco estudiada y no se cuenta con información sobre parámetros de calidad de planta y el uso de materiales alternativos para su producción. El principal objetivo

de esta investigación fue estudiar la calidad de planta de *Pinus teocote* usando mezclas de sustratos con compostas de corteza y aserrín de pino en condiciones de vivero.

## 5.2 Materiales y métodos

### 5.2.1 Mezclas de sustratos

Las mezclas de sustratos utilizadas en este estudio que se muestran en el Cuadro 10, fueron compuestas por diferentes combinaciones de composta de aserrín y composta de corteza de *Pinus* sp, obtenidas de un aserradero ubicado en el municipio de Chignahuapan, Puebla, en 19°42'30.3"N 98°03'56.3"O; turba de musgo, marca Pro-Mix Flex®; perlita expandida y vermiculita exfoliada marca Agrolita®. También se añadió fertilizante de liberación lenta Multicote® (8) 18-6-12+2MgO+ME a una dosis de 4 kg m<sup>-3</sup>.

**Cuadro 10. Mezclas de sustratos utilizados**

Tratamiento	Materiales (% V/V)				
	Composta corteza	Composta aserrín	Turba de musgo	Perlita	Vermiculita
T1	10	70		10	10
T2	20	80			
T3	40	60			
T4	60	40			
T5	80	20			
T6			60	20	20

Las siguientes determinaciones se realizaron por cuadruplicado para cada tratamiento según los descrito por Landis (1990): porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA), porosidad de retención de humedad (PRH) y densidad aparente (DA). Se evaluaron propiedades químicas de las mezclas como el pH, conductividad eléctrica (CE) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), siguiendo lo descrito en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2000).

Adicionalmente, a las compostas se les determinó la concentración de N, P y K siguiendo la metodología descrita en el apartado variables fisiológicas.

### 5.2.2 Etapa de vivero

Las semillas de *P. teocote* utilizadas en esta investigación fueron recolectadas en 2016, en los bosques de Santa María Zotoltepec, municipio Ixtacamaxtitlan, Puebla; en 19°39'34.0"N y 97°52'03.9"O a una altitud de 2200 msnm. La etapa de producción de planta se realizó en el vivero forestal de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), ubicado en 19°29'46"N y 18° 00'51"O, a 2250 msnm. El clima es de tipo Cw con lluvias en verano y precipitación media anual de 600 a 700 mm; la temperatura media anual es 15 °C, con extremas promedio de 24.2 °C y 6.0 °C (García, 2004; INEGI, 2019a).

La siembra se realizó el 29 de septiembre de 2017 en contenedores de polietileno, con cavidades de 210 cm<sup>3</sup>, ubicados en mesas portaccontenedores con perfiles de madera a 40 cm sobre el suelo. La germinación empezó el 10 de octubre y terminó el 22 del mismo mes. El desarrollo de la planta se manejó en varias fases: establecimiento (4 semanas), crecimiento 1 (5 semanas), endurecimiento 1 (7 semanas), crecimiento 2 (20 semanas) y endurecimiento 2 (4 semanas). El establecimiento se realizó bajo malla sombra al 30%. Las fases de crecimiento y endurecimiento se hicieron bajo luz solar directa.

Los riegos se realizaron diariamente en la fase de establecimiento, a 0.23 cm<sup>3</sup> cm<sup>-2</sup>, y en la fase de crecimiento a 0.46 cm<sup>3</sup> cm<sup>-2</sup>. Para la fase de finalización se regó tres veces por semana a 0.23 cm<sup>3</sup> cm<sup>-2</sup>. El agua de riego se ajustó a un pH de 5.5, utilizando una solución de ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) al 1%. La ferti-irrigación inició 23 días después que finalizara la germinación. Se realizó con fertilizante soluble Peters Professional® de establecimiento (9-45-15) (N, P, K), de crecimiento (20-20-20) y de endurecimiento (4-25-45). Se aplicó ferti-irrigación

tres veces por semana. Las concentraciones en la solución fertilizante para cada fase de cultivo fueron: establecimiento a 100 ppm de P (46 ppm N y 63 ppm K); crecimiento, 130 ppm de N (57 ppm P y 108 ppm K); y 180 ppm de K (25 ppm N y 68 ppm P) en la de endurecimiento.

### **5.2.3 Variables morfológicas e índices de calidad**

A las plantas de 10 meses de edad se les determinó: altura (ALT, cm), desde la base del tallo hasta la yema apical; diámetro (DIAM, mm), en la base del tallo; peso seco (g): total (PST), de la parte aérea (PSA), de la parte subterránea (PSS), de raíz principal (PSRP) y de raíces secundarias (PSRS). Adicionalmente se registraron de manera aleatoria las variables DIAM y ALT de forma mensual para dar seguimiento al crecimiento a lo largo de los últimos nueve meses de cultivo (de 10). Para determinar la calidad de planta, también se hizo uso de la relación peso seco de la parte aérea entre peso seco de la parte subterránea,  $PSA/PSS = PSA(g) / PSS(g)$ ; índice de esbeltez,  $IE = ALT (cm) / DIAM (mm)$ ; índice de Dickson (Dickson, Leaf, & Hosner, 1960),  $ID = PST (g) / ((ALT (cm)/DIAM (mm)) + (PSA (g)/PSS (g)))$ .

### **5.2.4 Variables fisiológicas**

Para determinar la concentración de N, P, K, Na, Ca, Mg y Fe en las acículas de las plantas producidas en cada tratamiento, se siguieron los métodos propuestos por Miller, Gavlak, & Horneck (2013). Para N el método fue el de digestión en horno de microondas con  $H_2SO_4/H_2O_2$  y analizador por inyección de flujo QuikChem 8500 de LACHAT Instruments®. Para P, K, Na, Ca, Mg y Fe, se realizó una digestión con  $HNO_3/H_2O_2$ . La cuantificación de estos elementos se hizo con espectrofotómetro UV Jenway® modelo 6715 para P; fotómetro de flama Cole-Parmer® modelo 02655 para K y Na; y espectrofotómetro de absorción atómica GBC modelo SavantAA  $\Sigma$  para Ca, Mg y Fe. Adicionalmente, como referencia, se determinaron las concentraciones de los nutrientes mencionados en una muestra

compuesta por las acículas de cuatro plantas de regeneración de *Pinus teocote*, con aproximadamente 20 cm de altura, en el área de recolección de semillas. Dichas plantas fueron recolectadas el mismo mes en el que se realizó la caracterización morfo-fisiológica del material vegetal.

### **5.2.5 Fase de campo**

Después de la cosecha para la caracterización, individuos de 10 meses de edad fueron plantados, guardando la identidad de cada tratamiento, en el predio experimental denominado “Las Cruces” de la UACH. Pasados siete meses de establecimiento, se evaluó la supervivencia e incrementos en altura y diámetro. El predio se localiza en la zona oriente del municipio de Texcoco, a 19°27'20.7"N 98°48'33.9"W y 2609 msnm; con temperatura media anual entre los 12 y 14°C y precipitación media anual menor a 800 mm, con valores máximos en julio en un rango de 120 y 130 mm y un mínimo en febrero de 5 mm (INEGI, 2019a). Según el mapa edafológico del INEGI, (2019b), el tipo de suelo es phaeozem en transición a ser vertisol, generalmente negro y pesado, con una alta proporción de arcilla expansiva que forma grietas profundas y anchas desde la superficie (IUSS Working Group WRB, 2015).

### **5.2.6 Diseño experimental y análisis estadístico**

El diseño experimental para la fase de vivero fue en bloques completos al azar (DBCA), con cuatro bloques, seis tratamientos y 24 plantas en cada tratamiento. Para el estudio de las variables morfológicas, la unidad experimental evaluada fue de cuatro plantas por tratamiento de cada bloque. Para el análisis de varianza (ANDEVA) de los datos se usó un modelo lineal mixto, con efectos aleatorios de bloques y efectos fijos para los tratamientos. Para ello se usó el procedimiento PROC GLIMMIX, del paquete estadístico SAS® (versión 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2013). Para las variables concentración foliar de los diferentes nutrientes, la unidad experimental evaluada fue una muestra compuesta por

cuatro plantas por tratamiento en cada bloque. Para el ANDEVA de estos datos se ajustó un modelo lineal con el procedimiento PROC GLM de SAS. Posterior a los análisis de varianza, se compararon las medias de los tratamientos con la prueba de rango estudentizado de Tukey (HSD).

## 5.3 Resultados y discusión

### 5.3.1 Propiedades fisicoquímicas de mezclas

Cómo se mencionó anteriormente, un análisis más detallado de los resultados obtenidos en las propiedades fisicoquímicas de las mezclas de sustratos se puede encontrar en Escobar, Rodríguez, Mohedano, & Villanueva (n.d.). En términos generales, los sustratos cuentan con propiedades idóneas para su uso en la producción de especies forestales en contenedores (Cuadro 11). Solo la conductividad eléctrica presenta un valor bajo; sin embargo, autores reportan tener problemas de salinidad con el uso de corteza de pinos (Guerrero, Gascó, & Hernández, 2002). Por tal motivo, es importante realizar un estudio sobre la factibilidad de uso de materiales locales y encontrar combinaciones que mejoren las propiedades fisicoquímicas de las mezclas, como el empleo de aserrín en este caso.

**Cuadro 11. Propiedades fisicoquímicas de mezclas de sustratos (Fuente: Escobar *et al.*, n.d., enviado).**

Tratamiento	PT (%)	PA (%)	PRH (%)	DA (g cm <sup>-3</sup> )	CIC (meq L <sup>-1</sup> )	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )
T1	87.3bc	10.1a	77.1bc	0.21c	151.2	6.02	0.114
T2	92.4a	7.5a	84.9a	0.25b	199.6	6.10	0.142
T3	90.0ab	8.1a	81.9ab	0.26b	121.0	5.96	0.124
T4	75.8d	7.9a	68.0de	0.29a	85.9	5.92	0.209
T5	72.6d	7.9a	64.8e	0.30a	80.7	5.91	0.207
T6	82.7c	10.7a	72.0cd	0.17d	206.4	5.16	0.312

Las diferentes letras en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).



### 5.3.2 Efecto de las mezclas de sustratos en variables morfológicas e índices de calidad

El análisis de las variables morfológicas e índices de calidad se muestran en el Cuadro 12. La ALT y el DIAM no presentaron diferencias significativas. Estos dos parámetros son considerados medidas del potencial de rendimiento de las plantas (Mexal & Landis, 1990). Según Haase (2007), la altura está correlacionada con el número de acículas, por lo cual, es una buena estimación de la capacidad fotosintética y del área de transpiración. En sitios con disponibilidad de nutrientes y agua, una planta alta puede competir eficientemente con la vegetación aledaña por la luz disponible, factor principal que limita el rendimiento de las plantas (Grossnickle, 2000). Sin embargo, en lugares especialmente secos, existe una relación impredecible entre esta variable y la supervivencia (Haase, 2007). Sáenz, Muñoz, Pérez, Rueda, & Hernández (2014), encontraron una altura de 27.9 cm en *P. pseudostrobus* Lindl. producido en charolas y nueve meses de edad. Por otro lado, Muñoz *et al.* (2015), reportan una altura de 28.5 cm para *P. ayacahuite* C. Ehrenb. de ocho meses producido en bolsas de polietileno. Los últimos autores reportan que es una altura adecuada para competir con la vegetación herbácea y arbustiva.

**Cuadro 12. Respuesta a las mezclas de sustratos en el crecimiento inicial de *P. teocote* en vivero.**

Tmto.	ALT (cm)	DIAM (mm)	PSA (g)	PSS (g)	PSRP (g)	PSRS (g)	PST (g)	PSA/PSS	IE	ID
T1	28.23a	5.60a	4.58a	1.47ab	0.29a	1.23ab	6.06ab	3.16a	5.08a	0.74a
T2	28.24a	5.49a	4.41a	1.56ab	0.26a	1.34ab	5.97ab	2.86a	5.27a	0.76a
T3	28.64a	6.17a	5.05a	1.74a	0.25a	1.46a	6.79a	2.95a	4.68a	0.90a
T4	28.72a	5.90a	4.59a	1.45ab	0.25a	1.20ab	6.04ab	3.27a	4.92a	0.75a
T5	27.72a	5.76a	4.43a	1.53ab	0.23a	1.29ab	5.96ab	2.88a	4.88a	0.77a
T6	27.89a	5.69a	3.99a	1.36b	0.22a	1.10b	5.35b	3.10a	5.03a	0.69a
<i>p</i>	0.834	0.206	0.190	0.068	0.101	0.052	0.122	0.320	0.291	0.119

Las diferentes letras en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

El diámetro es una característica muy relevante porque puede definir la robustez del tallo que se asocia con el vigor, tamaño del sistema radical y protección contra la sequía y el daño por calor (Mexal & Landis, 1990). En *P. halepensis* Mill.

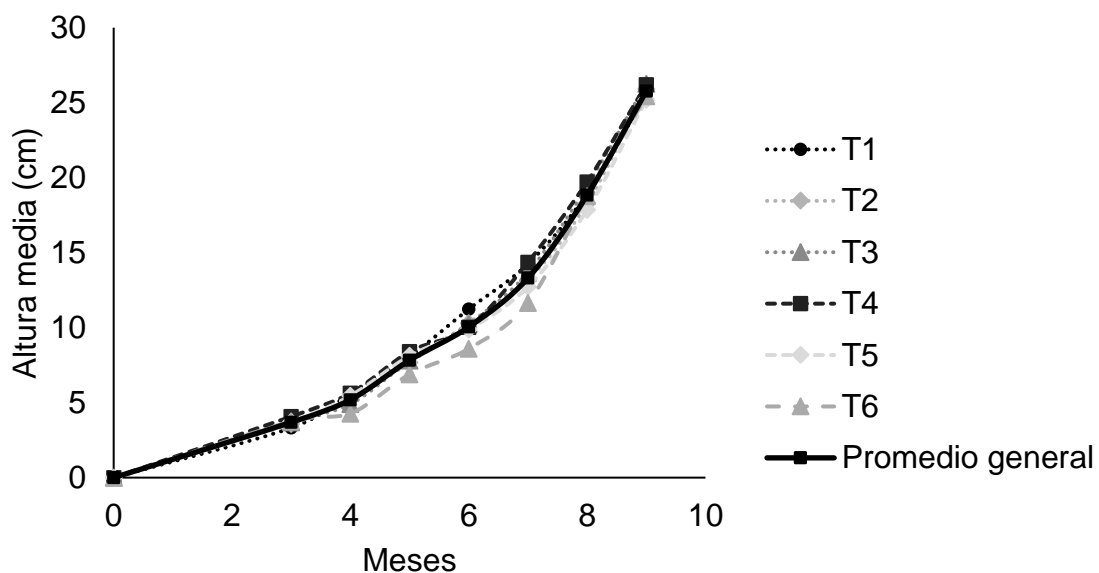
producidos en contenedores, Oliet *et al.* (2009) probaron que plantas con mayor diámetro tienen mejor desempeño en condiciones áridas. Ávila *et al.* (2017) encontraron diámetros entre 5.9 y 6.5 mm para *P. pseudostrobus* de 10 meses de edad bajo distintos regímenes de endurecimiento. Según lo propuesto por Muñoz-Flores *et al.* (2015), una planta de calidad debe superar los 4 mm de diámetro, supuesto que se superó en todos los tratamientos probados.

El PSA y el PSRP no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, con una media general de 4.5 g y 0.25 g, respectivamente. PSS y PSRS presentaron diferencias significativas, siendo T3 diferente al testigo (T6). Plantas con una buena masa radical tienden a sobrevivir mucho mejor que las que tienen poca; incluso, plantas con diámetros menores a 3 mm pueden llegar a tener una supervivencia mayor al 70% siempre que tengan una estructura radical de calidad (Mexal & Landis, 1990). En plantas de *P. pringlei* Shaw de 13 meses, producidas en contenedores de 130 cm<sup>3</sup> e inoculadas con diferentes hongos ectomicorrízicos, López *et al.* (2018) encontraron valores entre 4.03-4.49 g de PSA y 2.90-3.63 g de PSS; en el caso donde no se aplicó ningún hongo el PSS fue de 0.82 g. Por otro lado, es conocido que el fósforo propicia el establecimiento y el crecimiento de la raíz (Landis, Tinus, McDonald, & Barnett, 1989), para lo cual, mejorar la cantidad de raíces en *P. teocote*, es posible a través de programas de ferti-irrigación con una meta superior a lo establecido en esta investigación (100 ppm P), además de la aplicación de hongos micorrízicos, después de haber estudiado las diferencias que se pueden encontrar con su aplicación en el desarrollo radical.

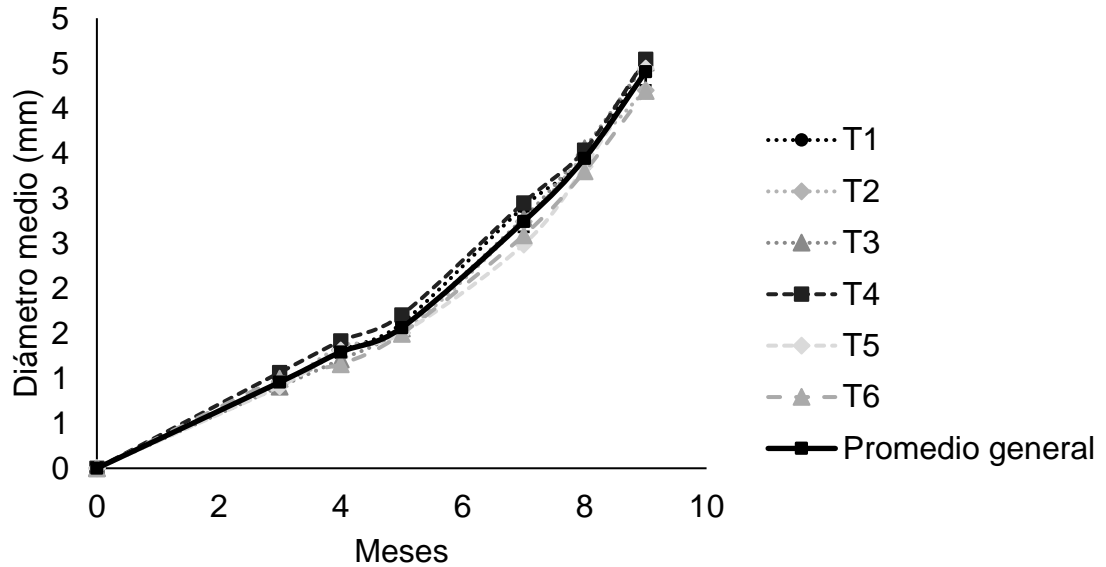
Los índices de calidad estudiados no presentaron diferencias entre tratamientos. Un valor bajo en PSA/PSS implica un mejor equilibrio entre la parte de absorción de agua y la que realiza transpiración, lo cual es una condición favorable para las zonas secas (Thompson, 1985). En términos generales, según la misma autora, una planta de calidad debe tener una relación PSA/PSS lo más baja posible para asegurar la mejor supervivencia. Oliet *et al.* (2009), probaron en *P. halepensis*

que, bajo condiciones áridas, una PSA/PSS de 2.5 es adecuada. Muñoz-Flores *et al.* (2015), reportan una baja calidad de planta si se cuenta con valores superiores a 2.5. En el presente estudio, esta relación presentó valores que superan dicha cantidad, por lo que se recalca la importancia de mejorar las actividades culturales que permitan alcanzar un mejor desarrollo radical.

El índice de Dickson fue mayor a 0.5 en todos los tratamientos para ambas especies y según lo propuesto por Muñoz-Flores *et al.* (2015), se trata de plantas de buena calidad. Situación similar se obtuvo para el índice de esbeltez, pues todos los valores fueron menores a 6.0. Todos los tratamientos evaluados son una buena opción como sustituto a la turba de musgo ya que no se encontraron muchas diferencias morfológicas con respecto al testigo. Sin embargo, sobresale el tratamiento T3 (40% composta de corteza + 60% composta de aserrín), sus plantas tuvieron un mejor desarrollo radical. Tal comportamiento puede ser explicado porque este tratamiento tuvo uno de los valores mayores en PT y PRH, con respecto al testigo. El crecimiento de las plantas, en sus variables ALT y DIAM, se puede seguir en las Figuras 8 y 9.



**Figura 8. Crecimiento de *P. teocote* en altura durante la etapa de vivero .**



**Figura 9. Crecimiento de *P. teocote* en diámetro durante la etapa de vivero.**

### 5.3.3 Efecto de las mezclas de sustratos en la concentración nutrimental

Los resultados de los análisis en la concentración nutrimental foliar se sintetizan en el Cuadro 13. Se encontraron diferencias significativas en N, siendo el tratamiento T4 el que más se aproxima a los valores sugeridos en la literatura (Landis, 1989). Sin embargo, la concentración foliar de N en todos los tratamientos resultó sin diferencias significativas cuando se le comparó con la que se puede encontrar en individuos provenientes de regeneración natural. Por lo anterior, producir plantas con valores superiores podría implicar dispendio en la aplicación de fertilizantes. En los intervalos de calidad propuestos por Rueda *et al.* (2012), una concentración por debajo de 1.0% representa una planta de baja calidad. De modo que las plantas producidas en esta investigación se pueden considerar de media a alta calidad.

**Cuadro 13. Concentración nutrimental foliar de *P. teocote* producido en diferentes tratamientos.**

Tratamiento	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Ca (%)	Na (%)
T1	1.3abc	0.2a	0.64ab	0.1b	103.6b	0.1a	0.02ab
T2	1.0c	0.2a	0.63b	0.1b	103.4b	0.1a	0.02ab
T3	1.0bc	0.2a	0.65ab	0.1b	93.9b	0.1a	0.02ab
T4	1.4a	0.2a	0.66ab	0.1b	126.8b	0.1a	0.02ab
T5	1.0bc	0.2a	0.67ab	0.1b	100.1b	0.1a	0.03a
T6	1.3ab	0.2a	0.73a	0.1b	99.1b	0.1a	0.03a
Muestras de campo	1.1abc	0.2a	0.62b	0.2a	378.8a	0.1a	0.01b
Valores recomendados†	1.4-2.2	0.2-0.4	0.4-1.5	0.1-0.3	60-200	0.2-0.4	-
p-valor	0.0009	0.2882	0.0142	<0.0001	<0.0001	0.1541	0.0203

† Valores estándares para nutrientes de área foliar para plantas producidas en contenedor (Landis, 1989). Las diferentes letras en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

La concentración foliar de P no presentó diferencias significativas. Los tratamientos no arrojaron diferencias, en esta variable, con respecto a la concentración encontrada en los individuos de regeneración. Rueda *et al.* (2012) proponen que una planta de alta calidad es la que tiene valores de P  $\geq 0.2\%$ ; valores que se obtuvieron con las actividades culturales descritas en esta investigación. Respecto a la concentración de K, todos los tratamientos evaluados presentaron valores similares a los individuos extraídos en campo, excepto el T6, que presentó el valor mayor (0.73%). Sin embargo, todos los tratamientos se encuentran dentro del intervalo indicado como óptimo por Landis (1989), y ninguno tiene baja calidad según Rueda *et al.* (2012), quienes proponen que la concentración no debe ser menor a 0.5%.

Para el caso del Mg, sus valores se encuentran dentro del intervalo deseado. Aun así, las concentraciones obtenidas están por debajo de los individuos de regeneración natural, por lo que se recomienda aumentar la cantidad de magnesio suplementado. Por otro lado, la concentración de Ca reflejó valores menores a los deseados según Landis (1989), pero estadísticamente no difieren con lo que se encontró en los individuos extraídos de regeneración natural. El Fe presentó valores adecuados en todos los tratamientos, por debajo de 200 ppm.

Los individuos extraídos de regeneración natural, tuvieron un valor mucho más alto y muy por encima de lo recomendado en la literatura; lo anterior puede verse como resultado de la naturaleza arcillosa del suelo en Chignahuapan, Puebla, y que, en suelos saturados de agua, el hierro soluble puede aumentar su magnitud debido al bajo potencial redox y ser absorbido en cantidades excesivas por las plantas (Rout & Sahoo, 2015; Schmidt, 1993).

Dada la variabilidad entre los diferentes autores que proponen referencias para comparar y estimar la calidad de planta de acuerdo con la concentración nutrimental en el área foliar, una alternativa es continuar con la comparación de las características nutrimentales de los individuos producidos en vivero con la de individuos de regeneración natural cerca del área a plantar; además hay que tener en cuenta que los valores pueden variar de acuerdo a la especie y lugar de procedencia (Alba, Mendizábal, Ramírez, & Méndez, 2002; Landis, 1989).

#### **5.3.4 Incrementos y supervivencia en campo**

La altura no reflejó incremento alguno durante los siete meses de establecimiento en campo, ni presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0.0627$ ). El diámetro tampoco mostró diferencias entre tratamientos ( $p=0.4645$ ), pero tuvo un incremento general de 28.58% (Cuadro 14). La supervivencia inicial no reflejó diferencias en campo después de los siete meses de establecimiento ( $p=0.4360$ ), con un valor promedio de 47.4%. La igualdad de medias puede explicarse debido a que la prueba de comparación de medias pierde potencia cuando la variabilidad es amplia; sin embargo, es válida cumpliendo el principio de homocedasticidad (prueba de Levene  $p=0.5296$ ), y la normalidad en los residuales en el modelo lineal ajustado (prueba de Shapiro  $p=0.1422$ ).

**Cuadro 14. Resultados de incrementos en diámetro y supervivencia en campo en *P. teocote*.**

Tratamiento	Diámetro (mm)	Incremento diámetro(%)	Supervivencia(%)
T1	7.83a	39.8	54.5a
T2	6.80a	23.9	41.8a
T3	7.55a	22.4	62.7a
T4	7.44a	26.1	33.5a
T5	7.54a	30.9	41.8a
T6	7.31a	28.5	50.3a

Las diferentes letras en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

La variabilidad y los resultados obtenidos en esta investigación reflejan las condiciones ambientales drásticas del lugar de plantación. Segura, Gutiérrez, Ortíz, & Gómez (2000) describen a los suelos arcillosos de la zona oriente del Estado de México, como suelos de baja productividad, explicada por un pobre drenaje, pH alcalino, presencia de sodio en los sitios de intercambio y poca materia orgánica. Lo anterior, aunado a las diferencias climáticas y edáficas entre el sitio de obtención de semilla y el de plantación, ayudan a explicar la supervivencia obtenida (47.4%). En lugares con condiciones similares al del sitio de plantación, otros autores como Sigala, González, & Jiménez (2015) encontraron una supervivencia en *P. pseudostrobus* de 52.9%. Estos llegaron a la conclusión que un mayor volumen en el contenedor permite un desarrollo radical más favorable por lo que se puede mejorar la conductancia hidráulica y por ende el aprovechamiento de humedad. Para *P. teocote* que será plantado en lugares de esta naturaleza, una alternativa entonces es la utilización de contenedores con más espacio a los aquí utilizados (>210 cm<sup>3</sup>).

## 5.4 Conclusiones

Las mezclas de sustratos propuestos en esta investigación dieron como resultado plantas con índices de calidad adecuados, buenas tallas en altura y diámetro, y apropiadas concentraciones nutrimentales en el área foliar. En particular se recomienda el T3 (40% composta de corteza + 60% composta de aserrín), debido

a que tuvo un mayor desarrollo radical con respecto al testigo. Sin embargo, se recomienda aplicar actividades culturales que mejoren las condiciones para que se procure un mejor desarrollo radical como podrían ser: el aumento de la cantidad de fósforo aplicado, la utilización de contenedores de mayor tamaño y hongos micorrízicos.

## 5.5 Agradecimientos

Se agradece al CONACYT por la beca proporcionada al primer autor para realizar sus estudios de maestría. A la UACH por el apoyo económico para la realización del análisis nutrimental, proyecto no. 137902003 “Las plantaciones en la restauración”. Al Sr. Alejandro Mota Rivera por las semillas de *P. teocote* y las compostas. Al Biól. Leopoldo Rosas García y al Sr. Gerardo Mendoza Ángeles, por el apoyo indispensable en la investigación. Al M.C. José Luis Navarro Sandoval y su equipo por la ayuda y asesoría prestada durante la producción y mantenimiento de la planta en vivero.

## 5.6 Referencias

- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordáz-Chaparro, V. M. (2016). Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia*, 50(1), 107–118.
- Alba, J., Mendizábal, L., Ramírez, E., & Méndez, M. de la P. (2002). Establecimiento de tres ensayos de procedencia/progiene de *Pinus teocote* Schl. et Cham. en el estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 4(2), 17–22.
- Ávila-Angulo, M. L., Aldrete, A., Vargas-Hernández, J. J., Gómez-Guerrero, A., González-Hernández, V. A., & Velázquez-Martínez, A. (2017). Hardening of *Pinus oaxacana* Mirov seedlings under irrigation management in nursery. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 23(2), 221–229. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.05.029>
- Barrett, G. E., Alexander, P. D., Robinson, J. S., & Bragg, N. C. (2016). Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems – A review. *Scientia Horticulturae*, 212, 220–234. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.030>
- Buendía-Velázquez, M. V., López-López, M. Á., Cetina-Alcalá, V. M., & Diakite,



- L. (2017). Substrates and nutrient addition rates affect morphology and physiology of *Pinus leiophylla* seedlings in the nursery stage. *IForest*, 10, 115–120. <https://doi.org/10.3832/ifor1982-009>
- Chrysargyris, A., Stamatakis, A., Moustakas, K., Prasad, M., & Tzortzakis, N. (2017). Evaluation of Municipal Solid Waste Compost and/or Fertigation as Peat Substituent for Pepper Seedlings Production. *Waste and Biomass Valorization*, 9(12), 2285–2294. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0124-6>
- Contreras-Medina, R., & Luna-Vega, I. (2007). Species richness, endemism and conservation of Mexican gymnosperms. *Biodiversity and Conservation*, 16(6), 1803–1821. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9072-3>
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle*, 36, 10–13.
- Escobar-Alonso, S., Rodríguez-Trejo, D. A., Mohedano-Caballero, L., & Villanueva-Morales, A. (n.d.). Compostas de corteza y aserrín de pino para la producción de *Pinus leiophylla* de calidad (Enviado a la Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente).
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen* (5ta ed.). México: Instituto de Geografía-UNAM.
- Gernandt, D. S., & Pérez-De La Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 126–133. <https://doi.org/10.7550/rmb.32195>
- Grossnickle, S. C. (2000). *Ecophysiology of northern spruce species: the performance of planted seedlings*. Ottawa: NRC Research Press. <https://doi.org/10.1139/9780660179599>
- Guerrero, F., Gascó, J. M., & Hernández-Apaolaza, L. (2002). Use of pine bark and sewage sludge compost as components of substrates for pine and *Cupressus arizonica* production. *Journal of Plant Nutrition*, 25(1), 129–141. <https://doi.org/10.1081/PLN-100108785>
- Haase, D., & Davis, A. (2017). Developing and supporting quality nursery facilities and staff are necessary to meet global forest and landscape restoration needs. *Reforesta*, 4, 69–93. <https://doi.org/10.21750/REFOR.4.06.45>
- Haase, D. L. (2007). Morphological and Physiological Evaluations of Seedling Quality. In L. E. Riley, R. K. Dumroese, & T. D. Landis (Eds.), *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2006. Proceedings RMRS-P-50* (pp. 3–8). Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Hall, J. S., Ashton, M. S., Garen, E. J., & Jose, S. (2011). The ecology and ecosystem services of native trees: Implications for reforestation and land restoration in Mesoamerica. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1553–1557. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.12.011>
- Hernández, L., Aldrete, A., Ordaz, V. M., López, J., & López, M. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia*, 48, 627–637.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2019a). Mapa climatología. Retrieved from

- <https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/climatologia/>  
Insitituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2019b). Mapa edafología.  
Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>
- IUSS Working Group WRB. (2015). World Reference Base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. Rome: FAO.
- Landis, T. D. (1989). Mineral Nutrients and Fertilization. In T. D. Landis, R. W. Tinus, S. E. McDonald, & J. P. Barnett (Eds.), *The Container Tree Nursery manual Agriculture Handbook 674 (vol 4)* (pp. 1–67). Washington, D.C.: U.S: Department of Agriculture, Forest Service.
- Landis, T. D. (1990). Growing media. In T. D. Landis, R. W. Tinus, S. E. McDonald, & J. P. Barnett (Eds.), *The Container Tree Nursery manual Agriculture Handbook 674 (vol 2)* (pp. 41–85). Washington, United States of America: Department of Agriculture, Forest Service.
- Landis, T. D., Tinus, R. ., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (1989). Seedling Nutrition and Irrigation. In T. D. Landis, R. . Tinus, S. E. McDonald, & J. P. Barnett (Eds.), *The Container Tree Nursery Manual Agriculture Handbook 674* (p. 119). Washington, DC: US: USDA, Forest Service.
- López-Gutiérrez, A., Pérez-Moreno, J., Hernández-Santiago, F., Uscanga-Mortera, E., García-Esteva, A., Cetina-Alcalá, V. M., ... Xoconostle-Cázares, B. (2018). Nutrient mobilization, growth and field survival of *Pinus pringlei* inoculated with three ectomycorrhizal mushrooms. *Botanical Sciences*, 96(2), 286–304. <https://doi.org/10.17129/botsci.1239>
- Mexal, J., & Landis, T. (1990). Target Seedling Concepts: Height and Diameter. In R. Rose, S. J. Campbell, & T. D. Landis (Eds.), *Target Seedling Symposium meeting of the western forest nursery associations* (pp. 17–35). Fort Collins, CO. USA: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. <https://doi.org/Gen. Tech. Rep. RM-200>.
- Miller, R., Gavlak, R., & Horneck, D. (2013). *Soil, Plant and Water Reference Methods for the Western Region* (4th edition, Vol. 1). Fort Collins: WREP-125.
- 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 foestal La Dieta, Municipio Zitácuro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 72–89. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.282>
- Oliet, J. A., Planelles, R., Artero, F., Valverde, R., Jacobs, D. F., & Segura, M. L. (2009). Field performance of *Pinus halepensis* planted in Mediterranean arid conditions: Relative influence of seedling morphology and mineral nutrition. *New Forests*, 37(3), 313–331. <https://doi.org/10.1007/s11056-008-9126-3>
- Pane, C., Spaccini, R., Piccolo, A., Scala, F., & Bonanomi, G. (2011). Compost amendments enhance peat suppressiveness to *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia minor*. *Biological Control*, 56(2), 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.10.002>
- Rout, G. R., & Sahoo, S. (2015). Role of Iron in Plant Growth and Metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3(0), 1–24.

<https://doi.org/10.7831/ras.3.1>

- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J. de D., Prieto-Ruiz, J. Á., Sáenz-Reyes, 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.
- Sáenz-Esqueda, M., Rosales-Castro, M., Rocha-Guzmán, N., Gallegos-Infante, J., & González-Laredo, R. (2010). Contenido fenólico y acción antioxidante de extractos de acículas de *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii* y *P. teocote*. *Madera Bosques*, 16(3), 37–48.
- Sáenz-Reyes, J. T., Muñoz-Flores, H. J., Pérez, C. M. Á., Rueda-Sánchez, A., & Hernández-Ramos, J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero “Morelia”, estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 5(26), 98–111.
- 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.
- SAS Institute Inc. (2013). The SAS System, Version 9.4. Cary, North Carolina, USA. Retrieved from <http://www.sas.com/>
- Schmidt, W. (1993). Iron stress-induced redox reactions in bean roots. *Physiologia Plantarum*, 89(3), 448–452. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1993.tb05197.x>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis., Diario oficial de la Federación Martes 31 de diciembre de 2002 § (2000).
- Segura, M. ., Gutiérrez, M. del C., Ortiz, C. A., & Gómez, D. J. (2000). Clay soils of the eastern zone of the State of Mexico. *Terra Latinoamericana*, 18(1), 35–44.
- Sigala-Rodríguez, J. Á., González-Tagle, M., & Jiménez-Pérez, J. (2015). Análisis de supervivencia para una reforestación con *Pinus pseudostrabus* Lindl. en el sur de Nuevo León. *Ciencia UANL*, 18(75), 61–66.
- Thompson, B. E. (1985). Seedling morphological evaluation. What can you tell by looking. In M. L. Duryea (Ed.), *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests* (pp. 59–71). Corvallis, United States of America: Oregon State University.