

**Evaluación de ocho sustratos para la producción
de plántulas de *Pinus oocarpa* en tubetes, Escuela
Agrícola Panamericana, Honduras**

Cintya Maziel Suazo Gonzales

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**
Noviembre, 2020

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Evaluación de ocho sustratos para la producción de plántulas de *Pinus oocarpa* en tubetes, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Cintya Maziel Suazo Gonzales

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2020

Evaluación de ocho sustratos para la producción de plántulas de *Pinus oocarpa* en tubetes, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras

Cintya Maziel Suazo Gonzales

Resumen. La necesidad de mejorar los sistemas de producción de plántulas para el establecimiento de plantaciones en Honduras surge debido a la degradación del recurso boscoso. En la producción de plántulas en vivero, el sustrato influye significativamente, por lo que este debe tener características óptimas para producir plántulas de buena calidad. El presente estudio evaluó el efecto del tipo de sustrato, el nivel de fertilización y la inoculación de micorriza en el desarrollo y calidad morfológica de plántulas de *Pinus oocarpa* en vivero. El estudio se realizó en la Unidad Forestal de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Para las mezclas de sustrato se utilizó turba, perlita, vermiculita, aserrín y estiércol. En el análisis de las variables morfológicas se realizó un Análisis de la Varianza (ANDEVA) con un nivel de significancia de 0.05. Después de cinco meses del establecimiento en vivero, los resultados indicaron que los sustratos con mayores proporciones de turba, perlita y vermiculita mostraron plántulas de mayor calidad en la variable altura. Adicionalmente, estos sustratos mostraron valores superiores en diámetro y peso seco de raíz. El aserrín mostró que puede ser un sustituto viable, ya que el sustrato que contenía 40% de aserrín presentó valores iguales a los sustratos con mejores desempeños en los parámetros de altura, diámetro y peso seco de raíz.

Palabras clave: Aserrín, calidad de plántulas, fertilización, micorriza, turba, vivero.

Abstract. Due to the pressure on the forest resource, the need to improve seedling production systems in Honduras has arisen. In the production of seedlings in nursery, the substrate influences significantly, so it must have optimal characteristics to obtain good quality of seedlings. The study assessed the effect of the substrate type, fertilization and mycorrhizal inoculation in the morphological development and quality of *Pinus oocarpa* seedlings in nursery. The study was carried out in the Forestry Unit of the Pan American Agricultural School, Zamorano. Peat, perlite, vermiculite, sawdust, and manure were used for substrate mixtures. To analyze the morphological variables, an analysis of variance (ANOVA) was done with the significance value of 0.05 was performed. After five months, the results indicate that substrates one and two based on peat, perlite and vermiculite showed seedlings of higher quality based on the height. In addition, both substrates showed higher values in root diameter and dry weight. Sawdust showed that it could be a viable substitute, since the substrate that contained 40% sawdust showed equal values with better performance in height, diameter, and root dry weight parameters.

Key words: Fertilization, mycorrhiza, nursery, peat, sawdust, seedling quality.

ÍNDICE GENERAL

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen.....	iii
Índice General	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODO.....	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
4. CONCLUSIONES	22
5. RECOMENDACIONES	23
6. LITERATURA CITADA	24
7. ANEXOS.....	28

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Composición de los niveles de sustratos para la producción de plántulas de <i>Pinus oocarpa</i>	5
2. Análisis químico del sustrato turba del vivero forestal	9
3. Análisis de Varianza del porcentaje de germinación en <i>Pinus oocarpa</i>	10
4. Análisis de Varianza del porcentaje de sobrevivencia a los 33 días después de siembra en <i>Pinus oocarpa</i>	12
5. Análisis de Varianza para la altura en <i>Pinus oocarpa</i>	14
6. Análisis de Varianza para el diámetro del tallo en plántulas de <i>Pinus oocarpa</i>	16
7. Análisis de Varianza para el peso seco de raíz en <i>Pinus oocarpa</i>	19

Figuras	Página
1. Etapas de la metodología	4
2. Ejemplo de la ubicación aleatoria de tratamientos (mismo color) en bandejas de 7 × 14 tubetes (círculos).....	6
3. Dimensiones de tubete utilizado en la producción de <i>Pinus oocarpa</i>	6
4. Muestreo de plántulas para peso de raíz	7
5. Porcentaje de germinación en plántulas de <i>Pinus oocarpa</i> por influencia de sustratos a los 18 días después de la siembra	11
6. Porcentaje de sobrevivencia y mortalidad en plántulas de <i>Pinus oocarpa</i> por influencia de sustratos a los 33 días después de la siembra.....	13
7. Comparación de medias de altura de plántulas de pino a los 150 días según los sustratos	15
8. Comparación de medias de diámetro según los sustratos medido a los 150 días después de la siembra.....	17
9. Comparación de medias de diámetro de cuello de la raíz según la dosis de fertilización .	18
10. Comparación de medias de peso seco de raíz según los sustratos	20
11. Plántulas de <i>Pinus oocarpa</i> a los cinco meses de crecimiento en vivero, S: sustrato	21

Anexos	Página
1. Resultado de análisis químico del sustrato turba.....	28
2. Resultado de análisis de calidad de agua de riego del vivero forestal.....	29
3. Certificado de calidad de semillas de <i>Pinus oocarpa</i>	30
4. Ensayo experimental establecido	31
5. Estructura del vivero forestal Zamorano en el que se estableció el ensayo	31
6. Bandeja y tubetes utilizados.....	32
7. Elaboración de los sustratos	32
8. Registro de variables morfológicas	33
9. Resultados del Coeficiente de correlación de Pearson	33

1. INTRODUCCIÓN

Honduras es un país que aún conserva buena parte de su territorio bajo cobertura forestal. Según los últimos datos el 47.86% del país está cubierto por bosques. Los bosques de coníferas representan el 36.6% del total de los bosques del país (Instituto de Conservación Forestal [ICF], 2018). Los bosques han sido degradados por malas prácticas de aprovechamiento forestal y el cambio de uso del suelo a ganadería y agricultura no sostenible (ICF, 2017). Para 2018, el área dedicada a agricultura y ganadería representaban el 30% de la superficie nacional. El aumento de las áreas empleadas para la producción agrícola o ganadera implican la conversión de bosque, representando en 2018 una pérdida acumulada representó el 18% de los bosques (ICF, 2018).

La persistencia de plagas en los bosques ha ocasionado degradación forestal. Se considera que la variabilidad climática es una razón de la expansión de los brotes epidémicos de *Dendroctonus frontalis*, así como la falta de manejo de algunas áreas afectadas (Rivera, Locatelli y Billings, 2010). En el 2014 se presentó un incremento en la cantidad de brotes de *Dendroctonus frontalis* en los bosques de coníferas en Honduras. El Instituto de Conservación Forestal solamente logró controlar 900 hectáreas de más de 15,000 hectáreas afectadas, por falta de logística y presupuesto. En los siguientes años (2015 y 2016), el brote continuó, afectando más de 500,000 hectáreas, lo que representó el 22.78% de bosque de coníferas (ICF, 2017). Como medida ante esta situación, una opción es realizar planes de reforestación en áreas donde los bosques no se pueden regenerar naturalmente.

El establecimiento de plantaciones forestales es indispensable para recuperar la cobertura boscosa y el suministro de productos forestales. La industria forestal representa un sector estratégico para el desarrollo económico y sostenible. Uno de los factores de éxito del establecimiento de plantaciones en campo es la producción de plántulas de calidad en vivero (Bustos et al., 2008; Rueda et al., 2012). Es por esto la necesidad de mejorar los sistemas de producción de plántulas en vivero en Honduras. Para la producción de plántulas en vivero hay que considerar varios componentes que pueden influir en la calidad de la planta y posteriormente el desarrollo en campo. La composición genética de la semilla, sustrato, tipo de contenedor, fertilización, prácticas de manejo y condiciones ambientales pueden afectar significativamente en el desarrollo de las plántulas (González et al., 2018).

Vence (2008) especifica que, “un sustrato es todo material poroso, usado solo o en combinación con otros, que colocado en un contenedor brinda anclaje y suficientes niveles de agua y oxígeno para un óptimo desarrollo de las plantas” p. 106. El sustrato es uno de los factores más influyentes en el desarrollo morfológico y fisiológico de las plantas en vivero, adicionalmente en un sustrato adecuado se espera que los procesos germinativos ocurran adecuadamente (Aparicio, Cruz y Alba, 1999). Para un desarrollo óptimo de plántulas en contenedores, el sustrato debe tener 85% de porosidad promoviendo buen drenaje y aireación (Park et al., 2011).

El componente principal en las mezclas de sustratos para la producción de plántulas en viveros es la turba, debido a sus características físicas y químicas (Hernández, Aldrete, Ordaz, López, J., y López, M., 2014). La turba se obtiene de materia orgánica vegetal y parcialmente descompuesta, originada de pantanos en los que se encuentra en ecosistemas anaerobios y con exceso de agua

(Núñez, 2009). La combinación de turba, perlita y vermiculita en contenedores (tubetes) es considerada como mezcla estándar en muchos viveros forestales (Núñez, 2009). Hernández et al. (2014) demostraron que el uso de turba en combinación con perlita y vermiculita produce plántulas superiores en calidad, también produjo valores similares al utilizar aserrín.

Los residuos orgánicos derivados de labores agrícolas han tenido un auge para su utilización en los viveros (Abad, Noguera y Burés, 2001; Hernández et al., 2014). El aserrín como sustrato orgánico, proporciona ventajas para producir plántulas; no es tóxico y por su tamaño de partículas, brindan porosidad (Aguilera, Aldrete, Martínez y Ordaz, 2015). Algunas investigaciones hacen referencia a la utilización de estiércol como sustrato orgánico por su bajo costo y su contenido de nitrógeno que pueden aprovechar las plántulas (Morales y Casanova, 2015).

Otro factor que influye en la calidad de producción de plántulas en vivero es la fertilización. Los fertilizantes de liberación lenta se componen por un concentrado soluble de nutriente, estos están cubiertos de una capa no soluble al agua, pero con un grado de permeabilidad. Esto permite liberar los nutrientes en un tiempo prolongado, haciendo eficiente su aprovechamiento (Reyes, Gerding y Thiers, 2012). A nivel del sistema radicular; la fertilización puede afectar la composición nutritiva de los tejidos, alterando los niveles de reserva, resistencia a estrés hídrico y enfermedades (Bustos et al., 2008). Además, puede ser un factor clave para el desarrollo del establecimiento de las plantaciones forestales en condiciones adversas como terrenos pobres o con vegetación abundante que pueden ser competencia (León, Reyes, Herrero y Pérez, 2016).

Los hongos formadores de micorrizas son de gran importancia, ya que les facilitan a las plantas el aprovechamiento de los nutrientes, aumentando la superficie de absorción de la raíz a través de las hifas (Osorio, 2012). Las plantas pueden tener altos valores de crecimiento, poca necesidad de recursos y pueden tolerar estrés por trasplante; estas son características importantes en la restauración de terrenos afectados o degradados (Lynch y Ho, 2008; citado por Zangaro, Torezan, Rostirola, Souza y Nogueira, 2015).

Como parte del mejoramiento de la producción forestal de plántulas en el vivero de la Unidad Forestal de Zamorano, se mejoró la infraestructura e instalaciones del vivero. Uno de los cambios es el uso de tubetes como contenedores. Esto debido a que el uso de bolsas de polietileno ocasiona deformaciones en el sistema radicular (Domínguez, 1997). La producción de plántulas en contenedores influye positivamente en el sistema radicular, el crecimiento en campo y durante el trasplante. Para determinar el tipo de contenedor a utilizar se deben considerar aspectos como: el tamaño de la semilla, velocidad de crecimiento y el porte deseado de la planta. Adicionalmente, hay que considerar las dimensiones del contenedor a utilizar ya que debido a esto, los costos de producción pueden variar (Carpenedo, Machado, Benítez, Gomez y da Silva, 2016).

La Unidad Forestal de Zamorano está interesada en implementar la producción de plántulas en tubetes, para lo cual requiere analizar los nuevos sustratos para producir plántulas de calidad, en complemento con la dosificación de fertilización adecuada e inoculación de micorriza en el vivero forestal. Se propusieron los siguientes objetivos:

- Determinar el efecto del tipo de sustrato en germinación, desarrollo inicial y calidad morfológica de plántulas de *Pinus oocarpa* en vivero.

- Evaluar el nivel de fertilización en la germinación y desarrollo inicial mediante calidad morfológica en las plántulas de *Pinus oocarpa* en vivero.
- Evaluar el efecto de la inoculación de micorriza en la germinación, desarrollo inicial y calidad morfológica de plántulas de *Pinus oocarpa* en vivero.

2. MATERIALES Y MÉTODO

Ubicación del estudio

El estudio se realizó en el vivero forestal ubicado en la Unidad Forestal de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. El lugar está a 700 msnm, con una temperatura promedio anual de 24.5 °C y precipitación promedio anual de 1,080 mm. La implementación del ensayo fue de cinco meses, iniciando en marzo y finalizando en agosto de 2019.

Para cumplir con los objetivos del presente estudio, la evaluación de las plántulas incluyó la germinación y el crecimiento inicial. El crecimiento inicial corresponde al desarrollo de la planta posterior a la germinación, hasta tener las condiciones para su establecimiento en campo. En esta fase se midió el crecimiento en altura, diámetro de las plántulas y desarrollo radicular. La metodología se dividió en cinco etapas (Figura 1):

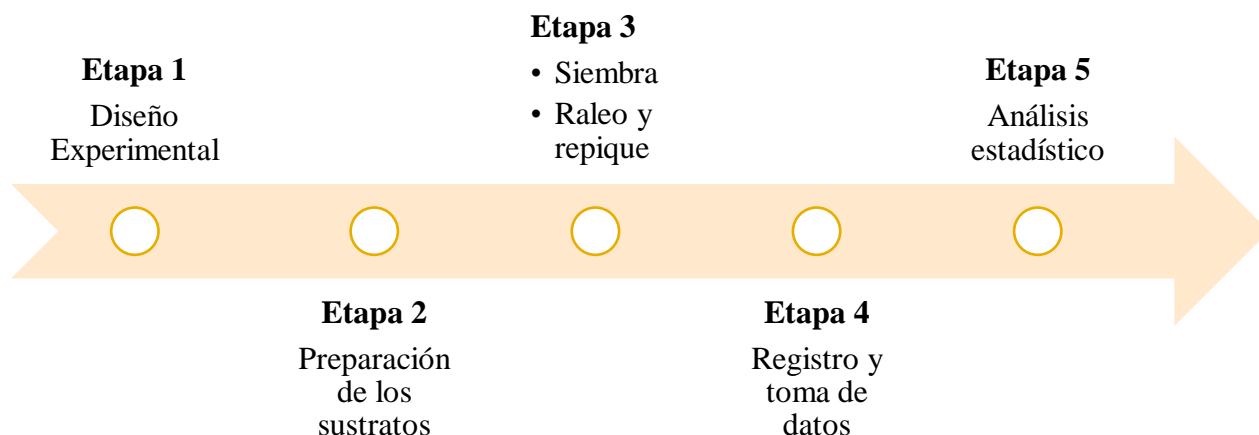


Figura 1. Etapas de la metodología

Etapa 1

Diseño experimental. Se implementó un diseño completamente al azar con arreglo factorial $8 \times 3 \times 2$. Este incluye ocho sustratos, tres dosis de fertilización y dos niveles de aplicación de micorriza. Cada tratamiento estuvo conformado por tres repeticiones de siete plántulas por repetición distribuidas aleatoriamente. Las unidades experimentales se conformaron por siete plántulas.

Modelo Teórico:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i(A) + \beta_j(B) + \xi_k(C) + (\alpha\beta\xi)_{ijk}(A \times B \times C) + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable de respuesta observada en la unidad experimental l, sustrato i, dosis de fertilización j, e inoculación de micorriza k.

μ = Media general

- $\alpha_i(A)$ = El efecto del tipo de sustrato
 $\beta_j(B)$ = El efecto de la dosis de fertilización
 $\epsilon_k(C)$ = El efecto de la inoculación de micorriza
 $(\alpha\beta\epsilon)_{ijk}(A \times B \times C)$ = El efecto de la interacción entre α_i , β_j y ϵ_k .
 ϵ_{ijkl} = Error experimental

Etapa 2

Preparación de los sustratos. En la preparación de sustratos se utilizó tres fuentes de variación: cinco medios de crecimiento para ocho combinaciones de sustratos, tres dosis de fertilización y dos niveles de micorriza.

- a) Para elaborar la mezcla de los sustratos se utilizó cinco medios de crecimiento: turba, perlita, vermiculita, estiércol y aserrín. Los mismos se mezclaron a diferentes proporciones (Cuadro 1) para obtener los ocho niveles (combinaciones) de sustratos; algunas mezclas de sustrato se utilizan habitualmente en viveros forestales (Aguilera et al., 2015; Bautista et al., 2018; Castro, Aldrete, López Upton y Ordaz, 2018; Chávez, Pereira y Machuca, 2014; González et al., 2018; Hernández et al., 2014; Olivo y Buduba, 2006; Vicente, Carrasco, Rodríguez y Villanueva, 2019).

Cuadro 1. Composición de los niveles de sustratos para la producción de plántulas de *Pinus oocarpa*

Materiales	Niveles de Sustratos (volumen en %)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Turba	60	60	50	40	30	20	60	0
Perlita	20	10	20	15	10	5	0	0
Vermiculita	20	30	10	15	10	5	0	0
Estiércol	0	0	10	20	30	40	0	60
aserrín/viruta	0	0	10	10	20	30	40	40
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

- b) Posteriormente a cada nivel de sustrato se le agregó los tres niveles de fertilización: 6 kg/m³, 7 kg/m³ y 8 kg/m³. Se aplicó el fertilizante de liberación lenta FASTRAC[®] con la siguiente composición química (% p/p): nitrógeno 20%, fósforo (P₂O₂) 15% y potasio (K₂O) 5%. Se aplicó FASTRAC ya que es recomendado para plantaciones forestales. FRASTAC es un fertilizante de liberación lenta, el tiempo de liberación de nutrientes es de 3 meses, lo cual evita deficiencias y mejora el aprovechamiento de los nutrientes.
- c) Como último paso, se agregó el inóculo de micorriza generando las combinaciones de todas las fuentes de variación, resultando en 48 tratamientos. En las plántulas de pino en vivero, su aplicación favorece la calidad de la plántula y garantiza un buen establecimiento en campo (Osorio, 2012). Se utilizó Mycoral[®] como inoculante, este contiene tres especies de micorrizas: *Gflomus*, *Acaulospora* y *Entrophospora*. Por último, se colocó cada tratamiento (sustrato + dosis

de fertilización + inoculación de micorriza) en los tubetes. Se utilizó tubetes como contenedores de 155 mL de volumen cada uno. Cada tratamiento está compuesto de tres repeticiones de siete plántulas, equivalente a 21 plántulas en total por tratamiento. Es importante destacar que la cantidad de sustrato que se elaboró se hizo en función del volumen de los tubetes, y la cantidad a utilizar por tratamiento. En la Figura 2, se muestra la ubicación de los tratamientos y a su lado la identificación de cada tratamiento.

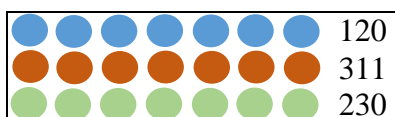


Figura 2. Ejemplo de la ubicación aleatoria de tratamientos (mismo color) en bandejas de 7 × 14 tubetes (círculos).

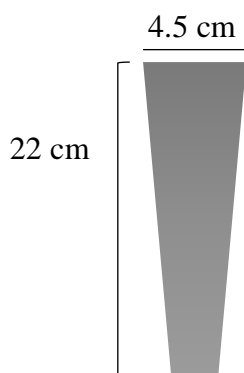


Figura 3. Dimensiones de tubete utilizado en la producción de *Pinus oocarpa*

Se realizó un análisis químico de turba (pH, MO, N, P, K, Ca, Mg). Para determinar el pH se utilizó una concentración de 1:1 en agua, para el C.O. Se utilizó el método de solución extractora Mehlich 3, determinados por espectrofotometría de absorción atómica para analizar K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn. Para analizar P, se utilizó la metodología de solución extractora Mehlich 3, determinado por colorimetría. El análisis de turba se realizó en el Laboratorio de Suelos Zamorano. También, se realizó un análisis de calidad de agua (salinidad, pH, dureza y nutrientes), realizado en el Laboratorio de Energía, Ambiente y Desarrollo (LEAD). Los análisis se realizaron con el fin de conocer si algún factor del sustrato o del agua de riego son determinantes en el crecimiento de las plántulas.

Etapas 3

Siembra de semillas. Al culminar con la elaboración de los sustratos se sembraron dos semillas por tubetes, a una profundidad alrededor de dos veces su tamaño. Esto con el propósito de garantizar la germinación de por lo menos una semilla. La siembra se realizó directamente en los tubetes para conocer la influencia de los tratamientos en la germinación. Posterior a la siembra de la semilla, se aplicó riego hasta llevar los sustratos a capacidad de campo, humedad propicia para la germinación. El mismo día se sembraron semillas en el germinador para el posterior trasplante

de las semillas que no germinaron, con el propósito de evaluar posteriormente el desarrollo y crecimiento de las plántulas bajo la influencia de los sustratos. La semilla que se usó proviene del banco de semillas de la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR).

Raleo, repique y trasplante. El día número cinco después de la siembra, inició la germinación. El registro del porcentaje de germinación se realizó 18 días después de la siembra de las semillas. La información se recolectó el día 13 después de la germinación. Posteriormente, el día número 33 después de la siembra, se realizó raleo y repique por tubete. Se ejecutó en esa fecha ya que la germinación había finalizado. Luego se repuso las plántulas en los tubetes que no germinaron, desde el germinador.

Etapa 4

Registro y toma de datos. Germinación y sobrevivencia: La siembra se realizó el 23 de marzo del 2019, eventualmente a los 18 días y a los 33 días se efectuaron dos inventarios en los cuales se midió porcentaje de germinación y sobrevivencia respectivamente. Para el registro de datos, se contabilizó el número de plántulas germinadas por tratamiento.

Altura: Se midió la altura al ápice de la plántula, se realizaron cuatro mediciones durante todo el ensayo. Se inició el mes de mayo y culminó el mes de agosto. El levantamiento de la información se recolectó de la población total del experimento.

Diámetro: Se midió el diámetro de la plántula para conocer el desarrollo. La medición se hizo utilizando un pie de rey y se realizó en el cuello del tallo. La información recolectada correspondió a la población total del experimento.

Peso seco de raíz: El último mes del ensayo (agosto), se realizó la medición del peso seco de raíz. Se escogió dos plántulas por cada repetición. Se tomaron dos plántulas de siete plántulas que corresponde a una repetición. No se consideró los individuos de los extremos para evitar el efecto borde. Las plántulas se muestrearon de forma sistemática (Figura 4). Seguidamente se quitó el contenido de sustrato de la raíz, sin maltratarla y evitando la pérdida de esta, se le cortó la parte aérea de la planta y se secó durante un mes al aire libre.

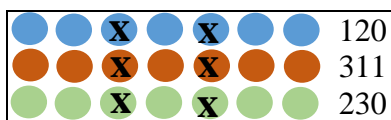


Figura 4. Muestreo de plántulas para peso de raíz

Etapa 5

Análisis estadístico. Las variables de respuesta evaluadas fueron las siguientes: porcentaje de germinación y sobrevivencia, altura en centímetros, diámetro del tallo en milímetros y peso en seco de la raíz en gramos. Estos parámetros morfológicos son atributos que se establecen de forma física, se utilizan frecuentemente para determinar calidad de plantas. El diámetro es una de las

características más importantes, ya que se puede predecir el comportamiento en campo. Esta variable se relaciona con el éxito de la plantación. La altura de las plántulas puede predecir el desarrollo en campo, por lo que es útil para estimar su calidad y el comportamiento en el establecimiento en campo. El peso en seco de la raíz permite conocer el desarrollo de la biomasa de la raíz y con ello comparar entre sustratos el desarrollo radicular (Mexal y Landis, 1999; citado en Sáenz, Villaseñor, Muñoz, Rueda y Prieto, 2010).

Para el análisis estadístico de las variables de respuesta solo se consideró los datos recopilados el último mes. Se analizó solo estos datos debido a que se quiere conocer la calidad de las plantas previo a su trasplante a campo. Para comprobar los supuestos de normalidad y homogeneidad, se analizó a través de “QQPlots” con los residuales. Para analizar todos los datos se utilizó el programa estadístico “InfoStat versión 2017”.

Para responder a cada uno de los objetivos específicos: Se realizó un Análisis de Varianza de tres vías con interacciones; se aplicó en todas las variables de respuesta. Al existir diferencia significativa entre los tratamientos, se realizó una comparación de medias, utilizando el método de comparación “Least Significant Difference” (LSD Fisher). El valor de significancia utilizado fue de 0.05.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La especie *P. oocarpa* en particular crece de manera óptima en suelos relativamente ácidos con pH entre 4.5 a 6.8 (Instituto Nacional de Bosques, 2017). La turba presenta valores bajos 4.37 de pH (Cuadro 2) el cual es ligeramente inferior al valor que requiere *P. oocarpa* para su desarrollo. La turba en general está compuesta por 59% carbono, 6% hidrógeno, 33% oxígeno y 2% nitrógeno con pH que varía de 3.5 a 8.5 (Núñez, 2009). El análisis químico de turba se realizó en el Laboratorio de Suelos Zamorano.

Cuadro 2. Análisis químico del sustrato turba del vivero forestal

Muestra	pH	g/100g			mg/kg (extractable)	
		C.O	M.O	N	P	K
Turba	4.37	55.68	96.01	1.35	6	162
	Rango medio		2 4	0.2 0.5	13 30	Por saturación de bases

pH: 1:1 en agua

C.O: Método de Ignición

K, P: Solución extractora Mehlich 3

El nitrógeno (N) es un elemento nutritivo que favorece el crecimiento de las hojas. Sin embargo, es un factor restrictivo en el desarrollo vegetal, ya que su deficiencia provoca raíces pobres, tallos delgados y follaje amarillento. El exceso detiene el desarrollo de la planta generando tejidos tiernos, clorosis en las hojas y necrosis (Foucard, 1997; citado en Prieto, García, Mejía, Huchín y Aguilar, 2009). El contenido de N en el análisis químico de la turba (Cuadro 2) muestra 1.35% por lo que se encuentra inferior al valor en general (2% N) que se presenta en turbas. Sin embargo, es un valor adecuado para el requerimiento de *P. oocarpa*, ya que requiere de 1.3% de N (Rueda et al., 2012; Sáenz et al., 2010).

El fósforo (P) beneficia al sistema radicular, disminuye la susceptibilidad a enfermedades y plagas. La deficiencia de P estimula cloración rojiza en el tallo, enanismo, entrenudos pequeños. El exceso es representado por coloraciones amarillentas en la planta y necrosis. El pH es un factor que limita la disponibilidad de este elemento. En este caso, el pH es ácido por lo cual, su solubilidad puede ser mínima (Foucard, 1997; citado en Prieto et al., 2009). Existe una concentración de P para coníferas en la cual las plántulas se pueden desarrollar adecuadamente. El valor óptimo de concentración de P es de 0.2% en la etapa de vivero para coníferas, por lo que el valor de P se encuentra bajo (0.0006 %) (Comisión Nacional Forestal de Mexico [CONAFOR], 2009; citado en Rueda et al., 2012). La asociación simbiótica de las raíces con hongos formadores de micorrizas fortalecen la absorción de minerales como fósforo, por lo que permite el prendimiento y la supervivencia en campo (Martínez, Barroetaveña y Rajchenberg, 2007).

El potasio (K) contribuye en los procesos fotosintéticos, lignificación de las plantas, mejora la resistencia a enfermedades. Si hay deficiencia en K puede producir clorosis, detiene el crecimiento, raíces amarillentas, ramificación pobre y enrollamiento de las hojas jóvenes (Prieto et al., 2009).

La concentración de K en la turba es de 162 mg/kg equivalente a 0.0162%, y se encuentra bajo, ya que Quiroz, García, González, Chung y Soto (2009), recomienda valores mayor a 0.7% de concentración de K.

En general la turba como medio de crecimiento presenta características nutricionales, físicas y químicas que proveen un ambiente óptimo para el crecimiento de plántulas (Núñez, 2009). Según el análisis de turba realizado, los niveles de fosforo y potasio están por debajo de lo requerido por coníferas, por lo que la fertilización es un complemento para satisfacer las necesidades nutricionales de las plantas. La planta se desarrolla de manera óptima y en general la calidad de las plántulas es mejor al aprovechar los nutrientes de la turba y complementar los nutrientes requeridos con fertilización.

Germinación

En el Análisis de Varianza del porcentaje de germinación, se encontró una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los sustratos (Cuadro 3). Sin embargo, la fertilización como la aplicación de micorrizas no tuvieron efecto sobre el porcentaje de germinación ($P > 0.05$). El tipo de sustrato favorece la germinación si contiene elementos que proporcionen porosidad y buena estructura que permitan la emergencia de las plántulas. Por el contrario, si el sustrato utilizado presentó características de compactación pudo detener la germinación. López, Gálvez, Calleja, Méndez y Rios (2018) determinaron que a los días 10, 15 y 20 días es donde se presenta mayor actividad en la fase de germinación, es decir es donde la mayor cantidad de plantas germinan. El experimento se realizó en *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* con contenedores de 177 cm³ y se utilizaron sustratos orgánicos. En el día número 18 se registró la germinación en este estudio, para asegurar la mayor cantidad de plántulas germinadas, según los resultados de López et al., (2018).

Cuadro 3. Análisis de Varianza del porcentaje de germinación en *Pinus oocarpa*

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Valor F	Probabilidad
Modelo	46	1,112.86	4.02	<0.0001
Sustrato	7	5,099.21	18.43	<0.0001
Fertilización	2	741.43	2.68	0.07
Micorriza	1	595.84	2.15	0.15
SST*FRT	14	228.59	0.83	0.64
SST*MIC	7	590.12	2.13	0.05
FRT*MIC	2	172.44	0.62	0.54
SST*FRT*MIC	13	441.74	1.6	0.1
Error	92	276.72		

Nivel de significancia (0.05),

SST: sustrato, FRT: fertilización, MIC: micorriza

A los 18 días después de la siembra, los sustratos uno, dos, tres, cuatro, y siete presentaron mayor porcentaje de germinación sin diferencia significativa entre sí ($P > 0.05$), con valores desde 66% a 69%. Los sustratos cinco y seis fueron estadísticamente iguales con un nivel de significancia de ($P > 0.05$), ambos contienen menor proporción de vermiculita y perlita, y mayor cantidad de

estiércol (Figura 5). Los sustratos cinco y seis presentaron características compactación y masividad en la estructura del sustrato. Esto puede ser una de las causas de los bajos valores de porcentaje de germinación, ya que la compactación afecta la eficiencia del riego y la disponibilidad de nutrientes (Mendoza-Hernández, García-de-la-Fuente, Belda, Fornes y Abad, 2011).

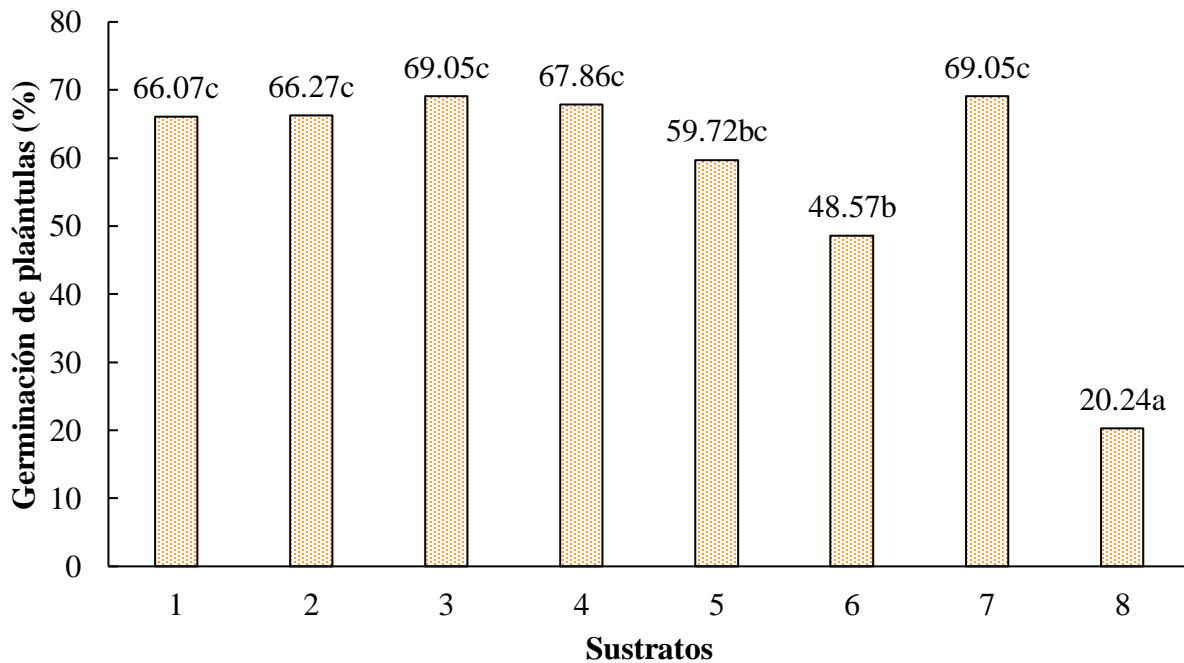


Figura 5. Porcentaje de germinación en plántulas de *Pinus oocarpa* por influencia de sustratos a los 18 días después de la siembra

La germinación del sustrato ocho fue la más baja con 20.24% de plántulas germinadas. Durante el periodo de siembra y germinación; en la superficie del sustrato se observó una cubierta dura que pudo haber interferido en la emergencia de la plántula. Adicionalmente, se realizó una prueba de germinación en un semillero resultando en más del 90% de semillas germinadas, comprobando el alto porcentaje de germinación sin influencia del sustrato.

La germinación de *Pinus greggii* establecidos en la mezcla de sustratos de 60% turba, 20% perlita y 20% vermiculita resultó en un 86% de germinación a las cuatro semanas (30 días) (García et al., 2017). García et al. (2017), demuestran que el valor mencionados anteriormente es estadísticamente igual al utilizar mezclas de sustratos de aserrín + corteza de pino + turba en tubetes de 170 ml en volumen. López et al. (2018), al día 30 encontraron que la germinación se comporta estadísticamente igual para todos los tratamientos, coincidiendo con los resultados de García et al., (2017).

Sobrevivencia

En el Análisis de Varianza del porcentaje de sobrevivencia de las plántulas de *P. oocarpa* (Cuadro 4), la sobrevivencia presentó diferencia significativa ($P < 0.05$) al día 33. El efecto de la aplicación de micorriza en la sobrevivencia de las plántulas fue estadísticamente significativo ($P < 0.05$). La interacción de los sustratos con fertilización tuvo influencia significativa en la sobrevivencia de las plántulas.

Cuadro 4. Análisis de Varianza del porcentaje de sobrevivencia a los 33 días después de siembra en *Pinus oocarpa*

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Valor F	Probabilidad
Modelo	47	1,249.05	4.15	<0.0001
Sustrato	7	5,016.75	16.68	<0.0001
Fertilización	2	612.72	2.04	0.14
Micorriza	1	4,132.45	13.74	0.0004
SST*FRT	14	767.64	2.55	0.0038
SST*MIC	7	357.99	1.19	0.32
FRT*MIC	2	466.61	1.55	0.22
SST*FRT*MIC	14	288.86	0.96	0.5
Error	96	300.82		

Nivel de significancia (0.05),

SST: sustrato, FRT: fertilización, MIC: micorriza

En la Figura 6, se muestra que a los 33 días los sustratos 2, 3, 4 y 7 presentan mayor porcentaje de sobrevivencia con respecto a los demás y son estadísticamente iguales entre sí. Sin embargo, hubo una considerable reducción de plántulas por mortalidad, principalmente en el sustrato siete (9.13% de mortalidad).

La sobrevivencia de los sustratos uno y cinco son estadísticamente iguales con porcentajes entre 51.19 a 52.78%. Sin embargo, el sustrato uno muestra el nivel de mortalidad más alto (14.88%) con respecto a los demás sustratos. En el sustrato seis se observó similar porcentaje de mortalidad de plántulas con un 14.84% con respecto al sustrato uno.

Las semillas establecidas en el sustrato ocho no lograron germinar en su mayoría, presentando el porcentaje más bajo de germinación con 20.24% (Cuadro 3) en comparación con los demás sustratos. Pero en tiempo, del día 18 al día 33, fue el que presentó menor mortalidad con 1.59% de plántulas. El conteo de plántulas vivas se realizó previamente al trasplante, el 82% de plántulas no germinadas y muertas se sustituyeron por una plántula por tubete el mismo día (33 días después de siembra).

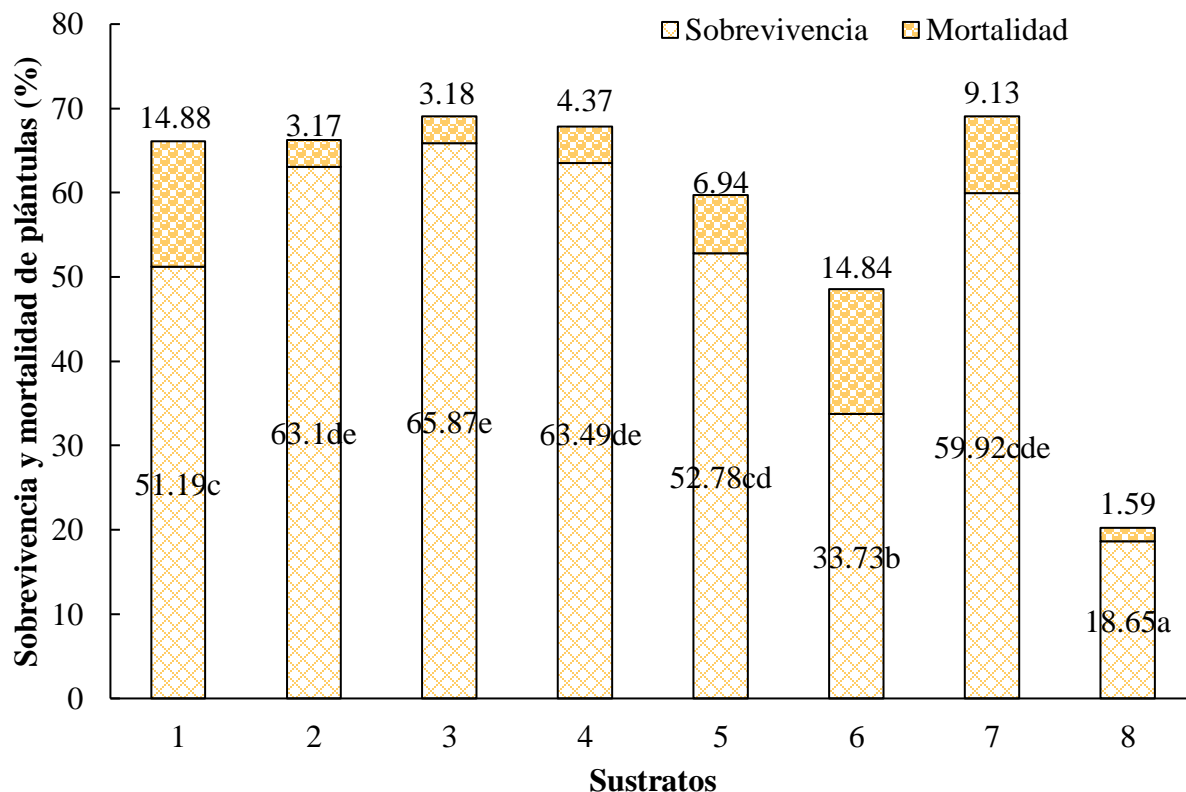


Figura 6. Porcentaje de sobrevivencia y mortalidad en plántulas de *Pinus oocarpa* por influencia de sustratos a los 33 días después de la siembra.

La sobrevivencia de *Pinus oxacana* Mirov a los 21 días después de siembra, fue de 41% en promedio. Se utilizó agrolita como sustrato y bandejas como contenedores (Ramírez, Márquez y Arguelles, 2010). Villegas, Rodríguez, Chávez, Enríquez y Carrillo (2016) obtuvieron en promedio 45.61% de sobrevivencia en los días 54 a 166 después de la siembra. Este resultado se presentó en *Pinus pseudostrobus* en sustratos de 40% turba, + 30% vermiculita + 30% perlita utilizando tubetes de 175 cm³. En ambos estudios se menciona que las semillas provienen de árboles con características fenotípicas sobresalientes.

Altura

Según el Análisis de Varianza para la variable altura (Cuadro 5), el empleo de sustratos tuvo influencia en el crecimiento de las plántulas ya que resultó estadísticamente significativo ($P < 0.05$). Sin embargo, los niveles de fertilización aplicados no son estadísticamente significativos, indicando que ninguno tuvo efecto en el crecimiento de las plántulas.

Cuadro 5. Análisis de Varianza para la altura en *Pinus oocarpa*.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Valor F	Probabilidad
Modelo	47	68.61	10.01	<0.0001
Sustrato	7	424.11	61.87	<0.0001
Fertilización	2	0.02	0	0.99
Micorriza	1	6.39	0.93	0.34
SST*FRT	14	6.74	0.98	0.48
SST*MIC	7	8.4	1.23	0.3
FRT*MIC	2	3.07	0.45	0.64
SST*FRT*MIC	14	6.45	0.94	0.52
Error	96	6.86		

Nivel de significancia (0.05),

SST: sustrato, FRT: fertilización, MIC: micorriza

En la aplicación de micorriza no hubo diferencia estadística, por lo cual la micorriza no tuvo influencia a los 150 días en el crecimiento de las plántulas. En un estudio donde se evaluó diferentes tipos de inóculos de micorriza no se encontró diferencia significativa en los sustratos que contenían inóculos de *Corioloopsis rigida*, *Trichoderma harzianum* y *Rhizopogon luteolus* con respecto al control (sin inoculante) (Chávez et al., 2014). La efectividad de la micorriza pudo estar condicionada por el pH que puede afectar al desarrollo de los hongos, idealmente estos trabajan a un pH de 5 a 8. El pH de la turba es de 4.37, por lo que puede afectar el accionar de la micorriza. Según Pera, Alvarez y Parlade (1998), el efecto positivo de las micorrizas en el desarrollo de las plántulas puede manifestarse hasta el establecimiento campo. Por lo que el efecto de la micorrización de las plántulas en vivero puede ser distintos al efecto en campo, ya que puede mostrar efectos positivos en campo, aunque la micorriza se haya aplicado en vivero. Coincidiendo con Martínez et al. (2007) y Pera et al. (1998), no encontraron influencia de la micorrización en etapas de vivero, no obstante, recomienda incorporar en las prácticas culturales la micorrización para garantizar el desarrollo en campo.

Los sustratos que solo contienen turba, perlita y vermiculita en diferentes proporciones produjeron plántulas con los valores más altos de crecimiento (Figura 7). El sustrato uno (60% turba, 20% vermiculita, 20% perlita) y el sustrato dos (60% turba, 30% vermiculita, 10% perlita) se obtuvo los valores de 17.70 cm y 19.55 cm respectivamente, mostrando diferencia significativa entre sí ($P < 0.05$). El 95% de materia orgánica que proporciona la turba y la estructura de la vermiculita y perlita permite un buen crecimiento en las plántulas. Esto resulta en que los sustratos que contienen esos componentes (turba, perlita y vermiculita) producen plántulas más desarrolladas. Los demás sustratos en los cuales se disminuyó el contenido de esos tres componentes, el desarrollo fue menor.

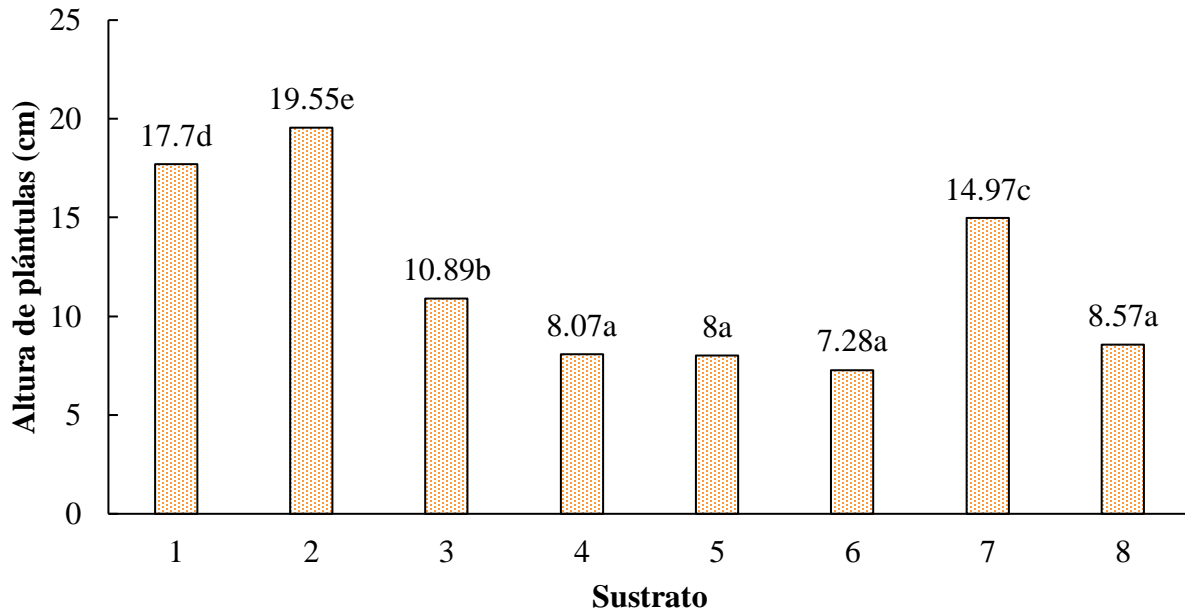


Figura 7. Comparación de medias de altura de plántulas de pino a los 150 días según los sustratos

La correlación entre altura y contenido de turba en el sustrato fue de 0.78, según el coeficiente de Pearson. Las variables altura y contenido de turba, presenta una relación positiva indicando que, a mayor porcentaje de turba, mayor es la altura. La turba presenta propiedades físicas como espacio poroso total de 91%, capacidad de aireación del 18% de volumen y 804 mL/L de capacidad de retención de agua (Núñez, 2009). Las propiedades físicas brindan un ambiente óptimo en el sustrato, permitiendo un buen desarrollo de las plántulas.

Los sustratos que contienen 60% de turba muestran niveles superiores de altura como el caso del sustrato uno, dos, y siete. Los sustratos 4, 5, 6 y 8 son los sustratos con valores inferiores de altura y de igual manera poseen niveles de turba inferiores (0 a 30% de volumen de turba).

Según, Olivo y Buduba (2006), los sustratos que contienen vermiculita son los que tienen mejor comportamiento, ya que la vermiculita brinda buenas condiciones fisicoquímicas en el desarrollo de las plantas. El sustrato uno y dos son los que contienen mayor porcentaje de vermiculita, sobresaliendo el sustrato dos, que el contenido de vermiculita es superior al contenido de perlita, resultando en un mayor crecimiento.

Adicionalmente, el sustrato siete (40% de aserrín + 60% de turba) siendo estadísticamente diferente al sustrato uno y dos produjo plántulas con una altura de 14.97 cm. De acuerdo con Vicente et al. (2019), el uso de aserrín es una buena alternativa como sustrato, ya que obtuvo resultados en plántulas de 54 cm altura a los meses, en contenido de 80% aserrín + 20% turba. La utilización de aserrín de pino o mixto, en cantidades significativas y hasta como componente principal produce plántulas vigorosas de alta calidad, en este caso es el sustrato siete. Por otro lado, Hernández et al. (2014) mencionan que los organismos descomponedores de la materia orgánica del aserrín pueden provocar restricción en la disponibilidad del nitrógeno. Económicamente la utilización de aserrín como sustituto de perlita y vermiculita puede ser mucho más rentable. El aserrín es un material

local por lo que su obtención no genera costos mayores, sin embargo, la perlita y vermiculita son procedente de roca volcánica por lo que su procesamiento y transporte es costoso. La producción de plántulas de calidad con turba y aserrín bajaría los costos considerablemente.

Las plántulas del sustrato uno, dos y siete de acuerdo al atributo de altura, son de alta calidad (≥ 12 cm), según los parámetros morfológicos generales establecidos por la Comisión Nacional Forestal en México (CONAFOR) (Rueda et al., 2012). Estas plántulas pueden tener mayor supervivencia en campo con respecto a las plántulas de los demás sustratos. Las plantas de calidad se les atribuye la capacidad de adaptarse mejor y crecer en las condiciones climáticas y edáficas del sitio de establecimiento (Sáenz et al., 2010).

Los sustratos que contienen estiércol, aserrín y menor cantidad de vermiculita y perlita (sustratos 4, 5, 6 y 8), son estadísticamente iguales entre sí ($P > 0.05$). Estos mismos con contenido de estiércol presentaron una estructura masiva por lo que las plántulas crecieron muy poco (7.28 a 8.57 cm) en promedio. Estos sustratos presentan los rendimientos inferiores en altura.

Diámetro

Los sustratos ejercen una influencia en el diámetro de las plántulas, así como la fertilización. Por otro lado, la aplicación de micorriza no ejerce influencia en el grosor del tallo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de Varianza para el diámetro del tallo en plántulas de *Pinus oocarpa*

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Valor F	Probabilidad
Modelo	47	1.09	8.55	<0.0001
Sustrato	7	6.47	50.55	<0.0001
Fertilización	2	0.43	3.33	0.04
Micorriza	1	0.28	2.22	0.14
SST*FRT	14	0.22	1.68	0.07
SST*MIC	7	0.05	0.42	0.89
FRT*MIC	2	0.07	0.51	0.6
SST*FRT*MIC	14	0.11	0.82	0.64
Error	96	0.13		

Nivel de significancia (0.05),

SST: sustrato, FRT: fertilización, MIC: micorriza

El sustrato uno resultó estadísticamente diferente al sustrato dos y siete ($P < 0.05$) (Figura 8). El sustrato uno, produjo plántulas con mayor diámetro (2.54 mm) medido a los 150 días. Los valores anteriores fueron superiores en menor tiempo con los valores obtenidos a los 174 días con medias de 2.5 a 2.8 mm de diámetro en *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* (Roetzl) Shaw (López et al., 2018).

El tiempo estimado en vivero para *P. oocarpa* es de 8 a 9 meses en tubetes, por lo cual se espera que alcance niveles de calidad alta en ese tiempo (Sáenz et al., 2010). Como se indicó anteriormente estos resultados fueron a los 5 meses, obteniéndose diámetros superiores de 2.5 mm, por lo cual estos sustratos muestran potencial para producir plántulas que alcancen mayor grosor en diámetro

con mayor tiempo en vivero. El incremento medio diario fue de 0.0169 mm. Si el crecimiento se mantiene en ese valor, a los 174 días el diámetro medio será 2.96 mm, resultando en plántulas superiores a las de López et al. (2018).

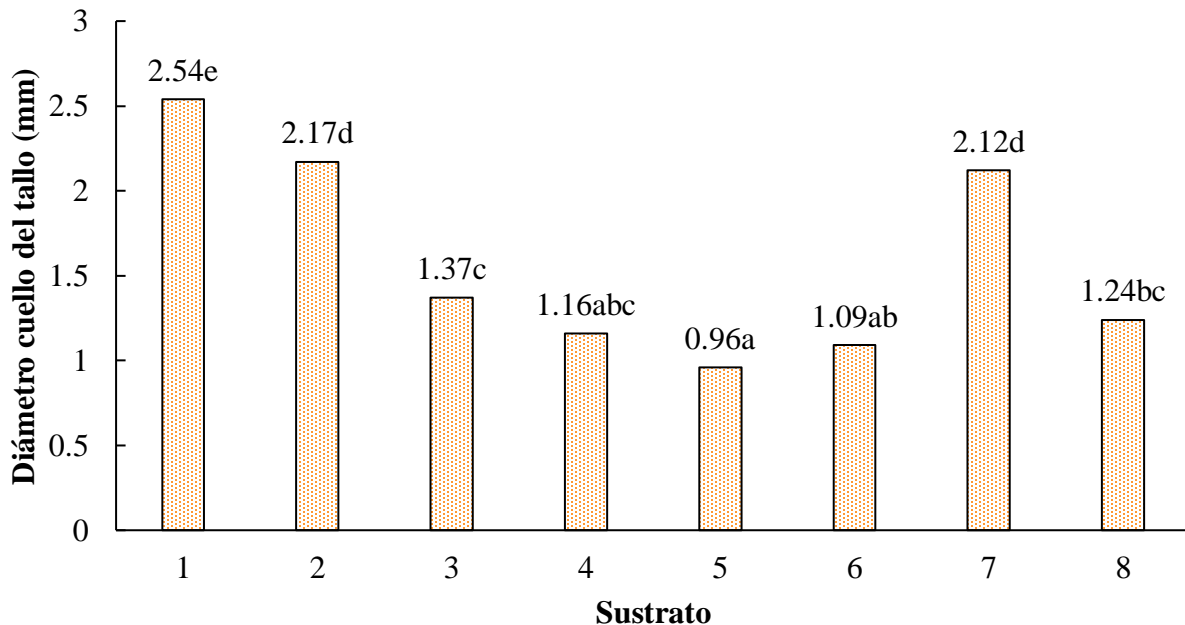


Figura 8. Comparación de medias de diámetro según los sustratos medido a los 150 días después de la siembra

Después de los valores de diámetro en las plántulas del sustrato uno, el sustrato dos y siete con plántulas de 2.1 mm de diámetro fueron superiores con respecto a los demás sustratos. Ambos sustratos, dos y siete son estadísticamente iguales ($P < 0.05$). Sin embargo, los costos del aserrín son bajos con respecto al costo de la perlita y vermiculita, por lo que el aserrín es un desecho de los aserraderos, y se obtiene por costos muy bajos, mientras que el procesamiento de las rocas que originan la perlita y vermiculita conlleva costos muy altos. El comportamiento de las plántulas concuerda con el estudio de Hernández et al. (2014). En el estudio anterior utilizaron 80% aserrín + 20% corteza de pino, obtuvo valores de 11.4 mm de diámetro en *Pinus montezumae* Lamb a los 10 meses. Estos resultados no presentaron diferencias estadísticas a la mezcla de 60% turba + 20% perlita + 20% vermiculita en ese mismo estudio de Hernández et al. (2014). El uso de aserrín como sustrato alternativo produce plántulas desarrolladas similares que al utilizar la mezcla de sustrato de turba, perlita y vermiculita.

El sustrato 4, 5, 6 y 8 presenta diferencia significativa ($P < 0.05$) con respecto a los demás sustratos, y son iguales entre sí ($P > 0.05$), con diámetros de 0.9 a 1.2 mm. Según la CONAFOR de México, las plántulas de alta calidad en diámetro son los que poseen valores ≥ 4 mm y los valores de calidad media son de 2.5 a 3.9 mm de diámetro (Rueda et al., 2012; Sáenz et al., 2010).

En este estudio no se obtuvo plántulas de calidad alta para la variable diámetro. Las plántulas que presentan el valor más alto se consideran de calidad media (2.54 mm), las cuales se desarrollaron en el sustrato uno. Los demás sustratos, produciendo plántulas menores a 2.5 mm de diámetro se consideran de calidad baja, por lo cual no están listos para las adversidades del campo. La importancia de producir plántulas de calidad alta radica en mejorar la supervivencia en campo, tolerar adversidades y mejorar la resistencia a doblamientos. Aunque, el sustrato uno a los 8 meses puede alcanzar grosor de diámetro > 4 mm, con crecimiento medio mensual de 0.5 mm de diámetro, posicionándose en plántulas de calidad alta.

Las dosis de fertilización de 6 kg/m³ fue estadísticamente diferente ($P < 0.05$) a la aplicación de 8 kg/m³ de fertilizante en el desarrollo del diámetro en las plántulas. Sin embargo, al aplicar 7 kg/m³ de fertilizante, el diámetro fue estadísticamente igual que aplicar 6 y 8 kg/m³ (Figura 7). El diámetro mayor fue de 1.68 mm en la aplicación de 6 kg/m³ de fertilizante; siendo esta la dosis más baja. Bautista et al. (2018) mencionan que si le adiciona nutrientes en mayor cantidad de lo necesario desfavorece el sistema de raíces provocando inestabilidad, consecuentemente lento desarrollo. Coincidiendo en el bajo desarrollo del diámetro del tallo en el nivel más alto de fertilización (8 kg/m³). Es importante destacar que la variable morfológica diámetro es un indicador de calidad y es el más usado para determinar calidad ya que está asociado a la supervivencia en campo (Castro et al., 2018; Prieto et al., 2009; Sáenz et al., 2010).

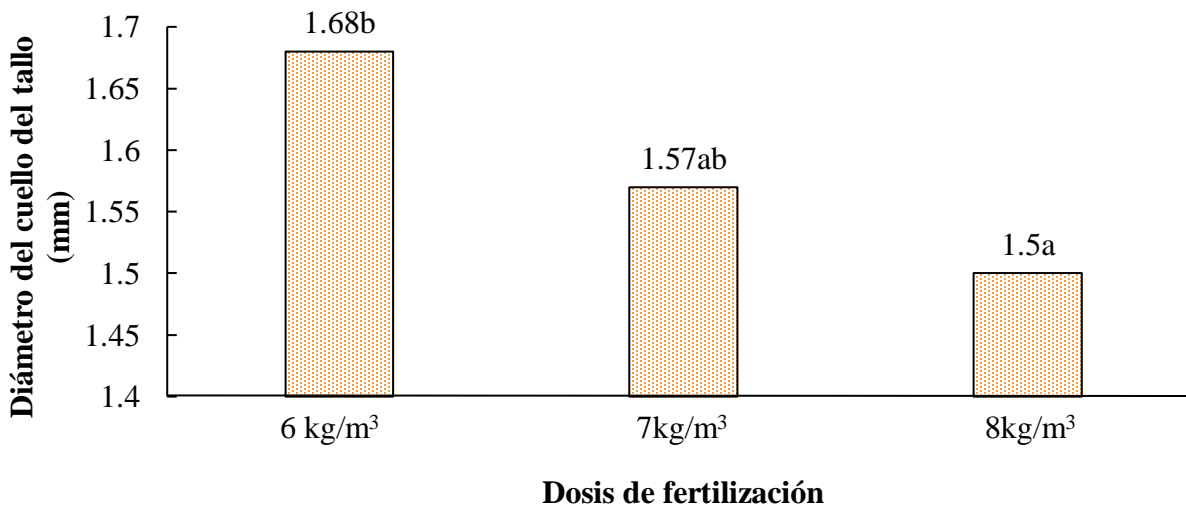


Figura 9. Comparación de medias de diámetro de cuello de la raíz según la dosis de fertilización

Bautista y sus colaboradores en el 2018, demostraron que el uso de fertilización de liberación lenta es más efectiva en cuanto a desarrollo morfológico de las plántulas en comparación a fertilizante convencionales hidrosolubles. Pero fisiológicamente las plantas no asimilan eficientemente los fertilizantes de liberación lenta. También se menciona que las plantas al no contar con suministro de nutrientes, provoca elongación de sus raíces en busca de nutrientes. En el estudio de Bautista et al. (2018), recomiendan utilizar combinaciones de fertilizantes de liberación lenta con fertilizantes hidrosolubles ya que con estos, se obtuvo los valores más altos en las variables morfológicas y fisiológicas.

Peso de raíz

El sustrato presentó probabilidad menor a 0.05, indicando que hay diferencia significativa en los tratamientos (Cuadro 7). Los sustratos tuvieron influencia en el desarrollo de las raíces, proporcionando las condiciones necesarias para crecer adecuadamente. La dosificación de fertilizante y aplicación de micorriza no presentó diferencia significativa según el Análisis de Varianza.

Cuadro 7. Análisis de Varianza para el peso seco de raíz en *Pinus oocarpa*

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Valor F	Probabilidad
Modelo	47	0.12	5.28	<0.0001
Sustrato	7	0.7	30.73	<0.0001
Fertilización	2	0.04	1.69	0.19
Micorriza	1	0.02	0.82	0.37
SST*FRT	14	0.02	0.73	0.74
SST*MIC	7	0.03	1.41	0.21
FRT*MIC	2	0	0.07	0.94
SST*FRT*MIC	14	0.01	0.55	0.9
Error	95	0.02		

Nivel de significancia (0.05),

SST: sustrato, FRT: fertilización, MIC: micorriza

El sustrato dos fue estadísticamente diferentes ($P < 0.05$) al sustrato uno y siete (Figura 10). El sustrato dos presentó mayor peso de raíz con 0.64 g, seguidamente se encuentra el sustrato uno siendo este estadísticamente igual al sustrato siete con valores de 0.54 y 0.46 g respectivamente. González et al. (2018) reportaron resultados en *Pinus cooperi Blanco* a las 8 meses con valores en peso de raíz de 0.6 a 0.7 g y en ninguno de los sustratos presentó diferencia estadística. Los sustratos empleados en el estudio de González et al. (2018) fueron: turba, corteza de pino y aserrín en las siguientes proporciones: 46% + 54% + 0%, 30% + 20% + 50%, 25% + 25% + 50%, 20% + 50% + 50% respectivamente. En cinco meses, se encontró valores similares a González et al. (2018), por lo que el sustrato uno a los 8 meses producirá plántulas con mayor desarrollo radicular.

En el estudio de Hernández et al. (2014) encontraron resultados de peso de raíz de 1.97 a 2.87 g a los 10 meses en vivero, en el cual utilizó aserrín, perlita, vermiculita, corteza de pino y turba. El incremento mensual medio es de 0.128 g para este estudio, al estimar el peso a los 10 meses, resultaría en 1.28 g, por lo que, se acerca al peso que encontraron Hernández et al. (2014) en sus resultados.

Los sustratos 4, 5, 6 y 8 no presentaron diferencias estadísticas en sus pesos promedios, su contenido es de mayor proporción estiércol. Los sustratos 4, 5, 6 y 8 presentaron estructura compacta, por lo que no permitieron el buen desarrollo de la raíz provocando valores bajos en peso.

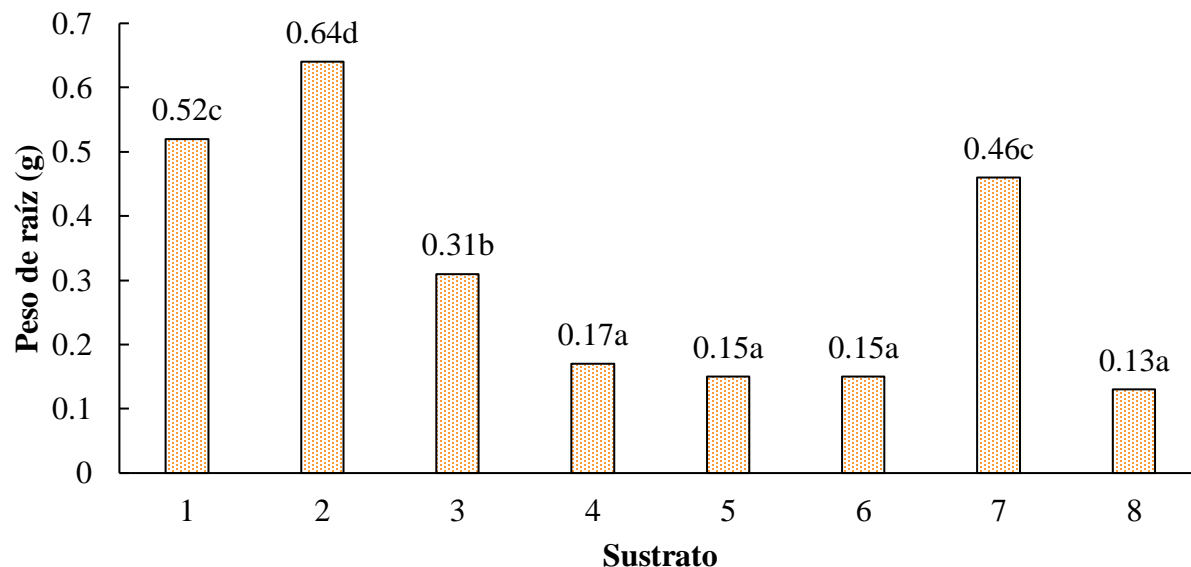


Figura 10. Comparación de medias de peso seco de raíz según los sustratos

La longitud de las raíces se muestra mucho mayor en los sustratos uno, dos y siete (Figura 11), en los demás sustratos la cantidad y longitud de raíces se observa pobre. La abundancia de raíces finas y raíz principal bien desarrollada, permite una buena absorción de nutrientes (Sáenz et al., 2010) y consecuentemente plantas vigorosas. En los estudios de (Davis y Jacobs, 2005; Jacobs, Salifu y Seifert, 2005) el volumen de las raíces y el rendimiento en campo presentan relaciones positivas.

El crecimiento de las plántulas mostró el mismo patrón en el desarrollo radicular, coincidiendo con los valores superiores en los sustratos uno, dos y siete para ambas variables morfológicas. Según el coeficiente de Pearson existe una relación de 0.98 entre la variable altura y peso seco de raíz. Esto indica que existe alta correlación positiva entre las dos variables, es decir, que cuando el peso seco de la raíz es mayor; la altura de la plántula también es mayor.

El peso de la raíz presenta similar comportamiento con el desarrollo del diámetro del tallo, ya que ambas variables presentan una relación directa. El coeficiente de Pearson resultó en 0.92, lo cual indica que a mayor peso seco de raíz mayor desarrollo en diámetro del tallo.

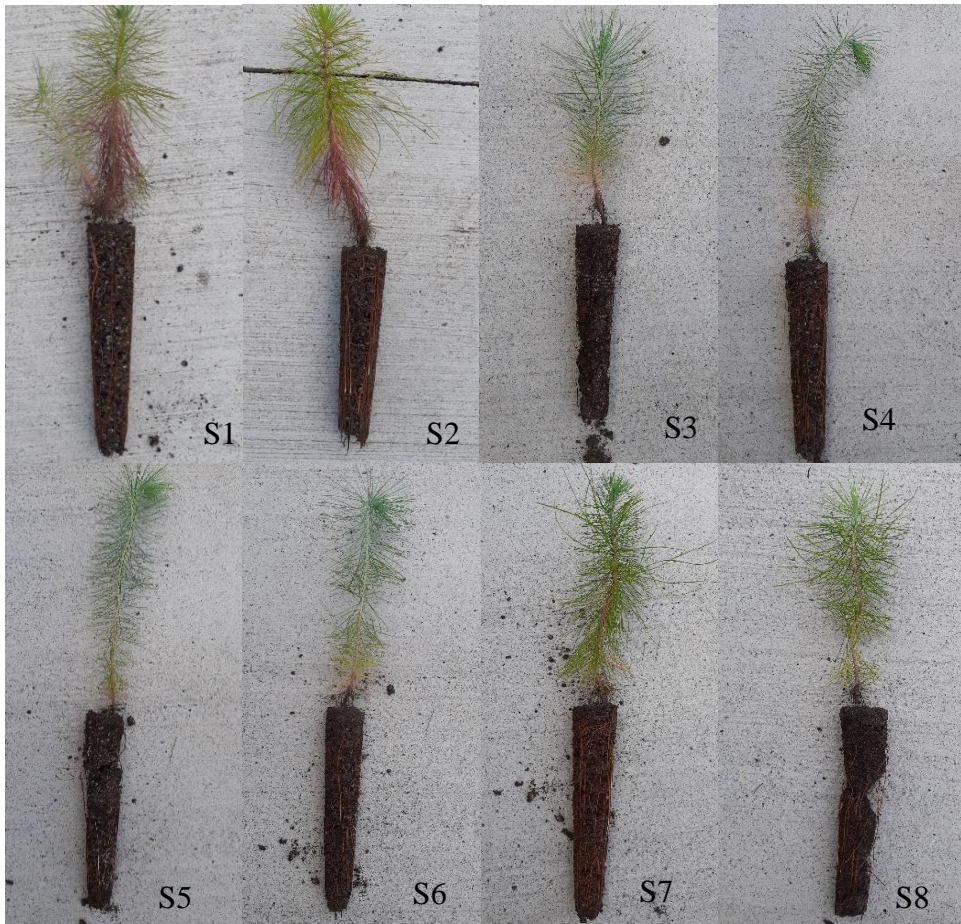


Figura 11. Plántulas de *Pinus oocarpa* a los cinco meses de crecimiento en vivero, S: sustrato

4. CONCLUSIONES

- El tipo de sustrato influye en la germinación y desarrollo morfológico del crecimiento inicial de plántulas de *P. oocarpa* en vivero. Las plántulas producidas utilizando los sustratos uno (60% turba, 20% perlita, 20% vermiculita), dos (60% turba, 10% perlita, 30% vermiculita) y siete (60% perlita, 40% aserrín) mostraron mejores resultados, lo que demuestra el potencial del uso del aserrín en mezclas de sustrato para producir plántulas de buena calidad.
- No se identificaron diferencias estadísticas significativas en el crecimiento de las plántulas de *P. oocarpa* a partir de tratamientos con diferentes niveles de fertilización.
- La aplicación de micorriza no influyó en la germinación, desarrollo inicial y calidad morfológica de las plántulas de *P. oocarpa*.

5. RECOMENDACIONES

- Utilizar el sustrato siete (60% turba + 40% de aserrín) para producción de plántulas en el vivero de la Unidad Forestal de Zamorano, ya que mostró resultados superiores en germinación y calidad morfológica.
- Evaluar la sobrevivencia y desarrollo en campo y relacionarla con los valores en vivero encontradas en los sustratos uno (60% turba, 20% perlita, 20% vermiculita), dos (60% turba, 10% perlita, 30% vermiculita) y siete (60% perlita, 40% aserrín).
- Evaluar la respuesta de las plántulas en los sustratos uno, dos y siete en dosis de fertilización con rangos más amplios, menores a 6 kg/m³ y mayor a 8 kg/m³.
- Realizar la caracterización del aserrín previo a utilizar en las mezclas de sustrato para conocer los requerimientos adecuados de las plántulas. La realización de la caracterización química del aserrín permitirá conocer la dosis óptima y que se puede reflejar en la calidad de las plántulas.
- Realizar análisis foliares de las plántulas de los sustratos uno, dos y siete para comprobar que las plántulas absorben y responden adecuadamente a los nutrientes del sustrato y la fertilización.
- Realizar un estudio de factibilidad de los sustratos uno, dos y siete para evaluar la rentabilidad de estos al aplicarlos en el vivero forestal. Esto permitirá la selección de un sustrato de bajo costo y que a la vez produzca plántulas de buena calidad.

6. LITERATURA CITADA

- Abad, M., Noguera, P. y Burés, S. (2001). National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology*, 77(2), 197–200. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(00\)00152-8](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(00)00152-8)
- Aguilera, M., Aldrete, A., Martínez, T. y Ordaz, V. (2015). Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(34), 7–19.
- Aparicio, A., Cruz, H. y Alba, J. (1999). Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Pinus patula* Sch. et Cham., *Pinus montezumae* Lamb. Y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en condiciones de vivero. *Foresta Veracruzana*, 1(2), 31–34.
- Bautista, G., Prieto, J., Hernández, J., Basave, E., Goche, J. y Montiel, E. (2018). Crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. bajo diferentes rutinas de fertilización en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(49), 213–233. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.171>
- Bustos, F., González, M. E., Donoso, P., Gerding, V., Donoso, C. y Escobar, B. (2008). Efectos de distintas dosis de fertilizante de liberación controlada (Osmocote®) en el desarrollo de plantas de coigüe, raulí y ulmo. *Bosque (Valdivia)*, 29(2). <https://doi.org/10.4067/S0717-92002008000200008>
- Carpenedo, S., Machado, M., Benítez, E., Gomez, G. y da Silva, F. (2016). Volumen de contenedores y dosis de fertilizante de liberación controlada en el crecimiento de plantas de *Cabralea canjerana* producidas en vivero. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 401–407. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000200018>
- Castro, S., Aldrete, A., López Upton, J. y Ordaz, V. (2018). Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *pinus greggii* var. *australis* en vivero. *Agrociencia*, 52(1), 115–127.
- Chávez, D., Pereira, G. y Machuca, Á. (2014). Estimulación del crecimiento en plántulas de *Pinus radiata* utilizando hongos ectomicorrícicos y saprobios como biofertilizantes. *Bosque (Valdivia)*, 35(1), 11–12. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002014000100006>
- Davis, A. S. y Jacobs, D. F. (2005). Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests*, 30(2-3), 295–311. <https://doi.org/10.1007/s11056-005-7480-y>
- Domínguez, S. (1997). La importancia del envase en la producción de plantas forestales. *Quercus*, 134, 34–37.
- García, S. E., Aldrete, A., Alvarado, D., Cibrián, D., Méndez, J. T., Valdovinos, G. y Equihua, A. (2017). Efecto de *Fusarium circinatum* en la germinación y crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* en tres sustratos. *Agrociencia*, 51(895-908). Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000800895
- González, M., Prieto, J., Aldrete, A., Hernández, J., Chávez, J. y Rodríguez, R. (2018). Sustratos a base de aserrín crudo con fertilización y la calidad de planta de *Pinus cooperi* Blanco en

- vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.125>
- Hernández, L., Aldrete, A., Ordaz, V., López, J. y López, M. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia*, 48, 627–637.
- Instituto de Conservación Forestal. (2017). Informe de Episodio de ataque del gorgojo descortezador del pino *dendroctonus frontalis* en Honduras 2014-2017. Recuperado de <https://www.icf.gob.hn/wp-content/uploads/2018/02/INFORME-EPISODIO-DE-PLAGA-2014-2017.pdf>
- Instituto de Conservación Forestal. (2018). Cobertura Forestal 2014-2018. Recuperado de la página web de Instituto Nacional de Estadística: <https://www.ine.gob.hn/V3/imagdoc/2020/01/Cobertura-Forestal-2014-2018-INE.pdf>
- Instituto Nacional de Bosques. (2017). Pino de Ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl); paquete tecnológico forestal. Guatemala. Recuperado de la página web de INAB.
- Jacobs, D. F., Salifu, K. F. y Seifert, J. R. (2005). Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. *New Forests*, 30(2-3), 235–251. <https://doi.org/10.1007/s11056-005-5419-y>
- León, M., Reyes, J., Herrero, G. y Pérez, V. (2016). Efecto de la fertilización sobre el crecimiento en diámetro y altura de *Pinus caribaea* en plantaciones del occidente de Cuba. *Madera y Bosques*, 22(3), 87–101. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2231115>
- López, B., Gálvez, P., Calleja, B., Méndez, J. y Ríos, J. (2018). Sustratos orgánicos en la germinación y crecimiento de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* (Roezli) Shaw en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(49). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.156>
- Martínez, D. B., Barroetaveña, C. y Rajchenberg, M. (2007). Influencia del régimen de fertilización y del momento de inoculación en la micorrización de *Pinus ponderosa* en la etapa de vivero. *Bosque (Valdivia)*, 28(3). <https://doi.org/10.4067/S0717-92002007000300007>
- Mendoza-Hernández, D., García-de-la-Fuente, R., Belda, R., Fornes, F. y Abad, M. (2011). Compostaje y vermicompostaje de residuos hortícolas: evolución de parámetros físicos y químicos durante el proceso. Consecuencias ambientales. *Actas de Horticultura*, 59, 22–27. Recuperado de <http://www.sech.info/actas/acta%20n%20c%20ba%2059.%20x%20jornadas%20del%20grupo%20de%20sustratos/comunicaciones/compostaje%20y%20vermicompostaje%20de%20residuos%20hort%20adcolas.%20evoluci%20c%20b3n%20de%20par%20c%20al%20metros%20f%20c%20adricos%20y%20qu%20c%20adricos%20durante%20el%20proceso%20y%20consecuencias%20ambientales.pdf>
- Morales, E. y Casanova, F. (2015). Mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos, tamaño de partícula y proporción. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 365. <https://doi.org/10.15517/am.v26i2.19331>
- Núñez, A. (2009). Turba y zeolita como soportes de inoculantes microbianos con acción fertilizante. *ICIDCA Sobre los derivados de la caña de azúcar*, 43(3), 22–27.

- Olivo, V. y Buduba, C. (2006). Influencia de seis sustratos en el crecimiento de *Pinus ponderosa* producido en contenedores bajo condiciones de invernáculo. *Bosque (Valdivia)*, 27(3). <https://doi.org/10.4067/S0717-92002006000300007>
- Osorio, N. (2012). Uso de hongos formadores de micorriza como alternativa biotecnológica para promover la nutrición y el crecimiento de plantulas. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(2), 1–4.
- Park, J. H., Lamb, D., Paneerselvam, P., Choppala, G., Bolan, N. y Chung, J.-W. (2011). Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2-3), 549–574. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.082>
- Pera, J., Alvarez, I. y Parlade, J. (1998). Eficacia del inóculo micelar de 17 especies de hongos ectomicorrizicos para la micorrización controlada de: *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* y *pseudotsuga menziessi*, en contenedor. *Forest Systems*, 7(1 y 2), 139–153.
- Prieto, J., García, L., Mejía, J., Huchín, A. y Aguilar, J. (2009). *Producción de planta del género Pinus en vivero en clima templado frío* (Primera Edición). México.
- Quiroz, I., García, E., González, M., Chung, P. y Soto, H. (2009). Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta. Chile. Recuperado de la página web de Ministerio de Agricultura: Gobierno de Chile: <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/17366/25075.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, E., Márquez, J. y Arguelles, G. (2010). Sobrevivencia en vivero de *Pinus oaxacana* Mirov proveniente de dos cosechas de semillas. *Foresta Veracruzana*, 12(1), 39–43.
- Reyes, J., Gerding, V. y Thiers, O. (2012). Fertilizantes de liberación controlada aplicados al establecimiento de *Pinus radiata* d. don en Chile. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(3), 313–328. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.08.060>
- Rivera, M., Locatelli, B. y Billings, R. (2010). Climate change and outbreaks of Southern Pine Beetle in Honduras. *Forest Systems*, 19(1), 70. <https://doi.org/10.5424/fs/2010191-01168>
- Rueda, A., Benavides, J., Saenz, T., Muñoz, H., Prieto, J. y Orozco, G. (2012). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(22), 58–73.
- Sáenz, T., Villaseñor, F., Muñoz, J., Rueda, A. y Prieto, J. (Eds.). (2010). *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán*. (Primera Edición, Folleto Técnico Núm. 17). SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental, México.
- Vence, L. (2008). Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. *Suelo*, 26(2), 105–114.
- Vicente, J., Carrasco, V., Rodríguez, D. y Villanueva, A. (2019). Calidad de planta de *Pinus greggii* producida en sustratos a base de aserrín. *Madera y Bosques*, 25(2), 1-14. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521784>
- Villegas, D., Rodríguez, G., Chávez, J., Enríquez, J. y Carrillo, J. (2016). Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Gayana Botánica*, 73(1), 113–123.
- Zangaro, W., Torezan, D., Rostirola, L., Souza, P. y Nogueira, M. (2015). Influence of mycorrhizas, organic substrates and container volumes on the growth of *Heliocarpus*

popayanensis Kunth. *CERNE*, 21(3), 395–403. <https://doi.org/10.1590/01047760201521031335>

7. ANEXOS

Anexo 1. Resultado de análisis químico del sustrato turba



LABORATORIO DE SUELOS ZAMORANO
INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS

LSZ-F126-1

VERSIÓN V04

Sistema de Gestión de Calidad ISO 17025

Solicitante	Fecha Ingreso Muestra	Fecha Envío Informe	Procedencia de la muestra	Página		
GeoForestal	2019-04-24	2019-06-21	Tegucigalpa	1 de 1		
Dirección del cliente	N° Lote de Análisis	Cultivo	Informe N°	Anexo Recomendación		
Tegucigalpa	2019-07	Sustrato	2019-102	Sí:	No:	x

	Bajo
	Medio
	Alto

Código Interno Lab.	Muestra	pH (H ₂ O)	g/100g				mg/Kg (extractable)							
			C.O.	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
19-S-0693	Turba	4.37	55.68	96.01	1.35	6	162	9692	529	ND	0.9	217	17	3.0

ND: NO DETECTADO

Rango Medio	2.00	0.20	13	Por: Saturación de bases	1.7	56	28	1.7
	4.00	0.50	30		6.5	112	112	3.4

Métodos: K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn: Solución extractora Mehlich 3, determinados por espectrofotometría de absorción atómica. P: Solución extractora Mehlich 3, determinado por colorimetría. % Carbono Orgánico. : Metodo de Ignición.

El laboratorio no se hace responsable por el estado de la muestra al ingresar a nuestras instalaciones. Los resultados se relacionan solo con las muestras recibidas. El laboratorio se exonera de responsabilidad por reproducción parcial o total del informe, o el uso que pueda darsele. El lote de análisis remite la fecha de ejecución de análisis.

Responsable del análisis: E. Aguilera
 Ing. Eunice Aguilera Núñez

Vo.Bo.: Acc.
 Dra. Gloria Arévalo de Gausset
 Directora Unidad de Suelos



Anexo 2. Resultado de análisis de calidad de agua de riego del vivero forestal



Departamento de
Ambiente y Desarrollo

Laboratorio de Energía, Ambiente y Desarrollo LEAD
Valle del Yegüare, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano
Teléfono (504) 2287-2000 Fax (504) 2776-6062

INFORME DE RESULTADOS No. 0215

Identificación de muestra: 19046 TRATAMIENTO 1-1-0 A3

Tipo de muestra: AGUA PARA USO EN RIEGO Cantidad: 50 ml

Procedencia: AGUA DE PERCOLACIÓN EN VIVEROS FORESTALES

Dirección: ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA ZAMORANO

Solicitado por: GEOFORESTAL

Responsable toma de muestra: LESLY LICONA

Toma de muestra: 24/04/19 Fecha ingreso: 24/04/19

Fecha de análisis: 24/04/19 Fecha entrega: 04/12/19

Parámetro	Resultado	Valor máximo permisible
pH	6.86	6.0 - 9.0
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	400	3 000.00
Salinidad (mg/L)	190	-----
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	23.6	-----

Anexo 3. Certificado de calidad de semillas de *Pinus oocarpa*



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES
BANCO DE SEMILLAS**

Apartado Postal No. 2. Siguatepeque, Honduras C. A.
Tel: (504) 2773-7637, 2773-0011, 2773-1652 al 56
Fax: (504) 2773-1637 ó 27730300



"CERTIFICADO DE CALIDAD DE SEMILLAS"

1. DESCRIPCIÓN DEL LOTE DE SEMILLAS

Description of the seed Lot:

NOMBRE BOTÁNICO

Botanical name:

Pinus oocarpa

NOMBRE COMÚN

Common Name:

PINO OCOTE

NUMERO DE IDENTIDAD

Identity Number:

H/6/17

AÑO DE COSECHA

Crop year:

2017

PROCEDENCIA

Provenance:

YAMARANGUILA

ORIGEN

Origin:

NATIVO

PESO (Kg.)

Amount (Kg.):

0.200 gramos

EMITIDO A

Issued to:

GEOFORESTAL

2 CALIDAD DE SEMILLA

Seed Quality:

PUREZA % Purity %:	<u>98.8</u>	OTRAS ESPECIES Other Species %:	<u>--</u>	IMPUREZAS % Impurities %:	<u>1.2</u>	HUMEDAD Moisture Content:	<u>9.7</u>
DAÑOS MECANICOS % Mechanical Damage %:	<u>0</u>	PESO 1000 SEMILLAS PURAS (Gr.) weight of 1000 pure seeds (Gr.):	<u>17.98</u>	VIGOR % Vigor %:	<u>91%</u>		
No. SEMILLAS CON IMPUREZAS /Kg Seed Number With Impurities / Kg:	<u>55,000</u>	No. SEMILLAS VIABLES /Kg. Number of viable seeds / Kg:	<u>52,000</u>				
VIABILIDAD % Viability %:	<u>99.4%</u>	POR By:	<u>INCISIÓN</u>				
Germinación % Germination %:	<u>95</u>	Frescas % Fresh %:	<u>0</u>	Anormales % Abnormals %:	<u>0</u>	Muertas % Dead %:	<u>5</u>
		Vacias % Empty %:	<u>0</u>				

3 TRATAMIENTO PRERGERMINATIVO:

Pre-germinative Treatment:

NINGUNO

4 TRATAMIENTO PREVENTIVO

Preventive Treatment:

NINGUNO

5 DECLARACIÓN ADICIONAL:

NINGUNO

for insect. 2. This seeds are not transgenic seed, they come from natural stands (see provenance certification)

6 OBSERVACIONES:

Observations: Ensayo de germinación en sustrato de arena, en incubadora a 30°C durante 8 horas con luz y 20°C durante 16 horas sin luz.

CERTIFICO QUE LOS DATOS ANTERIORES SON EXACTOS Y LOS ENSAYOS HAN SIDO REALIZADOS CONFORME A LAS REGLAS DE LA ASOCIACIÓN INTERNACIONAL PARA EL ENSAYO DE SEMILLAS (ISTA)

I certify that the above information is correct and the analysis were performed according to the rules of the International Seed Testing Association (ISTA).


Encargado del Laboratorio
Officer in Charge of the Laboratory
T.L. FAUSTO LORENZO

19 de febrero del 2019
FECHA (Date)

"MEJORES SEMILLAS SIGNIFICAN MEJORES BOSQUES"
"BETTER SEED MEANS BETTER FOREST"

Anexo 4. Ensayo experimental establecido



Anexo 5. Estructura del vivero forestal Zamorano en el que se estableció el ensayo



Anexo 6. Bandeja y tubetes utilizados



Anexo 7. Elaboración de los sustratos



Anexo 8. Registro de variables morfológicas



Anexo 9. Resultados del Coeficiente de correlación de Pearson

Variables	Coeficiente de correlación	Probabilidad
Altura- Contenido de turba	0.78	0.02
Altura- Peso seco de raíz	0.98	3.08491×10^{-06}
Peso seco de raíz-Diámetro	0.92	0.001