



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

Uso de sustratos orgánicos y fertilizantes de liberación controlada en la producción de *Pinus patula* en vivero

NICHDALI GUZMÁN MORALES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2017

La presente tesis titulada: **"Uso de sustratos orgánicos y fertilizantes de liberación controlada en la producción de *Pinus patula* en vivero"** realizada por la alumna: **Nichdali Guzmán Morales** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO 
DR. ARNULFO ALDRETE

ASESOR 
DR. JAVIER LÓPEZ UPTON

ASESOR 
DR. VÍCTOR MANUEL ORDAZ CHAPARRO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, julio de 2017

Uso de sustratos orgánicos y fertilizantes de liberación controlada en la producción de *Pinus patula* en vivero

Nichdali Guzmán Morales, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

Actualmente alrededor del 80 % de la producción de planta forestal que se produce en México se realiza en contenedor. Sustratos a base de turba de musgo han sido utilizados para la producción de planta forestal, sin embargo, el costo elevado y la baja disponibilidad de este insumo ha obligado a realizar investigaciones con materiales alternativos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de cuatro sustratos (S1= 1:1, aserrín y corteza; S2= 2:2:1, aserrín, corteza y lombricompost; S3= 1.5:1.5:2, aserrín corteza y lombricompost; S4= 3:1:1, turba de musgo, perlita y vermiculita) y tres dosis de fertilizante (3 g L^{-1} , 5 g L^{-1} y 7 g L^{-1}) Osmocote® Plus 15-9-12 de 8 a 9 meses de liberación en las características morfológicas y concentración de nutrimentos en el follaje de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.; también se valoró el costo del sustrato y las dosis de fertilizante por L. Se determinaron las características físicas y químicas de las cuatro mezclas y los tres materiales. La producción de planta se llevó a cabo en vivero de febrero a septiembre de 2016. Los resultados muestran que tres de los sustratos poseen características apropiadas para producir planta en contenedor, además, adicionando una dosis de 7 g L^{-1} a S1 y S2 se producen plantas con características morfológicas dentro de los estándares de calidad y a un menor costo, por tanto, pueden sustituir al sustrato convencional a base de turba de musgo.

Palabras clave: calidad de planta forestal, sustratos alternativos, lombricomposta, producción en vivero.

**Use of organic substrates and controlled release fertilizers in the production of *Pinus patula*
in nursery**

Nichdali Guzmán Morales, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

Currently about 80% of the production of forest plant that is produced in Mexico is made in container. Substrates based on peat moss have been used for the production of forest plant, however, the high cost and the low availability of this input has forced to carry out research with alternative materials. The objective of the present investigation was to evaluate the effect of four substrates (S1 = 1: 1, sawdust and bark, S2 = 2: 2: 1, sawdust, bark and lombricompost, S3 = 1.5: 1.5: 2, sawdust bark and lombricompost (3 g L⁻¹, 5 g L⁻¹ and 7 g L⁻¹) Osmocote® Plus 15-9-12 de 8 to 9 months of release on the morphological characteristics and nutrient concentration in the foliage of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. Et Cham .; The cost of the substrate and the doses of fertilizer per L. were also evaluated. The physical and chemical characteristics of the four mixtures and the three materials were determined. Plant production was carried out in nursery from February to September 2016. The results show that three of the substrates have suitable characteristics to produce plant in container, in addition, adding a dose of 7 g L⁻¹ to S1 and S2 produce plants with morphological characteristics within the quality standards and at a lower cost, therefore, they can substitute the conventional substrate based on peat moss.

Keywords: forest plant quality, alternative substrates, vermicompost, nursery production.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca concedida para realizar mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados y personal académico por enriquecer mi formación académica.

A los trabajadores del vivero Forestal Máximo Juárez, Alejandro Islas, Raúl López, Manuel Barrera, Lauro Franco, Rogelio, por su amistad y apoyo en la etapa de establecimiento del experimento.

Al M. en C. Manuel Aguilera, Ing. Ricardo Sánchez, Dra. Saraí Montes, M. en C. Nohemí Escamilla, M. en C. y M. en C. Sandra Garibay, por su amistad y apoyo en la etapa de evaluación del experimento.

A los trabajadores de los laboratorios de Física y Química de suelos, Carlos Jiménez, Oscar Ayala, Esmeralda Hernández, Silvia Ayala, Arturo Martínez y Melquisedec Reyes, por el aprecio y la asistencia durante la caracterización de sustratos.

Al Dr. Arnulfo Aldrete por su orientación y recomendaciones durante toda mi estancia en la maestría.

Al Dr. Javier López Upton por las observaciones que contribuyeron a elaborar el presente trabajo.

Al Dr. Víctor Manuel Ordaz Chaparro por sus indicaciones y sugerencias al realizar el presente trabajo.

Al Dr. Javier Suárez Espinoza por sus sugerencias oportunas y su amistad.

Al Dr. Miguel Ángel López López por sus consejos, apoyo y amistad.

DEDICATORIAS

A mis padres Ernesto Guzmán y Aurea Morales, quienes a pesar de las eventualidades nunca dejaron de incitarme a continuar con mis estudios.

A mi esposo Luis Fernando, por su cariño, apoyo y comprensión absoluta durante el tiempo juntos.

A mi hijo Fernando Khalid, que a pesar de su corta edad es lo suficientemente maduro para comprender mi ausencia y alentarme a continuar.

A mis hermanos Miguel, Yoshinkan, Ernesto y Meritxell, quienes me animaron a esforzarme.

A Herminio Antonio, Isabel Solano, Isabel Durán, Abraham Antonio y Viviana Antonio, quienes siempre han sido un apoyo.

A mis amigos y compañeros del Colegio de Postgraduados.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPÍTULO II.	3
REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Aspectos generales de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	3
2.1.1 Características morfológicas	3
2.1.2 Distribución.....	3
2.1.3 Importancia.....	4
2.2 Características morfológicas y calidad de planta	4
2.3 Sustratos en la producción de planta forestal	5
2.4 Fertilización y fertilizantes de liberación controlada	7
CAPÍTULO III.	9
EFFECTO DEL SUSTRATO Y DOSIS DE FERTILIZANTE EN LA PRODUCCIÓN DE <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.....	9
RESUMEN.....	9
3.1 INTRODUCCIÓN	10
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.2.1 Área de estudio.....	12
3.2.2 Insumos utilizados.....	12
3.2.3 Establecimiento del experimento	13
3.2.4 Diseño experimental y análisis estadístico	15
3.2.5 Determinación de costo	15
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
3.3.1 Variables morfológicas	16
3.3.2 Concentración de nutrimentos en el follaje.....	22

3.4 CONCLUSIONES	25
CAPÍTULO IV.....	27
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUSTRATOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA FORESTAL.....	27
RESUMEN.....	27
4.1 INTRODUCCIÓN	28
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS	29
4.2.1 Preparación de sustratos	29
4.2.2 Análisis físicos	29
4.2.2.1 Porosidad.....	29
4.2.2.2 Densidad aparente	30
4.2.2.3 Granulometría.....	30
4.2.2.4 Curvas de liberación de agua.....	31
4.2.3 Análisis químicos	31
4.2.3.1 pH y conductividad eléctrica.....	31
4.2.3.2 Capacidad de intercambio catiónico.....	32
4.2.3.3 Materia orgánica y carbono orgánico	32
4.2.3.4 Nitrógeno total.....	32
4.2.3.5 Relación C:N.....	33
4.2.3.6 Fósforo	33
4.2.3.7 Potasio	33
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.3.1 Características físicas	33
4.3.1.1 Porosidad.....	33
4.3.1.2 Densidad aparente	35
4.3.1.3 Granulometría.....	36
4.3.1.4 Curvas de liberación de agua.....	41
4.3.2 Características químicas	46

4.3.2.1 pH y Conductividad eléctrica.....	46
4.3.2.2 Capacidad de intercambio catiónico.....	46
4.3.2.3 Materia orgánica y Carbono orgánico.....	47
4.3.2.4 Relación C:N.....	48
4.3.2.5 Concentración de N, P y K.....	48
4.4 CONCLUSIONES.....	49
CAPÍTULO V.....	51
LITERATURA CITADA.....	51

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Sustrato y dosis de fertilizante correspondiente a cada tratamiento para la producción de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.....	14
Cuadro 2. Valores de significancia para las variables morfológicas de plántulas de siete meses de edad de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	16
Cuadro 3. Valores promedio de las variables morfológicas de plántulas de siete meses de edad de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham. de cada tratamiento.	20
Cuadro 4. Valores de significancia en la concentración de nutrimentos en el follaje de plántulas de siete meses de edad de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	22
Cuadro 5. Medias estadísticas de la concentración de nutrimentos en el follaje de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.....	24
Cuadro 6. Costo de sustrato con fertilizante utilizados en la producción de plántulas de siete meses de edad de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	25
Cuadro 7. Proporción de materiales de los sustratos utilizados en la producción de plantas de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	29
Cuadro 8. Características químicas de los sustratos utilizados en la producción de planta forestal.....	47
Cuadro 9. Características químicas y concentración de nutrimentos de los sustratos utilizados en la producción de planta forestal.....	49

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Tendencia de las diferentes proporciones de lombricomposta en las distintas dosis de fertilizante de la variable altura de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. 18
- Figura 2.** Tendencia de las diferentes proporciones de lombricomposta en las distintas dosis de fertilizante de la variable diámetro de plántulas de siete meses de edad de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. 18
- Figura 3.** Tendencia de las diferentes proporciones de lombricomposta en las distintas dosis de fertilizante de la variable índice calidad de Dickson de plántulas de siete meses de edad de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. 19
- Figura 4.** Porcentajes de porosidad presentes en los diferentes sustratos utilizados en la producción de planta forestal. S1 = aserrín y corteza (1:1); S2 = aserrín, corteza y lombricomposta (2:2:1); S3 = aserrín, corteza y lombricomposta (1.5:1.5:2); S4 = turba de musgo, perlita y vermiculita (3:1:1), A = aserrín; C = corteza; L = lombricomposta; PA = porosidad de aireación; PRH = porosidad de retención de humedad. 34
- Figura 5.** Densidades de los sustratos y materiales individuales utilizados en la producción de planta forestal. S1 = aserrín y corteza (1:1); S2 = aserrín, corteza y lombricomposta (2:2:1); S3 = aserrín, corteza y lombricomposta (1.5:1.5:2); S4 = turba de musgo, perlita y vermiculita (3:1:1), A = aserrín; C = corteza; L = lombricomposta. 36
- Figura 6.** Distribución de partículas presentes en el sustrato S1 utilizado en la producción de planta forestal. et Cham. S1 = aserrín 50 % y corteza 50 %. 37
- Figura 7.** Distribución de partículas presentes en el sustrato S2 utilizado en la producción de planta forestal. S2 = aserrín 40 %, corteza 40 % y lombricomposta 20%. 38
- Figura 8.** Distribución de partículas presentes en el sustrato S3 utilizado en la producción de planta forestal. S3 = aserrín 30 %, corteza 30 % y lombricomposta 40%. 38
- Figura 9.** Distribución de partículas presentes en el sustrato S4 utilizado en la producción de planta forestal. S4 = turba de musgo 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 % 39
- Figura 10.** Distribución de partículas presentes en el aserrín utilizado para elaborar las diferentes mezclas usadas en la producción de planta forestal. 40

Figura 11. Distribución de partículas presentes en la corteza compostada utilizada para elaborar las diferentes mezclas usadas en la producción de la producción de planta forestal.....	40
Figura 12. Distribución de partículas presentes en la lombricomposta utilizado para elaborar las diferentes mezclas usadas en la producción de planta forestal.....	41
Figura 13. Curva de liberación del sustrato S1 usado en la producción de planta forestal. S1 = aserrín 50% y corteza 50 %; EPT = espacio poroso total; AFD = agua fácilmente disponible; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible.....	42
Figura 14. Curva de liberación del sustrato S2 usado en la producción de planta forestal. S2 = aserrín 40%, corteza 40 % y lombricomposta 20 %; EPT = espacio poroso total; AFD = agua fácilmente disponible; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible.....	43
Figura 15. Curva de liberación del sustrato S3 usado en la producción de planta forestal. S3 = aserrín 30%, corteza 30 % y lombricomposta 40 %; EPT = espacio poroso total; AFD = agua fácilmente disponible; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible.....	43
Figura 16. Curva de liberación del sustrato S4 usado en la producción de planta forestal. S4 = turba de musgo 60%, perlita 20 % y vermiculita 20 %; EPT = espacio poroso total; AFD = agua fácilmente disponible; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible.....	44
Figura 17. Curva de liberación del aserrín usado en la producción de planta forestal. EPT = espacio poroso total; AFD = agua fácilmente disponible; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible.....	44
Figura 18. Curva de liberación de la corteza usada en la producción de planta forestal. EPT = espacio poroso total; AFD = agua fácilmente disponible; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible.....	45
Figura 19. Curva de liberación de la lombricomposta usada en la producción de planta forestal. EPT = espacio poroso total; AFD = agua fácilmente disponible; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible.....	45

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción de planta forestal en los viveros, está enfocada en generar plantas con características idóneas para favorecer su supervivencia en campo. Los atributos de las plantas que usualmente se valoran son morfológicos, sin embargo, también es importante la valoración de características fisiológicas. Ambas propiedades están ligadas al uso de un conjunto de insumos y prácticas culturales, entre los cuales destacan el tipo y tamaño de envase, el sustrato, la fertilización, y el riego (Duryea, 1985; Prieto-Ruíz *et al.*, 2004).

El uso de fertilizantes hidrosolubles y suelo natural han resultado ineficientes en la producción de planta forestal en contenedor. Por un lado, el uso de fertilizantes hidrosolubles en sincronía con un riego abundante provoca la pérdida de nutrientes por lixiviación; además, es común que la cantidad de agua aplicada por planta no sea homogénea ocasionando una gran variación en la producción. Por otra parte, el suelo no es el material adecuado para producir plantas en espacio restringido, puesto que las características físicas se modifican y el espacio limitado resulta desfavorable para el desarrollo de la raíz y el crecimiento de la planta (Prieto-Ruíz *et al.*, 2009; Salto *et al.*, 2016).

A causa de la problemática antes mencionada se han realizado investigaciones referentes al uso con éxito de fertilizantes de liberación controlada y sustratos alternativos con diversas especies forestales, puesto que ambos elementos poseen las ventajas de reducir los costos de producción y producir plantas de alta calidad (Reyes-Reyes *et al.*, 2005; Mateo-Sánchez *et al.*, 2011; Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016a).

El uso de materiales como aserrín y corteza de pino en la formulación de sustratos han resultado eficientes (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016a). Sin embargo, también existen materiales de desecho agrícola y pecuario que después de un proceso de compostaje pueden ser usados como abono orgánico y ser una fuente adicional de nutrimentos, además, de mejorar las características físicas y químicas del sustrato.

La presente investigación tuvo como objetivo general evaluar el efecto de materiales orgánicos (aserrín, corteza y lombricomposta) como sustrato y tres dosis de fertilizante de liberación controlada en el crecimiento y calidad de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. *et* Cham., especie de rápido crecimiento e importancia maderable.

El presente trabajo incluye una revisión de literatura que se aborda en el Capítulo II. El tema de variables morfológicas, concentración de nutrimentos y calidad de planta es incluido en el Capítulo III. Además en el Capítulo IV se desarrolla el contenido relacionado con las características físicas y químicas de los sustratos y materiales empleados en la producción de plantas de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. *et* Cham.

CAPÍTULO II.

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aspectos generales de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

2.1.1 Características morfológicas

Pinus patula también conocido como pino colorado, pino rojo o jalocote es un árbol con fuste recto que logra alturas de 35 a 40 m y diámetros de hasta 1 m (Narave-Flores y Taylor, 1997; Eckenwalder, 2009). Los árboles maduros presentan una corteza gruesa en la parte inferior del tronco pero se vuelve delgada a una altura aproximada de 4 m. Sus hojas son caídas y están formadas de 3 a 5 fascículos. La coloración de las acículas son de color verde pálido a verde amarillento (Perry, 1991).

Los conos son de color marrón brillante o amarillento y maduran entre los meses de noviembre y enero. Son conos serótinos y poseen una longitud de 7 a 10 cm. Las semillas son de color marrón oscuro de 5 mm de longitud con un ala de 17 mm de largo (Perry 1991).

2.1.2 Distribución

P. patula crece en la Sierra Madre Oriental en la parte este de México, entre las latitudes 18° y 24° N (Dvorak, 2002). Se han reportado poblaciones en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Querétaro, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Tlaxcala y el estado de México. Las poblaciones se desarrollan en altitudes de 1500 a 3100 m en ambientes cálido-húmedos con precipitaciones anuales de 1000 a 1500 mm, con temperaturas fluctuantes entre los 12 y 18 °C (Perry, 1991).

P. patula crece en suelos de tipo acrisoles y luvisoles, con gran cantidad de materia orgánica y un pH de 5.0 a 5.5 (Vela-Gálvez, 1980). Esta especie crece en rodales puros y en ocasiones en asociación con *P. teocote* Schiede ex Schltdl. & Cham., *P. greggii* var. *australis* Donahue & López,

P. maximinoi H. E. Moore, *P.pseudostrobus* Lindl. o *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. (Perry, 1991).

2.1.3 Importancia

Por su amplia distribución *P. patula* ha sido utilizado en reforestaciones intensivas, además, el rápido crecimiento y alto rendimiento de esta especie ha favorecido su uso maderable. La madera de *P. patula* es usada para construcciones, maderas talladas, postes, leña y obtención de carbón (Narave-Flores y Taylor, 1997; Gómez *et al.*, 2012). El alto contenido de celulosa que posee permite elaborar cartón y papel a partir de su pulpa (Perry, 1991; Gómez *et al.*, 2012).

2.2 Características morfológicas y calidad de planta

De acuerdo con Duryea (1985), planta de calidad es aquella que sobrevive y se desarrolla adecuadamente en su establecimiento final, dado que posee características fisiológicas y morfológicas que así lo permiten. Los valores adecuados en ambos tipos de variables aumentan la probabilidad de supervivencia de las plantas en campo (Thompson, 1985; Prieto-Ruíz *et al.*, 2003; Rodríguez-Trejo, 2008).

Las variables fisiológicas evaluadas con mayor frecuencia son la latencia de las yemas, la resistencia al frío, el contenido de humedad, el contenido de carbohidratos, el movimiento del agua, la tolerancia a la sequía, la fotosíntesis neta, la micorrización y el potencial de crecimiento radical; mientras que las variables morfológicas más comunes son la altura, el diámetro del cuello de la raíz, el volumen del sistema radical, peso seco aéreo y radical, y peso seco total (Prieto-Ruíz *et al.*, 2003).

Las variables morfológicas son las más utilizadas para determinar la calidad de la planta producida, esto debido a la fácil obtención de datos. Sin embargo, es importante tomar en cuenta

características fisiológicas, sanitarias y genéticas para aumentar las probabilidades de éxito en la plantación (Villar-Salvador, 2003; Morales-González *et al.*, 2013, García-Pérez *et al.*, 2015)

Los insumos y prácticas culturales en el vivero como el sustrato, el tipo y tamaño de contenedor, el riego y la fertilización influyen en las variables fisiológicas y morfológicas antes mencionadas y por tanto en el desempeño en campo de las plantas producidas en vivero (Prieto-Ruíz *et al.*, 2004; Prieto-Ruíz *et al.*, 2007).

2.3 Sustratos en la producción de planta forestal

El uso de contenedores con suelo natural para la producción de plantas no es adecuado. El espacio restringido del contenedor y las características físicas y químicas inapropiadas del suelo limitan el crecimiento de la planta. Ante esta problemática ha surgido la necesidad de utilizar materiales diferentes del suelo natural, que posean características óptimas para el crecimiento y desarrollo de las plantas en un espacio limitado (Salto *et al.* 2016).

Todo material sólido ajeno al suelo natural, que solo o en combinación con otros materiales es colocado en envases para la producción de planta se conoce como sustrato. Los sustratos pueden ser clasificados en naturales o sintéticos, minerales u orgánicos y químicamente inertes o activos. Dichos materiales proveen agua, oxígeno y en ocasiones nutrientes a la planta (Dewayne *et al.*, 1993; Abad y Noguera, 1997).

Las características de un sustrato se pueden clasificar en físicas, químicas y biológicas. Las características físicas incluyen la densidad aparente que es la relación entre el peso seco del sustrato y el volumen; distribución de tamaño de partículas; la porosidad de aireación, que equivale al porcentaje de macroporos originados por las partículas grandes; la porosidad de retención de

agua que corresponde al porcentaje de microporos generados por partículas pequeñas y que son capaces de retener agua después de drenado el sustrato (Burés, 1997).

Las variables químicas más usuales para caracterizar un sustrato son el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la conductividad eléctrica, el contenido de nutrimentos y la relación C:N. El contenido de materia orgánica y la velocidad de descomposición son algunas de las características biológicas que se estudian a los sustratos (Ansorena, 1994; Burés, 1997).

No existe un sustrato ideal, las características propias del sustrato dependerán de los requerimientos de la especie. En general, un sustrato adecuado debe poseer la capacidad de retener la suficiente cantidad de agua que requiere la planta entre lapsos de riego; espacio poroso suficiente para facilitar el intercambio de oxígeno y bióxido de carbono; densidad aparente que facilite el manejo y mantenga a la planta de forma vertical; capacidad de retener nutrimentos; un pH que permita el desarrollo eficiente de la planta y estabilidad biológica. Además de las características físicas y químicas, es importante utilizar materiales de bajo costo, disponibles y de fácil manejo (Landis *et al.*, 1990; Dewayne *et al.*, 1993; Burés, 1997).

En la producción de planta forestal se han utilizado diversos materiales de desecho o residuales de la industria forestal. Se ha comprobado que la combinación de aserrín y corteza de pino en diferentes proporciones logran características físicas y químicas similares a mezcla convencional a base de turba de musgo, perlita y vermiculita en proporción 3:1:1 (Sánchez-Córdova *et al.*, 2008).

Especies como *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* (Reyes-Reyes *et al.*, 2005); *Cedrela odorata* L. (Mateo-Sánchez *et al.*, 2011); *Pinus greggii* Engelm. (Maldonado-Benítez *et al.*, 2011); *Pinus montezumae* Lambert (Hernandez-Zarate *et al.*, 2014; Aguilera-Rodríguez *et al.* 2016a);

Pinus pseudostrobus Lindl. (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016b) se han producido de manera adecuada en sustratos con un porcentaje igual o superior al 60 % de aserrín.

El uso de lombricomposta en la producción de planta forestal es escasa, sin embargo, existen estudios que demuestran que su uso puede mejorar la velocidad de germinación en especies como *Pinus rudis* Endl. y mejorar la fase de crecimiento inicial en *P. rudis* y *P. oaxacana* Mirov (Altamirano-Quiroz y Aparicio-Rentería, 2002). También en especies como *Cedrela fissilis* Vell., se ha demostrado que el uso de lombricompost mejora el incremento en altura, el diámetro, la supervivencia y el rebrote de las plantas (Quevedo-Guevara, 1993).

2.4 Fertilización y fertilizantes de liberación controlada

La fertilización influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas, afectando tanto parámetros fisiológicos como morfológicos (Landis, 1989). El nivel de fertilización debe ser de acuerdo a la demanda de nutrientes de la planta durante su desarrollo (Álvarez *et al.*, 1999). Sin embargo, altas tasas de fertilización pueden causar problemas como desperdicio de nutrientes, inhibición del crecimiento de raíz, crecimiento desproporcionado de la planta y toxicidad (Landis, 1989).

Los fertilizantes de liberación controlada, son fertilizantes sólidos que contienen N, P y K, en algunos casos combinados con Ca, Cu, Fe, Mg, S, B, Mo, Mn y Zn. Su envoltura de resina o polímeros, permite el paso del agua hacia el interior para disolver los nutrimentos y ser liberados paulatinamente (Landis, 1989; Rose *et al.*, 2004).

La liberación de los nutrimentos está ligada a factores como el tipo de producto, la humedad y la temperatura, por tanto, un descontrol en estos factores puede provocar una liberación de nutrimentos diferente a la esperada. Su lenta liberación evita la pérdida de nutrimentos por

lixiviación y por ello reduce su impacto negativo en el ambiente. Además existe una entrega constante de nutrientes por un lapso prolongado, por lo que se pueden reducir costos en mano de obra (Rose *et al.*, 2004; Vande-Hey, 2007; Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016a).

Actualmente existen una variedad de formulaciones y tiempos de liberación de este tipo de fertilizantes, que pueden ser combinadas entre si y modificar la concentración de nutrientes disponibles. La practicidad hace posible su manejo y empleo en la producción de plantas en vivero y en algunos casos directamente al suelo donde serán establecidas las plantas (Landis y Dumroese, 2009; Reyes-Millalón *et al.*, 2012; Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016b).

El uso de Osmocote® Plus (15-9-12) y Basacote® Plus (16-8-12) con 12 y 9 meses de liberación, en una dosis alta (30 kg m^{-3}) y media (20 kg m^{-3}), generaron plantas con mayor altura, diámetro y biomasa aérea en plantas de *Tectona grandis* L. (Escamilla-Hernández *et al.*, 2015).

Dosis de 8 g L^{-1} Basacote® Plus (16-8-12 + Microelemento), Osmocote® Plus (15-9-12 + Microelementos) y Multicote® (18-6-12 + 2 Mg + Microelementos) han sido suficientes para la producción de *Pinus montezumae* Lambert (Aguilera-Rodríguez *et al.* 2016a).

CAPÍTULO III.

EFFECTO DEL SUSTRATO Y DOSIS DE FERTILIZANTE EN LA PRODUCCIÓN DE

Pinus patula Schiede ex Schltdl. et Cham.

RESUMEN

Los fertilizantes de liberación controlada y el uso de residuos orgánicos provenientes de la agricultura e industria forestal son una alternativa para producir planta a un menor costo. Se probaron cuatro mezclas de sustratos y tres dosis de fertilizante de Osmocote plus® 15-9-12 de 8 a 9 meses de liberación para la producción de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en vivero. El objetivo de esta etapa fue determinar el efecto del sustrato y la dosis de fertilización en la calidad de planta. Se encontraron diferencias significativas en los factores sustrato, fertilizante y la interacción entre ambos factores en las variables morfológicas. El tratamiento testigo (Turba de musgo, perlita y vermiculita 3:1:1 con 5 g/L de fertilizante) presentó los valores mayores en todas las variables morfológicas, sin embargo, el tratamiento 7 (aserrín, corteza y lombricomposta 2:2:1) y 8 (aserrín con corteza 1:1), ambos con una dosis alta de fertilizante, produjeron plantas de características similares al testigo, mostrando que pueden sustituir a los materiales convencionales. El costo de los sustratos alternativos resultó ser aproximadamente tres veces menor que el sustrato convencional. El aumento de la dosis de fertilizante no incrementó en forma significativa la concentración de N, P y K en el follaje. No obstante, se encontraron mayores concentraciones de N a medida que se incrementó la proporción de lombricomposta.

Palabras clave: Calidad de planta, lombricomposta, concentración de nutrimentos, morfología.

3.1 INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales con fines de restauración y conservación son una alternativa para contribuir en la solución de la pérdida de superficie forestal. La preparación del suelo, los nutrientes disponibles, las condiciones ambientales, la procedencia y calidad de la planta son factores que contribuyen al éxito o fracaso de la plantación, este último reflejado en la alta tasa de mortalidad y el pobre desarrollo de las plantas (Leonardo-Lugo *et al.*, 2006; Navarro-Sandoval, 2013; Morales-González *et al.*, 2013).

La calidad de planta comprende características fisiológicas y morfológicas que en interacción con el ambiente le permiten sobrevivir y desarrollarse en su establecimiento final (Duryea, 1985). La altura, el diámetro y la concentración de nutrientes son algunas de las características evaluadas para estimar el porcentaje de supervivencia de las plantas establecidas en campo (Rodríguez-Trejo y Duryea, 2003; Prieto-Ruíz *et al.*, 2007).

Las prácticas culturales e insumos utilizados influyen en las características de la planta producida en vivero (García-Pérez *et al.*, 2015; Basave-Villalobos *et al.*, 2016). El uso de sustratos y fertilizantes adecuados proveen a la planta el soporte, la humedad y los nutrientes necesarios. Ambos elementos influyen en las variables morfológicas y fisiológicas para la obtención de individuos dentro de los estándares recomendados (Landis, 1989; Landis, 1990).

En los viveros forestales tecnificados el sustrato más frecuente es una mezcla de turba de musgo, vermiculita y perlita (Prieto-Ruíz *et al.*, 2007; Rueda-Sánchez *et al.*, 2014) y la fertilización se realiza principalmente mediante la aplicación de fertilizantes hidrosolubles en el riego. El alto valor de la turba de musgo y la pérdida de nutrientes, por una inapropiada técnica de fertilización, hace necesaria la búsqueda de materiales alternativos, accesibles y menos costosos, que permitan obtener plantas de calidad similar a un menor precio (Reyes-Millalón *et al.*, 2012).

Ante esta problemática se han realizado investigaciones enfocadas a la evaluación de fertilizantes eficientes y de materiales provenientes de residuos de la agricultura y la explotación forestal (Sánchez-Córdova *et al.*, 2008).

La información del uso de lombricomposta en el área forestal es escasa. Se ha demostrado que la adición de lombricomposta en el establecimiento en campo de *Cedrela odorata* L. aumenta el diámetro y la altura, y disminuye el porcentaje de mortalidad (Quevedo-Guevara, 1993). Altamirano-Quiroz y Aparicio-Rentería (2002) encontraron que el uso de lombricompost ayuda al crecimiento inicial de *Pinus oaxacana* Mirov y *P. rudis* Endl. La lombricomposta como parte del sustrato favorece el porcentaje de germinación, el crecimiento inicial y la biomasa en plantas de caoba (Retureta-Aponte *et al.*, 2014).

Los sustratos a base de aserrín con fertilizantes de liberación controlada han permitido la producción de plantas de *Pinus montezumae* Lambert dentro de los estándares de calidad establecidos por la CONAFOR (Hernandez-Zarate *et al.*, 2014; Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016a). Maldonado-Benítez *et al.* (2011) produjeron plantas de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. con resultados adecuados usando como sustrato una mezcla de aserrín y corteza en proporción 4:1.

El uso de materiales orgánicos provenientes de residuos industriales maderables como la corteza y el aserrín ofrecen una alternativa económica y de fácil adquisición para sustituir los sustratos convencionales (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016a), mientras que el uso de lombricomposta ofrece una posibilidad de disminuir el uso de fertilizantes y reducir costos en la producción de planta de calidad.

El objetivo de la presente investigación fue determinar si el uso de sustratos a base de aserrín y corteza, complementados con lombricomposta y diferentes dosis de fertilizante de liberación

controlada favorecen la producción de plantas de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. dentro de los estándares de calidad. Además de estimar si el uso de materiales residuales disminuyen el costo de producción en comparación con la mezcla tradicional.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Área de estudio

El experimento se realizó en el vivero del Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México (19° 29' N y 98° 54' O, altitud de 2250 m); el clima corresponde a templado con lluvias en verano, temperatura media anual de 15.3 °C y precipitación promedio al año de 659 mm.

3.2.2 Insumos utilizados

Semilla de *Pinus patula* procedente del ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla y contenedores de plástico con 25 tubetes negros intercambiables de 220 mL cada uno se usaron para la producción de planta.

Cuatro mezclas de sustratos se evaluaron: S1, compuesto de aserrín de pino y corteza de pino compostada (1:1); S2, mezcla de aserrín de pino, corteza de pino compostada y lombricomposta (2:2:1); S3, compuesto de aserrín de pino, corteza de pino compostada y lombricomposta (1.5:1.5:2) y S4, combinación de turba de musgo, vermiculita y perlita (3:1:1).

Tres dosis de fertilizante de liberación controlada Osmocote plus® 15-9-12 (8.4% nitrógeno amoniacal, 6.6% nitrógeno nítrico, 9% P₂O₅ y 12% K₂O), con tiempo de liberación entre ocho y nueve meses a una temperatura media de 21 °C se emplearon para la producción de *Pinus patula*. Las tres dosis se clasificaron como: baja (3 g L⁻¹), media (5 g L⁻¹) y alta (7 g L⁻¹).

3.2.3 Establecimiento del experimento

El experimento se estableció durante la primera semana de febrero 2016 y la evaluación final se realizó durante la última semana de septiembre del mismo año. La combinación de ambos factores de estudio (sustratos y dosis de fertilizante) generó 12 combinaciones. Se evaluaron 10 de las 12 combinaciones posibles, puesto que la mezcla S4 sólo se combinó con una dosis media de fertilizante que sirvió como testigo, por ser la más utilizada en los viveros forestales (Cuadro 1). Todos los tratamientos incluyeron cuatro repeticiones y las unidades experimentales consistieron de 25 plantas.

Las semillas se remojaron en agua durante 16 h para homogeneizar la germinación y separar las semillas vanas de las llenas por el método de flotación. Posteriormente las semillas llenas se desinfectaron con cloro comercial a 5% durante 5 min. La siembra se realizó a una profundidad aproximada de 0.5 cm en cada cavidad. Durante dos semanas se regó diariamente de manera similar para todas las unidades experimentales; enseguida de la emergencia de las plántulas, el riego se aplicó cada que se requirió.

La medición de las variables se realizó la última semana de septiembre de 2016. Se tomaron 12 plantas por repetición (48 por tratamiento). Se lavó el cepellón de cada una para liberar el sustrato, después cada cepellón se colocó sobre papel absorbente para retirar el exceso de humedad. La altura se evaluó con una regla graduada, la medición se hizo de la base del tallo a la punta de la yema apical. El diámetro se midió en la base del tallo con un vernier digital. En esta misma zona se realizó un corte para separar la parte aérea de la raíz, cada segmento se colocó por separado en bolsas de papel estraza previamente etiquetadas. Estas se colocaron en un horno de secado a 70 °C, durante 72 h, para luego pesarse en una balanza digital, para determinar el peso seco aéreo

(PSA) y el peso seco radical (PSR), la sumatoria de ambos valores permitió obtener el peso seco total (PST).

Cuadro 1. Sustrato y dosis de fertilizante correspondiente a cada tratamiento para la producción de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

Tratamiento	Composición del sustrato (%)			Dosis de fertilizante (g/L)
	Aserrín	Corteza	Lombricompost	
1	50	50	0	3
2	40	40	20	3
3	30	30	40	3
4	50	50	0	5
5	40	40	20	5
6	30	30	40	5
7	50	50	0	7
8	40	40	20	7
9	30	30	40	7
	Turba de musgo	Perlita	Vermiculita	
10	60	20	20	5

El índice de robustez (IR) se calculó como el cociente de la altura (cm) entre el diámetro (mm). La relación del peso seco de la parte aérea y la radical (PSA/PSR) se determinó como resultado de la división de PSA entre PSR. El valor del índice de calidad de Dickson (ICD) se calculó dividiendo PST entre el resultado de la suma de IR más PSA/PSR.

Tres muestras compuestas de follaje anhidro de cada tratamiento se usaron para determinar la concentración de nutrientes. Las muestras se analizaron en el laboratorio de Nutrición Vegetal Salvador Alcalde Blanco, del Colegio de Postgraduados.

3.2.4 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 3×3 (tres sustratos y tres dosis de fertilizante). El modelo correspondiente a este diseño fue: $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$, donde Y_{ijk} es la variable de respuesta, μ la media general, A el efecto del sustrato, B el efecto de la dosis de fertilizante y ε_{ijk} el error experimental. Para el análisis de los 10 tratamientos incluyendo el testigo, se utilizó el modelo $Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$, donde Y_{ij} es la variable de respuesta, μ la media general, T_i el efecto del tratamiento y ε_{ij} el error experimental.

Se realizó un análisis de varianza mediante el procedimiento Proc GLM con el paquete estadístico SAS[®] versión 9.0. Las variables que resultaron ser significativas, se sometieron a la prueba de comparación de medias de Tukey.

3.2.5 Determinación de costo

El costo por sustrato y fertilizante se calculó a partir del promedio de cuatro cotizaciones de distintos distribuidores. Los precios de ambos insumos se solicitaron con el importe del flete. El volumen total por cavidad se determinó a partir de los 220 mL más un 20 % adicional por efecto de la compactación del sustrato al momento de llenar los contenedores, la estimación de fertilizante se realizó de acuerdo al volumen de sustrato. Los costos se manejaron en dólares.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Variables morfológicas

El análisis de varianza en las plantas a los siete meses de edad mostró diferencias estadísticas significativas para todas las variables morfológicas en los factores sustrato, fertilizante y la interacción entre ambos factores (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores de significancia para las variables morfológicas de plántulas de siete meses de edad de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

FV*	GL	Altura	Diámetro	PSA	PSR	PST	IR	PSA/PSR	ICD
S	2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0019
F	2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
S*F	4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

*FV = Factor de variación; S = Sustrato; F = Dosis de fertilizante; GL = Grados de libertad, para el error = 423 y el total = 431; PSA = Peso seco aéreo; PSR = Peso seco radical; PST = Peso seco total; IR = Índice de robustez; PSA/PSR = Relación entre el peso seco aéreo y el peso radical; ICD = Índice de calidad de Dickson; S*F = Interacción entre el factor sustrato y el factor dosis de fertilizante.

Por consiguiente, los dos factores se sometieron a una prueba de comparación de medias. El sustrato S3 produjo plantas más altas (22.6 cm). Este resultado es similar a los encontrado por Altamirano-Quiroz y Aparicio-Rentería (2002) quienes determinaron que la adición de lombricomposta al sustrato en porcentajes de 20% a 50% favorece el crecimiento en altura de *Pinus oaxacana* Mirov. Sin embargo, el sustrato S3 generó plantas estadísticamente iguales en las variables diámetro (S3 = 3.5 mm; S2 = 3.4 mm), PSA (S3 = 2.5 g; S2 = 2.4 g) y PST (S3 = 3.5 g; S2 = 3.5 g) en comparación con el sustrato S2. No obstante, S2 produjo plantas con PSR superior (1.1 g) existiendo diferencias significativas con S3 (1.0 g) y S1 (1.0 g).

Los valores mayores de IR (6.49) y PSA/PSR (2.42) se obtuvieron con S3, mostrando menor balance entre la parte aérea y raíz. Se considera que S1 (IR = 5.6; PSA/PSR = 2.0) fue el mejor sustrato en ambas variables puesto que se obtuvieron plantas proporcionadas y robustas. Para la variable ICD, el valor más alto se obtuvo con S2 (0.43), seguido de S1 (0.40) y S3 (0.39), siendo estas últimas estadísticamente iguales.

La dosis alta de fertilizante (7 g/L) produjo valores superiores en las variables altura (24.6 cm), diámetro (3.7 mm), PSA (3.0 g), PSR (1.2 g), PST (4.2 g) e ICD (0.46). No obstante la dosis alta generó plantas más desequilibradas (PSA/PSR = 2.5) y esbeltas (IR = 6.6) en comparación con la dosis baja de fertilizante (3 g/L). Los resultados obtenidos del factor dosis de fertilizante, coinciden con lo encontrado por Oliet *et al.* (1999) quienes concluyen que hay un aumento en las variables morfológicas de acuerdo con el incremento de la dosis de fertilizante aplicada.

La existencia de la interacción demostró que no todos los niveles del factor sustrato siguieron la misma tendencia en las distintas dosis de fertilizante. El aumento de la dosis de fertilizante originó un aumento en el valor de altura de la planta sin importar el sustrato usado (Figura 1). De manera similar la variable diámetro presentó los valores mayores con una dosis alta de fertilizante (Figura 2). Los sustratos compuestos por 0 y 20 % de lombricomposta tuvieron un aumento en el ICD con el incremento de la dosis de fertilizante. En cambio, las plantas con el sustrato compuesto por 40 % de lombricomposta tuvieron valores estadísticamente iguales entre dosis de fertilizante (Figura 3).

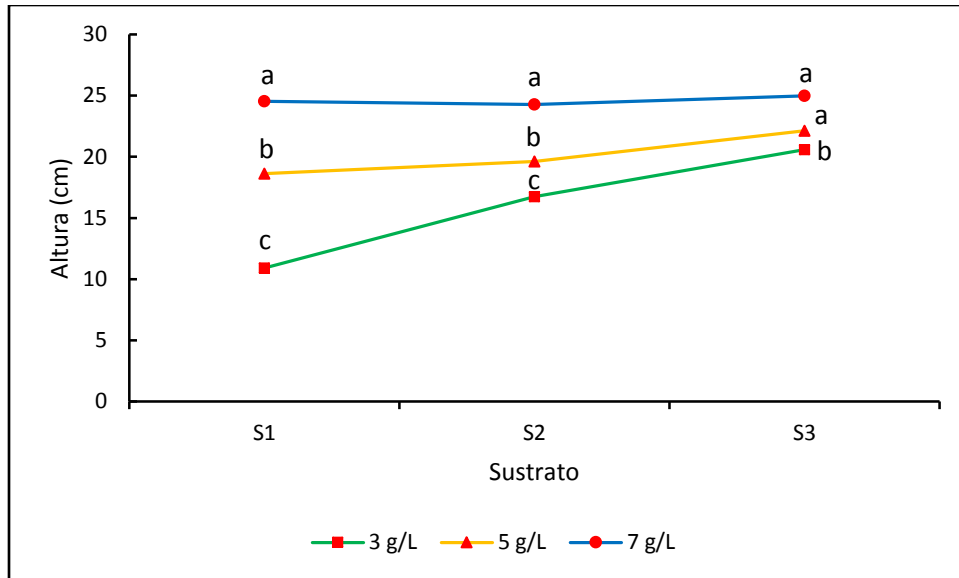


Figura 1. Tendencia de las diferentes proporciones de lombricomposta en las distintas dosis de fertilizante de la variable altura de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

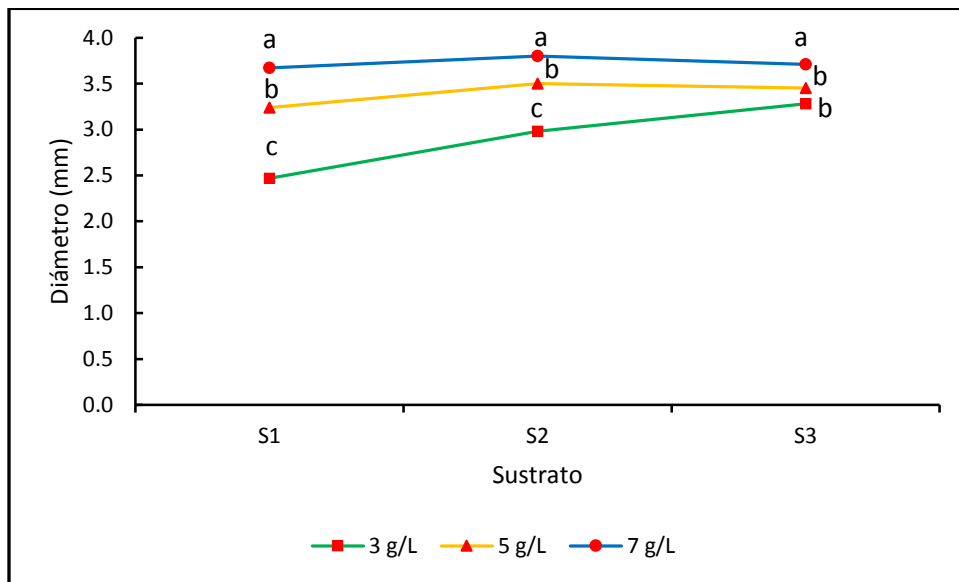


Figura 2. Tendencia de las diferentes proporciones de lombricomposta en las distintas dosis de fertilizante de la variable diámetro de plántulas de siete meses de edad de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

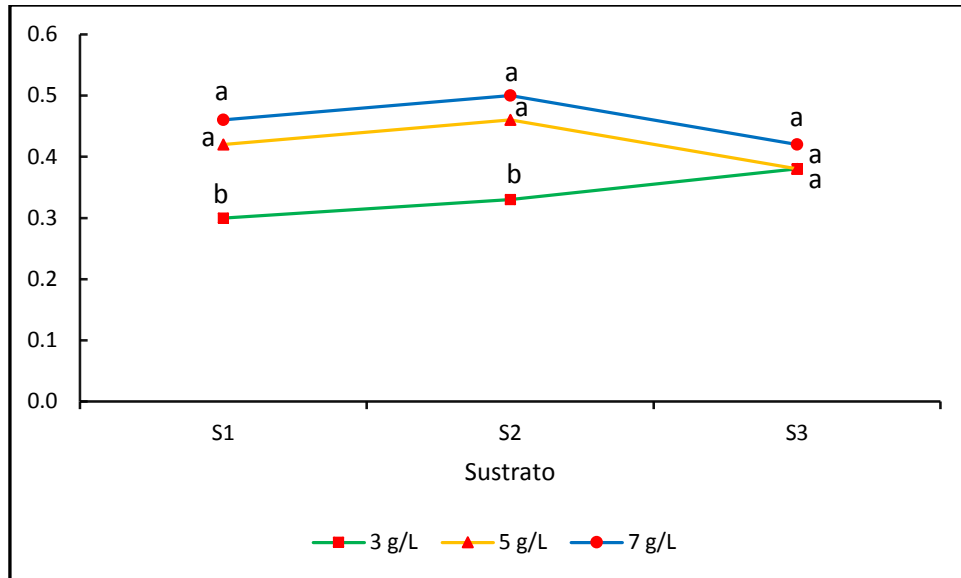


Figura 3. Tendencia de las diferentes proporciones de lombricomposta en las distintas dosis de fertilizante de la variable índice calidad de Dickson de plántulas de siete meses de edad de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

El análisis de varianza para comparar los 10 tratamientos indicó que existen diferencias significativas en todas las variables morfológicas (Cuadro 3). Las plantas producidas con el Tratamiento 10 obtuvieron los mayores valores para todas las variables morfológicas evaluadas. Aguilera-Rodríguez *et al.* (2016a) probaron el efecto de dos sustratos en el desarrollo de *Pinus montezumae* Lambert, uno de ellos compuesto por aserrín, corteza y vermiculita (7:1.5:1.5) contra el sustrato convencional conformado por turba de musgo, perlita y vermiculita (3:1:1), encontrando que el segundo sustrato superó los valores de las variables morfológicas obtenidos del sustrato a base de aserrín.

La altura de las plantas varió de 10.9 cm a 29.7 cm. La altura superior se obtuvo con el sustrato a base de turba de musgo con una dosis media de fertilizante, siendo esta significativamente diferente a las demás. De acuerdo con la NMX-AA-170-SCFI-2014, la altura promedio para *Pinus patula* a la edad de siete a ocho meses es de 25 cm a 30 cm, por tanto, las plantas del Tratamiento

9 y 10 se encuentran dentro de este intervalo, mientras que los Tratamientos 7 y 8 se aproximan a lo recomendado. Sosa *et al.* (2003) mencionan que la altura por sí sola no es un predictor de la supervivencia en campo.

Cuadro 3. Valores promedio de las variables morfológicas de plántulas de siete meses de edad de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. *et* Cham. de cada tratamiento.

T	Altura (cm)	Diámetro (mm)	PSA (g)	PSR (g)	PST (g)	IR	PSA/PSR	ICD
1	10.9 g	2.5 h	1.0 f	0.73 f	1.79 g	4.4 c	1.45 f	0.30 f
2	16.7 f	3.0 g	1.6 e	0.89 e	2.47 f	5.6 b	1.77 e	0.33 ef
3	20.6 cd	3.3 ef	2.3 d	1.00 de	3.27 e	6.3 a	2.30 bcd	0.38 de
4	18.6 e	3.2 f	2.2 d	1.07 cd	3.32 e	5.8 b	2.07 d	0.42 cd
5	19.6 de	3.5 cd	2.4 cd	1.14 bcd	3.57 de	5.6 b	2.14 cd	0.46 bc
6	22.1 c	3.4 de	2.4 d	1.00 de	3.37 e	6.4 a	2.37 abc	0.38 de
7	24.5 b	3.7 bc	3.0 b	1.21 bc	4.24 bc	6.7 a	2.51 ab	0.46 bc
8	24.3 b	3.8 b	3.1 b	1.28 b	4.41 b	6.4 a	2.47 ab	0.50 b
9	25.0 b	3.7 bc	2.8 b	1.08 cd	3.88 cd	6.7 a	2.60 a	0.42 cd
10	29.7 a	4.4 a	4.2 a	1.69 a	5.87 a	6.8 a	2.48 ab	0.63 a

Peso seco aéreo; PSR = Peso seco radical; PST = Peso seco total; IR = Índice de robustez; PSA/PSR = Relación entre el peso seco aéreo y el peso radical; ICD = Índice de calidad de Dickson. Relación entre el peso seco aéreo y el peso radical; ICD = Índice de calidad de Dickson.

Igualmente la NMX-AA-170-SCFI-2014 sugiere diámetros mayores o iguales a 3.5 mm para esta especie, por ello, solo los Tratamientos 5, 7, 8, 9 y 10 permitieron la producción de plantas que cumplen con lo establecido en la norma. Sigala *et al.* (2015) determinaron que las plantas con diámetros mayores tienen menor probabilidad de morir después de establecidas en campo.

El Tratamiento 10 produjo los valores mayores para las variables PSA (4.2 g), PSR (1.7 g) y PST (5.9 g), seguido de los Tratamientos 8 (PSA = 3.1 g, PSR = 1.3 g y PST = 4.4 g) y 7 (PSA = 3.0 g, PSR = 1.2 g y PST = 4.2 g). Sosa y Rodríguez (2003) determinaron que plantas de *Pinus patula* con mayor biomasa tuvieron mayor probabilidad de competir con la vegetación herbácea por nutrimentos, agua y luz.

A excepción de los tratamientos con una dosis baja de fertilizante, la adición de 40 % lombricomposta al sustrato redujo los valores en las variables diámetro, PSA, PSR y PST. El uso de sustratos con lombricomposta y una dosis media o alta de fertilizante, causó “sobrefertilización” provocando una disminución de las variables morfológicas. Alzugarya *et al.* (2004) encontraron que la sobrefertilización de plantas de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco disminuyó el volumen radical y afectó la relación tallo raíz de manera negativa, de manera similar, el peso seco radical de plantas de *Tectona grandis* disminuyó al utilizar una dosis alta de Osmocote Plus 15-9-12 de 12 meses de liberación (Escamilla *et al.*, 2015).

Los valores para ICD fluctuaron entre 0.30 y 0.63, los números bajos en esta variable indican desequilibrio entre el crecimiento y la biomasa de la planta (Maldonado *et al.*, 2011). Las características morfológicas obtenidas de los Tratamientos 7, 8 y 10 son similares. Las plantas producidas con estos tratamientos sobrepasaron lo estimado para las variables IR y PSA/PSR, sin embargo, el valor de ICD demuestra que el peso seco y la robustez de la planta se encuentran nivelados. Prieto-Ruíz *et al.* (2004) explica que la desproporción entre la parte aérea y radical está relacionada con el volumen limitante del tamaño de envase.

3.3.2 Concentración de nutrimentos en el follaje

El análisis de varianza de nutrimentos resultó ser significativo para el factor sustrato en la concentración de N y K. El efecto del fertilizante solo resultó ser significativo para K. No existió interacción entre ambos factores de estudio (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores de significancia en la concentración de nutrimentos en el follaje de plántulas de siete meses de edad de *Pinus patula* Schiede ex Schlttdl. et Cham.

FV	GL	N	P	K
Sustrato	2	0.0098	0.2538	0.0424
Fertilizante	2	0.3935	0.1611	0.0439
Sustrato*Fertilizante	4	0.4817	0.3371	0.0650

FV = Factor de variación; GL = Grados de libertad, siendo para el error = 18 y para el Total = 26.

La concentración de N fue mayor con S3 (1.09 %), sin embargo, es estadísticamente igual que S2 (1.4 %), pero superior a S1 (0.92 %). Las concentraciones de P en las mezclas de sustratos variaron entre 0.23 % y 0.24 %. La prueba de Tukey no mostró diferencias significativas en el factor sustrato sobre la concentración de K a pesar del resultado del análisis de varianza. La dosis alta de fertilizante (7 g/L) y la dosis media (5 g/L) produjeron los valores más altos para la concentración de K en el follaje, 0.98 % y 0.92 % respectivamente. Pero no hubo diferencias significativas entre la dosis media y la dosis baja (3 g/L), pero sí entre la dosis alta y baja (0.89 %).

Las concentraciones de N variaron de 0.87 % a 1.1 %, empero, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. La prueba de medias mostró diferencias estadísticas significativas para P, siendo los Tratamientos 1, 5, 8 y 9 superiores al tratamiento testigo. La concentración más

alta de K se obtuvo utilizando S3 en combinación con una dosis alta de fertilizante (Tratamiento 9), no obstante, solo los Tratamientos 4 y 10 fueron estadísticamente inferiores al Tratamiento 9.

Hernández-Pérez y Torres-Lamas (2009) proponen niveles críticos nutrimentales de N (0.91 %), P (0.09 %) y K (0.18 %) en biomasa foliar de *Pinus patula*. De acuerdo con los datos, solo el Tratamiento 1 y 4 poseen deficiencias de N; las concentraciones de P y K de las plantas producidas en los diez tratamientos están por encima del nivel crítico. Castro-Garibay (2016) encontró concentraciones de 0.85 % a 1.14 % de N, 0.17% a 0.21 % de P y 0.27 % a 0.42 % de K en el follaje de plántulas de *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López.

Rueda-Sánchez *et al.* (2012) encontraron valores de 1.1 a 1.7 % de N, 0.2 a 0.4 % de P y de 0.6 a 1 % de K en plantas de *Pinus douglasiana* Martínez., en *P. oocarpa* Schiede reportaron porcentajes de 0.7 a 1.4 % de N, de 0.2 a 0.3 % de P y de 0.4 a 1.1 % de K. Sáenz-Reyes *et al.* (2014) reportan concentraciones de nutrimentos en las especies *P. pseudostrobus* Lindl. (1.04 % N, 0.18 % P, 0.62 % K), *P. greggii* Engelm. ex Parl (1.3 % N, 0.2 % P, 0.67 % K) *P. devoniana* Lindl. (1.29 % N, 0.12 % P, 0.72 % K). Las concentraciones en *P. ayacahuite* C. Ehren fueron de 1.29 % para N, 0.18 % de P y 0.62 % de K (Muñoz-Flores *et al.*, 2015). Aguilera-Rodríguez *et al.* (2016a) encontraron concentraciones de 0.79 a 1.33 % de N, 0.06 a 0.16 % de P y 0.12 a 0.31 % de K en plántulas de *P. montezumae* Lamb.

Las concentraciones de N y P encontradas en las diferentes especies de pino antes mencionadas son similares a las encontradas en el follaje de *Pinus patula* Schiede ex Schldtl. *et* Cham., no obstante la cantidad de K fue superior a la reportada en otras especies de pino. En esta investigación las concentraciones de nutrimentos son similares en la mayoría de los tratamientos, dicho suceso puede atribuirse a un proceso de dilución de nutrimentos, debido a las diferentes tallas que presentan las plantas.

Contrario a lo encontrado por Reyes-Millalón *et al.* (2012) en *Pinus radiata* D. Don, Navarro-Sandoval *et al.* (2013) en *Abies religiosa* y Aguilera-Rodríguez *et al.* (2016a) en *Pinus montezumae* Lamb. la dosis de fertilizante no incremento significativamente la concentración de nutrimentos en el follaje.

Cuadro 5. Medias estadísticas de la concentración de nutrimentos en el follaje de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. *et* Cham.

Tratamiento	N (%)	P (%)	K (%)
1	0.87 a	0.242 a	0.87 abc
2	1.06 a	0.240 ab	0.88 abc
3	1.08 a	0.224 ab	0.92 abc
4	0.87 a	0.228 ab	0.83 c
5	1.01 a	0.250 a	1.03 ab
6	1.10 a	0.233 ab	0.89 abc
7	1.03 a	0.240 ab	0.93 abc
8	1.06 a	0.251 a	0.96 abc
9	1.08 a	0.253 a	1.04 a
10	1.01 a	0.199 b	0.84 bc

El costo por litro de cada mezcla de sustrato sin fertilizante en dólares fue de S1= 0.0345, S2= 0.0406, S3= 0.0468 y S4= 0.1044. La dosis baja de fertilizante (3 g L⁻¹) tuvo un valor de 0.0116, la dosis media (5 g L⁻¹) de 0.0194 y la dosis alta (7 g L⁻¹) de 0.0272. El precio por litro de sustrato incluyendo el fertilizante y el valor por cavidad se presentan en el Cuadro 6. Los resultados

indican que el costo por concepto de sustrato y fertilizante se puede reducir casi tres veces al utilizar materiales como aserrín y corteza de pino, aun usando una dosis alta de fertilizante.

Cuadro 6. Costo de sustrato con fertilizante utilizados en la producción de plántulas de siete meses de edad de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

Tratamiento	Precio (USD) por L de sustrato con fertilizante	Precio (USD) por sustrato con fertilizante por cavidad
1	0.0462	0.01220
2	0.0524	0.01383
3	0.0585	0.01545
4	0.0540	0.01426
5	0.0602	0.01588
6	0.0663	0.01751
7	0.0618	0.01632
8	0.0680	0.01794
9	0.0741	0.01956
10	0.1239	0.03271

3.4 CONCLUSIONES

El sustrato utilizado y la dosis de fertilizante influyeron en los resultados de las variables morfológicas. La adición de más de 20 % de lombricomposta al sustrato es negativo para casi todas las variables morfológicas evaluadas. Los Tratamientos 7 y 8 a base de proporciones iguales de aserrín y corteza de pino son adecuados para producir planta de alta calidad y son comparables al sustrato a base de turba de musgo.

La concentración de nutrimentos en el follaje no mostró diferencias al modificar la dosis de fertilizante. Los resultados sugieren que las diferencias entre cada una de las variables morfológicas está ligada a características propias del sustrato y no a deficiencias nutrimentales.

Los sustratos con aserrín y corteza son aproximadamente tres veces más económicos que el sustrato a base de turba de musgo, vermiculita y perlita.

CAPÍTULO IV.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUSTRATOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA FORESTAL

RESUMEN

Las características de un sustrato influyen en los atributos de la planta producida. El objetivo de esta evaluación fue caracterizar de manera física y química cuatro mezclas (S1= 1:1, aserrín y corteza; S2= 2:2:1, aserrín, corteza y lombricomposta; S3= 1.5:1.5:2, aserrín corteza y lombricomposta; S4= 3:1:1, turba de musgo, perlita y vermiculita) y tres materiales (aserrín, corteza y lombricomposta). Los análisis físicos realizados fueron porosidad, densidad aparente, granulometría y curvas de liberación de agua. Las características químicas determinadas fueron pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, carbono orgánico, relación carbono: nitrógeno y la concentración de N, P y K. La porosidad de aireación y humedad oscilaron entre 27 a 38 % y de 44 a 60 % respectivamente; la mezcla con densidad menor (0.11 g cm^{-3}) fue S4; el diámetro medio ponderado de partículas disminuyó con la reducción de corteza en la mezcla; la cantidad de agua disponible para la planta fue superior en S4 (23.7 %) y S2 (22.1 %); todos los sustratos mostraron un pH ácido (3.55 a 6.38); la capacidad de intercambio catiónico fue superior en S4 (89.33 meq/100 g) ; el aumento de lombricompost en el sustrato disminuyó el valor de la relación C:N. La lombricomposta obtuvo las concentraciones mayores de N (1.7 %) y K (0.06 %), mientras que S3 presentó la mayor concentración de P (0.003 %). De acuerdo con los resultados el sustrato S1 y S2 presentan las mejores características físicas y químicas. No se recomienda el uso de un solo material en la producción de planta forestal.

Palabras clave: aserrín, corteza, lombricomposta, sustratos orgánicos.

4.1 INTRODUCCIÓN

Los viveros tradicionales se caracterizan por el uso de suelo natural en los procesos de producción, sin embargo, en muchas ocasiones se generan condiciones físicas inapropiadas para el desarrollo de la planta. El uso de suelo en la producción de planta contribuye al deterioro ecológico, por tanto, su aprovechamiento es restringido. Ante esta problemática se ha hecho investigación con diferentes materiales para la elaboración de sustratos (Landis, 1990).

Materiales sintéticos, naturales, orgánicos o inorgánicos tienen la capacidad de proveer a la planta soporte, agua, oxígeno y nutrientes. Un sustrato es la mezcla de distintos elementos así como materiales individuales. El sustrato adecuado dependerá de los requerimientos de la especie, es decir, la humedad, el pH, el contenido de sales solubles, el tamaño de partículas, entre otras características (Landis, 1989; Dewayne *et al.*, 1993; Abad y Noguera, 1997).

De manera frecuente los materiales usados para la producción de planta en contenedor no son caracterizados. Los sustratos se elaboran de acuerdo con la literatura o con base en la experiencia. La caracterización física y química previa de un sustrato facilita su manejo, sin embargo, a pesar de que las características químicas del sustrato pueden modificarse durante el proceso de producción, las características físicas no pueden ser alteradas una vez colocado el sustrato en el contenedor (Burés, 1997).

Actualmente, la turba de musgo en combinación con otros materiales, poseen características físicas ideales para el desarrollo y crecimiento de muchas especies, pero el precio elevado y su disponibilidad limitada en el futuro hace necesaria la búsqueda de materiales disponibles, económicos, eficientes y que posean características físicas similares (Landis y Morgan, 2009).

Sustratos compuestos de aserrín y corteza presentan características físicas y químicas dentro de los intervalos para producir plantas de diferentes especies en vivero (Jackson y Wright, 2009;

Hernández-Zarate *et al.*, 2014; Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016a). El objetivo de este estudio fue determinar las características físicas y químicas de cuatro mezclas utilizadas como sustratos en la producción de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. *et* Cham. así como tres materiales individuales que las componen.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Preparación de sustratos

Aserrín, corteza compostada, lombricomposta, turba de musgo, perlita y vermiculita fueron los materiales utilizados para formar las cuatro mezclas de sustratos utilizadas en la producción de plantas de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. *et* Cham. Cuatro repeticiones por sustrato y materiales individuales (aserrín, corteza, lombricomposta) se caracterizaron en los laboratorios de Física y Química de Suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (Cuadro 7).

Cuadro 7. Proporción de materiales de los sustratos utilizados en la producción de plantas de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. *et* Cham.

SUSTRATO	COMPOSICIÓN DEL SUSTRATO (%)				
	Aserrín	Corteza	Lombricompost	Turba de musgo	Perlita Vermiculita
S1	50	50			
S2	40	40	20		
S3	30	30	40		
S4				60	20 20

4.2.2 Análisis físicos

4.2.2.1 Porosidad

La porosidad de cada sustrato se determinó con la metodología propuesta por Landis (1990) con modificaciones. Los sustratos se saturaron con agua corriente durante 24 h. El sustrato

saturado se colocó en tubetes de 220 mL previamente etiquetados y sellados con cinta vinílica y ligas de látex. Los tubetes se pesaron en una balanza de plato superior para obtener el peso del sustrato saturado. El sustrato se drenó al retirar la cinta y la liga, este se pesó para adquirir el peso del sustrato drenado. El sustrato drenado se colocó en una estufa de secado a 70 °C durante 48 h para obtener el peso seco.

El volumen total de poros se obtuvo a partir de la resta del peso del sustrato saturado menos el peso del sustrato seco. El volumen de poros de aireación fue el resultado del peso del sustrato saturado menos el peso del sustrato drenado. El porcentaje de porosidad total de cada sustrato se calculó como el volumen total de poros entre el volumen del tubete por 100. La porosidad de aireación se obtuvo por la operación de dividir el volumen total de poros de aireación entre el volumen del tubete por 100. La porosidad de retención de humedad se calculó como la diferencia entre la porosidad total y la porosidad de aireación.

4.2.2.2 Densidad aparente

La densidad aparente se calculó a partir del peso seco del sustrato y el volumen del tubete. La operación consistió en dividir el peso del sustrato seco de cada repetición entre el volumen del tubete utilizado.

4.2.2.3 Granulometría

Los sustratos se secaron a temperatura ambiente antes de realizar el tamizado. Los sustratos se tamizaron con siete tamices diferentes (6.36, 4.75, 3.36, 2.01, 1.0, 0.5 y 0.25 mm) y un receptor. Una muestra representativa de cada sustrato se pesó y colocó sobre los tamices apilados en orden descendente. Los tamices se sometieron a 5 minutos de agitación para facilitar la separación de partículas por tamaño. El peso retenido del sustrato en cada tamiz se obtuvo con una balanza de plato superior.

El porcentaje retenido de la muestra en cada tamiz se calculó como el peso parcial de la muestra entre el peso total de la muestra por 100. El índice de grosor correspondió a la sumatoria del porcentaje de partículas mayores a 1 mm. La curva granulométrica se generó a partir de los porcentajes de la muestra retenida en cada tamiz.

4.2.2.4 Curvas de liberación de agua

De acuerdo con la metodología propuesta por De Boodt *et al.* (1974), embudos de succión con placa filtrante se utilizaron para obtener la curva de liberación de agua. El sustrato previamente saturado (24 h) se colocó en los embudos de succión. Una muestra inmediata de sustrato saturado se pesó, posteriormente estas se secaron en una estufa a 70 °C durante 48 h. El nivel de agua de la manguera se situó a 10, 50 y 100 cm para ejercer diferentes fuerzas de succión. El cambio de la distancia de la manguera se realizó cuando el nivel del agua se mantuvo constante. Muestras de sustrato húmedo y seco de cada nivel de succión se pesaron.

Con los datos obtenidos se calculó la humedad gravimétrica y la humedad volumétrica. La humedad volumétrica de cada succión y la porosidad de los sustratos se utilizaron para obtener los valores necesarios para realizar la gráfica de liberación de agua. Se obtuvo el porcentaje de material sólido, aire, espacio poroso total (EPT), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR) y agua difícilmente disponible (ADD).

4.2.3 Análisis químicos

4.2.3.1 pH y conductividad eléctrica

Para ambas pruebas el sustrato utilizado se secó a temperatura ambiente. Una proporción 1:1 de sustrato y agua destilada se homogeneizó y se dejó reposar durante 24 h. Las muestras reposadas se filtraron para extraer la fase líquida. En la fase acuosa se midió el pH con un peachímetro y conductividad eléctrica con un conductímetro.

4.2.3.2 Capacidad de intercambio catiónico

La determinación de la capacidad de intercambio catiónico se realizó de acuerdo a lo establecido en la NOM-021-SEMARNAT-2000.

4.2.3.3 Materia orgánica y carbono orgánico

El porcentaje de materia orgánica se calculó mediante el método de calcinación. Dicho método consiste en pesar una pequeña muestra de sustrato seco a 70 °C por 24 h y calcinar la muestra en una mufla a 400 °C durante 2.5 h; posteriormente los crisoles se colocan en un desecador y se procede a obtener el peso de la muestra calcinada con apoyo de una balanza analítica.

El porcentaje de materia orgánica se obtuvo a partir del peso de la muestra menos el peso de la muestra calcinada por 100, entre el peso de la muestra. El porcentaje de carbono orgánico se calculó como el valor de la materia orgánica por 0.58 (Schollenberger, 1945).

4.2.3.4 Nitrógeno total

El nitrógeno total se determinó por el método Micro-Kjeldahl. Las muestras de sustrato se secaron a temperatura ambiente, después se molieron y se tamizaron con una malla de 5 mm. Una muestra de 0.1 g del material tamizado se pesó y colocó en un tubo de ensayo con dos perlas de vidrio. Una pizca de tiosulfato de sodio y 4 mL de ácido sulfúrico con ácido salicílico se agregó al tubo con el sustrato. Los tubos se colocaron en una campana durante una hora para la digestión de la muestra.

A cada muestra se le agregó 25 mL de agua destilada. Posteriormente granallas de zinc y 15 mL de NaOH se agregaron a los tubos. La muestra contenida en los tubos se destiló hasta obtener un volumen de 20 mL, el cual contenía 10 mL de ácido bórico. La titulación de la muestra se llevó a cabo con ácido sulfúrico 0.01 N. El porcentaje de N se calculó como la resta de los mL de ácido

sulfúrico de la muestra menos los mL de ácido del blanco, esto multiplicado por la normalidad del ácido y el peso en mg del N entre el peso de la muestra por 100.

4.2.3.5 Relación C:N

La relación carbono/nitrógeno de cada sustrato se calculó dividiendo la cantidad de carbono orgánico entre el nitrógeno total, ambos obtenidos previamente.

4.2.3.6 Fósforo

La muestra de sustrato fue tamizada en una malla de 2 mm de diámetro, después se tomaron 2.5 g y se agregaron 25 mL de fluoruro de amonio y una pizca de carbón activado. La mezcla obtenida se sometió a agitación durante 5 minutos y posteriormente se filtró. En un tubo de ensayo se agregaron dos mililitros de la muestra filtrada, 5 mL de agua destilada, 2 mL de molibdato de amonio (Bray) y 1 mL de SnCl₂. Las lecturas de cada muestra se llevaron a cabo con un espectrofotómetro.

4.2.3.7 Potasio

El porcentaje de potasio soluble se determinó de acuerdo a la metodología propuesta en la NOM-021-SEMARNAT-2000.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1 Características físicas

4.3.1.1 Porosidad

La porosidad total (PT) de las muestras analizadas se encontró entre 77 y 93 %, presentando la porosidad más baja el sustrato S1 y la corteza (C), mientras que los valores superiores de PT se lograron en el lombricompost seguido del aserrín con un 90%. S4 fue el sustrato que mostró una PT (80 %) superior de las cuatro mezclas. La porosidad de aireación (PA) varió entre 20 y 27 %

en las mezclas y en los materiales individuales de 33 a 38%. La corteza presentó el menor porcentaje de microporos (44 %), mientras que S4 tuvo 60 % de porosidad de retención de humedad (Figura 4).

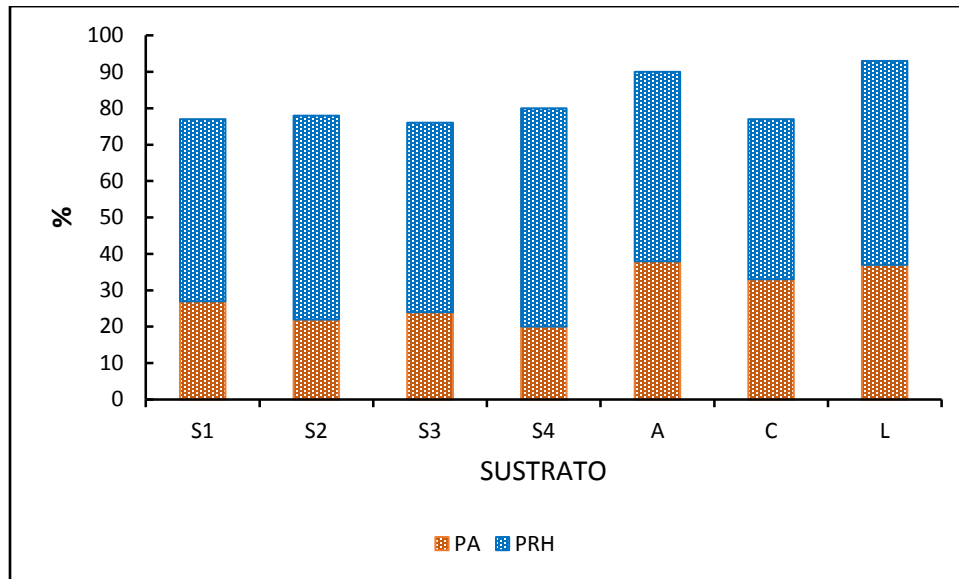


Figura 4. Porcentajes de porosidad presentes en los diferentes sustratos utilizados en la producción de planta forestal. S1 = aserrín y corteza (1:1); S2 = aserrín, corteza y lombricomposta (2:2:1); S3 = aserrín, corteza y lombricomposta (1.5:1.5:2); S4 = turba de musgo, perlita y vermiculita (3:1:1), A = aserrín; C = corteza; L = lombricomposta; PA = porosidad de aireación; PRH = porosidad de retención de humedad.

Cabrera (1999) propone un intervalo de 70 a 85 % de PT como ideal, de esta forma todos los sustratos se encuentran en valores óptimos a excepción del aserrín (A) y el lombricomposta (L). Así mismo, cifras superiores al 10 % y menores al 20 % son recomendadas para PA, no obstante, Landis (1990) menciona valores de 25 a 35 %, tomando en cuenta el límite inferior del primer autor y el límite superior del segundo, solo A y L se encuentran fuera de lo recomendado. Se sugieren valores de 55 a 70 % en la porosidad de retención de humedad (PRH); S1, S3, A y C se encuentran debajo del número de referencia.

A pesar de las distintas variaciones de PA y PRH de cada uno de los sustratos, los valores obtenidos indican una relación aproximada 1:2 entre ambos tipos de poros en todas las mezclas. La PT de S1 fue similar a lo encontrado por Sánchez-Córdova *et al.* (2008) y Hernandez-Zarate *et al.* (2014) quienes reportaron porcentajes de 78 y 73 % respectivamente en mezclas de proporción similar. Ambos autores coincidiendo con Aguilera- Rodríguez *et al.* (2016a) quienes obtuvieron valores cercanos al 80 % en la mezcla testigo. Sin embargo, los valores de PA resultaron ser menores, esto está relacionado con los diferentes tipos de partículas utilizadas en los estudios mencionados Wilson (1983).

En los casos de S2 y S3 los valores de PT, PA y PRH fueron similares a S1, dichas variaciones están ligadas a la adición de lombricomposta al sustrato. Sánchez-Córdova *et al.* (2008) reportan porcentajes de PT, PA y PRH en corteza de 70, 8 y 62 % respectivamente. La diferencia en PA se debe al tamaño de partícula, la compactación del sustrato y/o contenido de humedad (Wilson, 1983; Fernandes y Corá, 2004). Landis y Morgan (2009) recomiendan valores de PA entre 15 y 30 % y PRH de 25 a 35 %, dichas cifra colocan a todas las mezclas con un valor ideal de PA, pero, fuera del límite superior de PRH. Boertje (1983) sugiere que una porosidad de aireación mayor 25 % es considerada como óptima para el caso de abonos orgánicos adicionados al sustrato, por lo tanto, si se considera solo esta propiedad la lombricomposta utilizado se encuentra dentro del intervalo recomendado.

4.3.1.2 Densidad aparente

Los valores de densidad aparente (DA) fluctuaron entre 0.11 y 0.23 g cm⁻³. La mezcla testigo obtuvo la densidad más baja, mientras que S2 y S3 los valores más altos (Figura 5). Contrario a lo encontrado por Sánchez-Córdova *et al.* (2008), el aumento de corteza en el sustrato no produjo

un aumento en DA, puesto que insumos del mismo proveedor pueden tener variaciones en el origen de la materia prima o durante el proceso de elaboración.

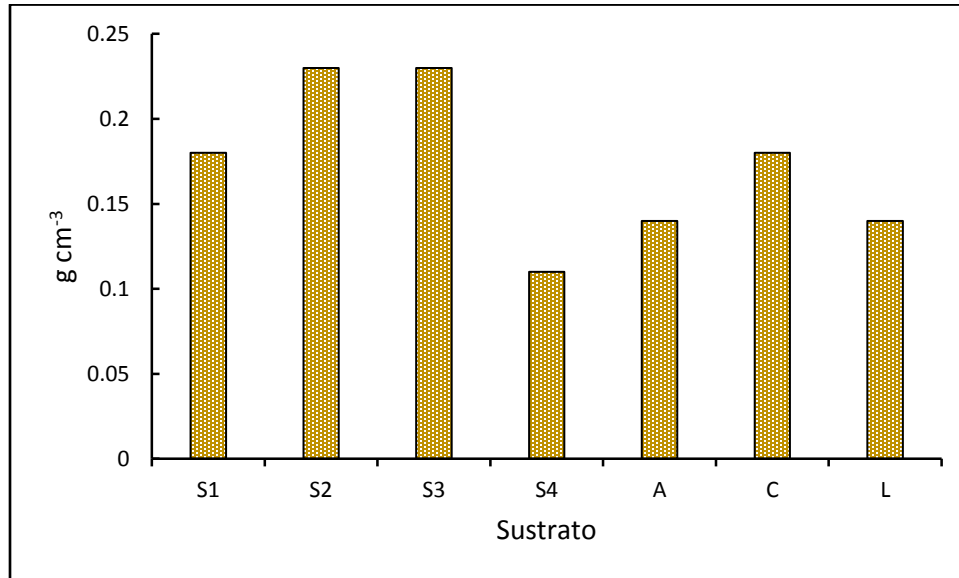


Figura 5. Densidades de los sustratos y materiales individuales utilizados en la producción de planta forestal. S1 = aserrín y corteza (1:1); S2 = aserrín, corteza y lombricomposta (2:2:1); S3 = aserrín, corteza y lombricomposta (1.5:1.5:2); S4 = turba de musgo, perlita y vermiculita (3:1:1), A = aserrín; C = corteza; L = lombricomposta.

Cifras pequeñas de DA en los sustratos usados en la producción de planta en contenedor son deseables para facilitar el manejo y transporte de las plantas (Landis, 1990). Dado que se trata de materiales orgánicos en su mayoría, se espera que la DA aumente al finalizar el ciclo de producción, lo que disminuye así PT y PA, y en algunos casos aumentando PRH (Mathers *et al.*, 2007).

4.3.1.3 Granulometría

El diámetro medio ponderado de los sustratos fue el siguiente: S1 =1.65, S2 = 1.56, S3 = 1.33, S4 =1.28, A =0.79, C = 1.92 y L = 1.75 mm. El índice de grosor, porcentaje de partículas mayores a 1 mm, en los materiales individuales varió de 11.5 % a 69 %, siendo el aserrín el material con el

índice de grosor menor y la corteza con el valor mayor. S3 fue la mezcla que presentó el menor porcentaje de partículas mayores a 1 mm con 47.1 % y S1 el superior con 58.8 %. Prasad y Chualáin (2004) mencionan que las partículas mayores a 1 mm están relacionadas con la capacidad de aireación, es decir, entre mayor sea el número de partículas gruesas la capacidad de aireación será superior.

El tamaño de partículas presentes en los sustratos varió entre mezclas y materiales individuales. En S1 y S4 la mayor porción corresponde a partículas de entre 1.0 y 2.01 mm, 26.2 y 27.9 % respectivamente (Figuras 6 y 9). Para S2 (28 %) y S3 (34.59 %) las partículas se concentraron en diámetros superiores a 0.5 mm pero menores a 1 mm (Figuras 7 y 8). Diámetros menores, representan mayor cantidad de microporos y por tanto mayor retención de agua (Prasad y Chualáin, 2004; Vargas-Tapia *et al.*, 2008).

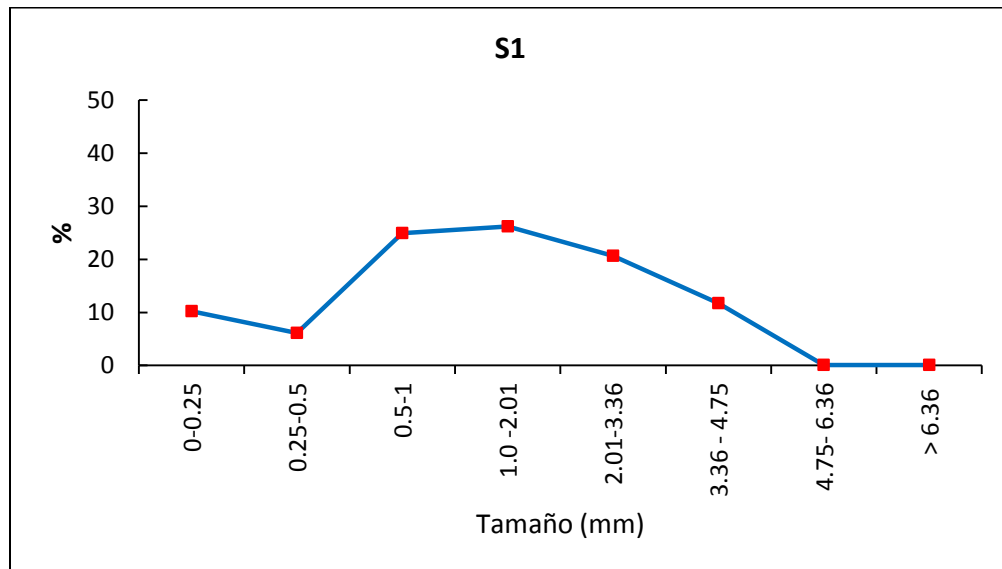


Figura 6. Distribución de partículas presentes en el sustrato S1 utilizado en la producción de planta forestal. *et Cham.* S1 = aserrín 50 % y corteza 50 %.

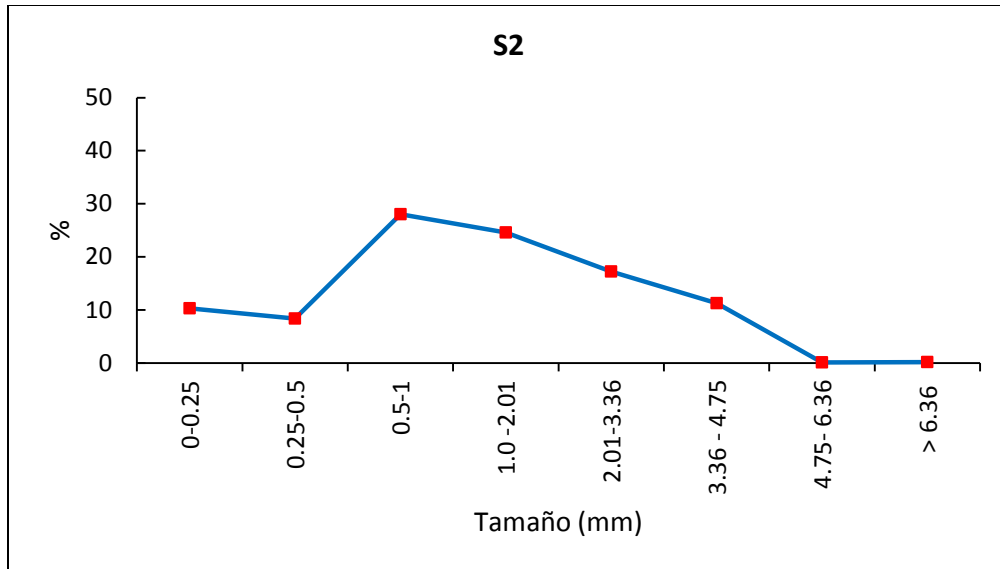


Figura 7. Distribución de partículas presentes en el sustrato S2 utilizado en la producción de planta forestal. S2 = aserrín 40 %, corteza 40 % y lombricomposta 20%.

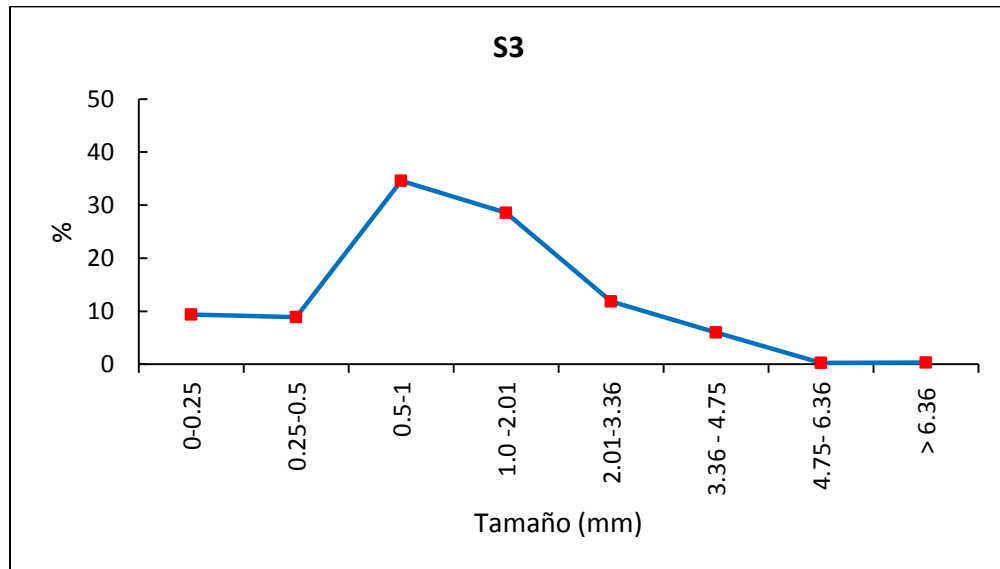


Figura 8. Distribución de partículas presentes en el sustrato S3 utilizado en la producción de planta forestal. S3 = aserrín 30 %, corteza 30 % y lombricomposta 40%.

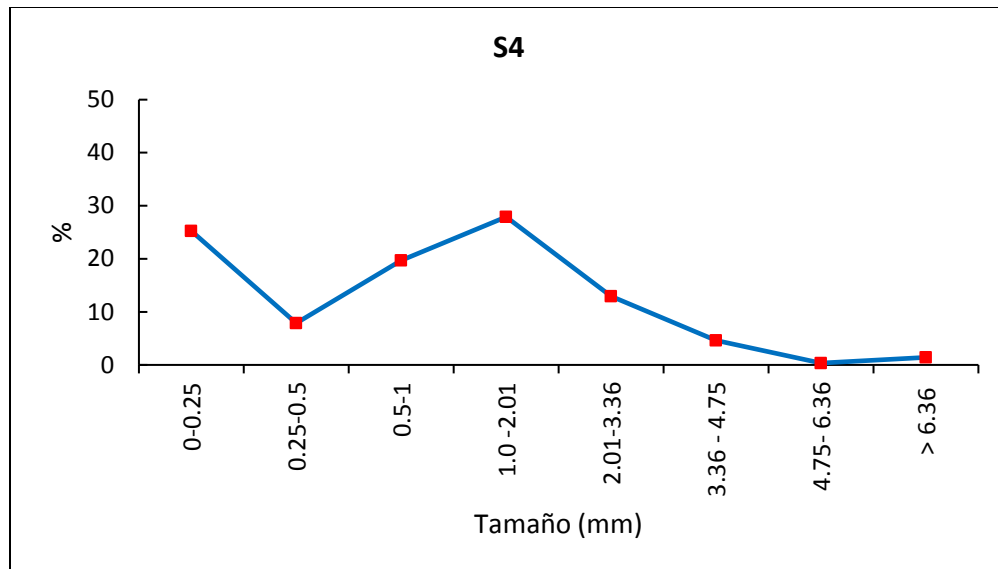


Figura 9. Distribución de partículas presentes en el sustrato S4 utilizado en la producción de planta forestal. S4 = turba de musgo 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %.

La distribución de partículas del aserrín se concentró en mayor proporción en valores de entre 0.5 y 1 mm (Figura 10). La corteza presentó mayor cantidad de partículas gruesas (> 0.9 mm) en comparación con el aserrín (Figura 11). Las partículas presentes en la lombricomposta se distribuyeron en su mayoría en el intervalo de 0.5 a 4.75 mm, sin embargo la mayor proporción se presentó en diámetros de 1 a 2.01 mm (Figura 12).

Es importante señalar que no solo el tamaño de partículas está implicado en las características físicas, hay otros factores como el tamaño del contenedor, la compactación del sustrato, el acomodo de partículas y la presencia de poros internos abiertos o cerrados que harán variar dichas propiedades (Burés *et al.*, 1997; Vargas-Tapia *et al.*, 2008; Salto *et al.*, 2016).

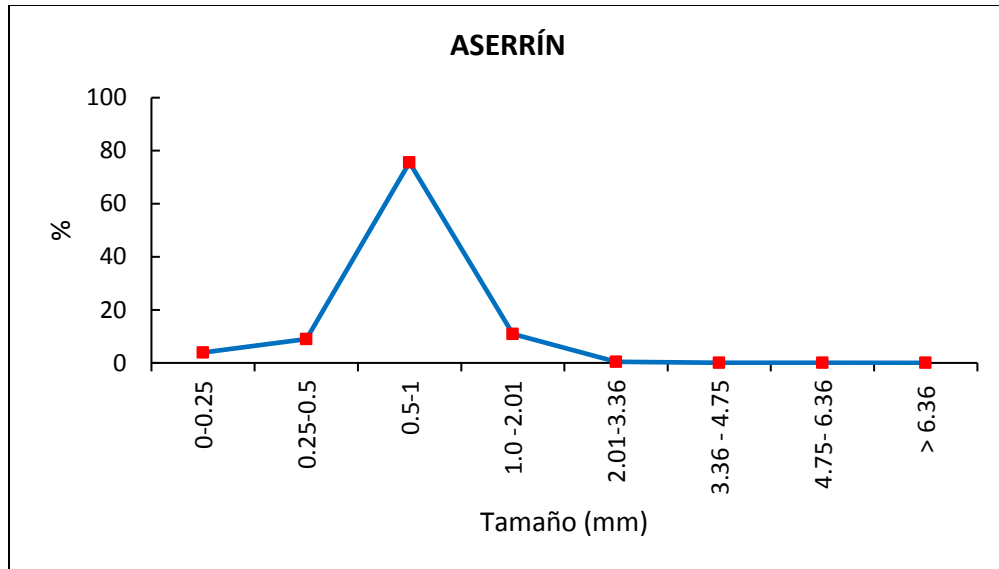


Figura 10. Distribución de partículas presentes en el aserrín utilizado para elaborar las diferentes mezclas usadas en la producción de planta forestal.

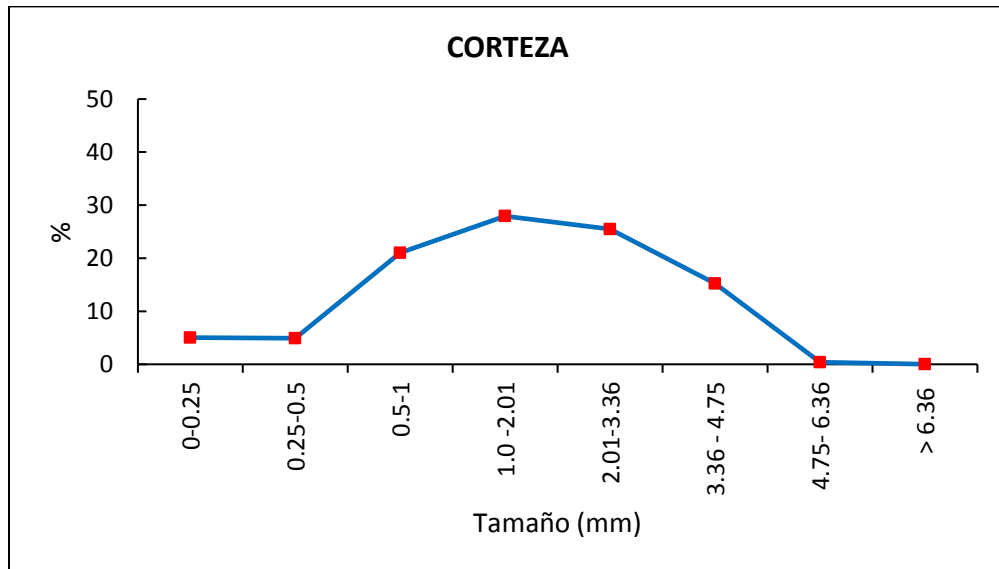


Figura 11. Distribución de partículas presentes en la corteza compostada utilizada para elaborar las diferentes mezclas usadas en la producción de la producción de planta forestal.

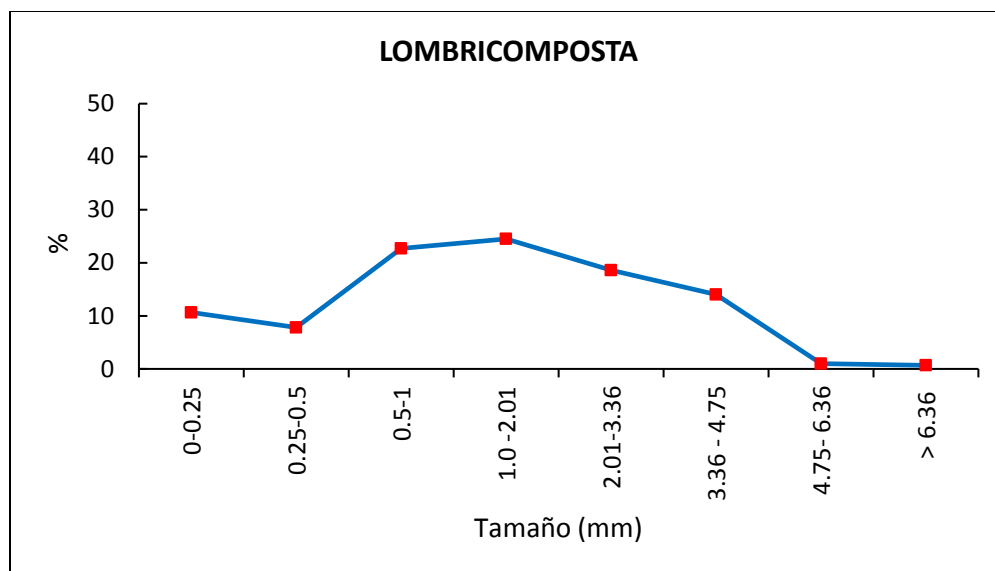


Figura 12. Distribución de partículas presentes en la lombricomposta utilizado para elaborar las diferentes mezclas usadas en la producción de planta forestal.

4.3.1.4 Curvas de liberación de agua

El material sólido osciló entre 7.5 y 34.4 %. Siendo la lombricomposta el que presentó menor porcentaje de sólidos y el aserrín la mayor proporción. La lombricomposta mostró una capacidad de aireación de 12.4 %, el aserrín de 24.7 % y la corteza 30.7 %. El sustrato S4 fue la mezcla que presentó menor capacidad de aireación (24.3 %), mientras que S1 (34.8 %) S2 (26.1%) y S3 (29.9 %) presentaron valores por encima del 25 % (Figuras 13-19).

El agua fácilmente disponible (AFD) se encuentra en mayor cantidad en S4, sin embargo, no difiere de más del 2 % que S2. Para todas las mezclas el porcentaje es superior al 10 %, caso contrario a los materiales individuales donde el valor de AFD no superó este porcentaje. Abad *et al.* (1993) recomiendan valores de 20 a 30 %, por ello todas las mezclas se encuentran dentro de un intervalo óptimo. Cifras de 4 a 10 % son deseables en el agua de reserva (AR), el porcentaje de las mezclas varió de 2.0 a 5.8 % y de 3.4 % a 6.5 % en los componentes individuales. El agua total disponible es resultado de la sumatoria de AFD y AR, Abad *et al.* (1993) sugieren un intervalo de

24 a 40 %, tanto mezclas como materiales se encuentran fuera del límite inferior, para mejorar esta condición se pueden usar partículas más finas de cada material (Prasad y Chualáin, 2004).

La cantidad de agua difícilmente disponible (ADD) fue mayor en la lombricomposta (66.6 %), siendo este valor superior a la sumatoria de AFD y AR del mismo sustrato. Los valores de S2, S3 y S4, oscilaron entre 24.3 y 29.9 %. El ADD siguió un patrón inverso al encontrado por Sánchez-Córdova *et al.* (2008), donde a mayor cantidad de corteza el ADD incrementó, en este estudio, la proporción de lombricomposta fue el elemento determinante. Ávila-Ayala (2015) halló que la lombricomposta en proporciones superiores al 30 % aumenta ADD conforme la proporción de lombricomposta acrecienta.

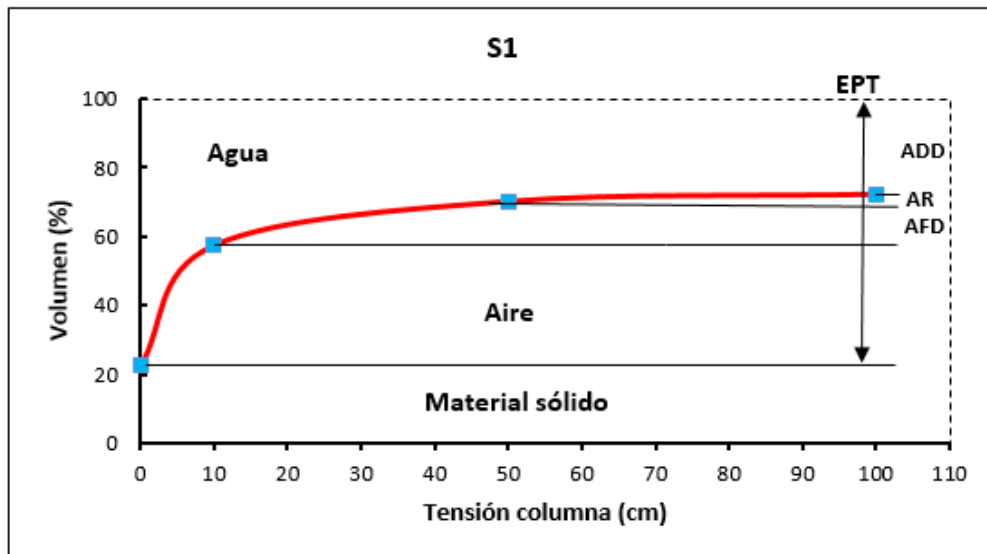


Figura 13. Curva de liberación del sustrato S1 usado en la producción de planta forestal. S1 = aserrín 50% y corteza 50 %; EPT = espacio poroso total; AFD = agua fácilmente disponible; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible.

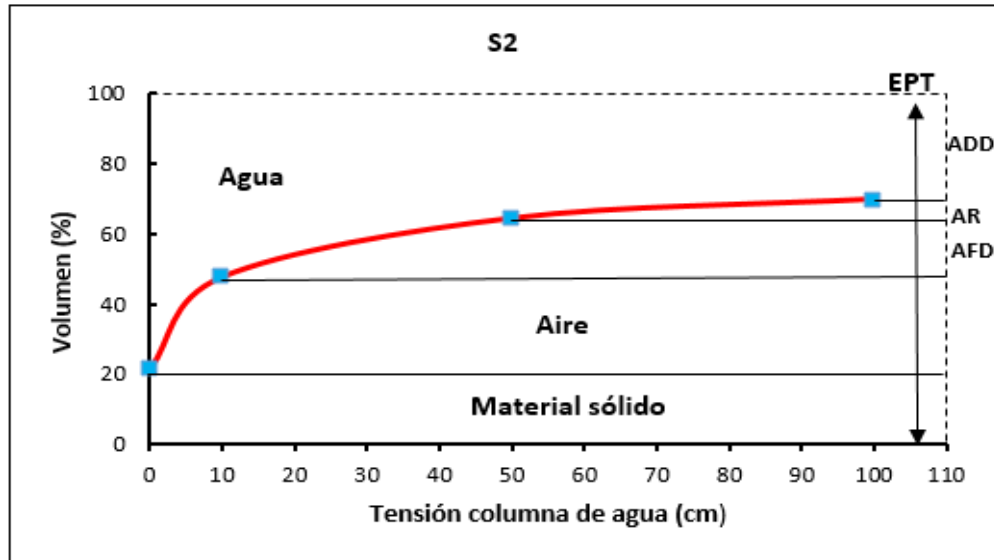


Figura 14. Curva de liberación del sustrato S2 usado en la producción de planta forestal. S2 = aserrín 40%, corteza 40 % y lombricomposta 20 %; EPT = espacio poroso total; AFD = agua fácilmente disponible; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible.

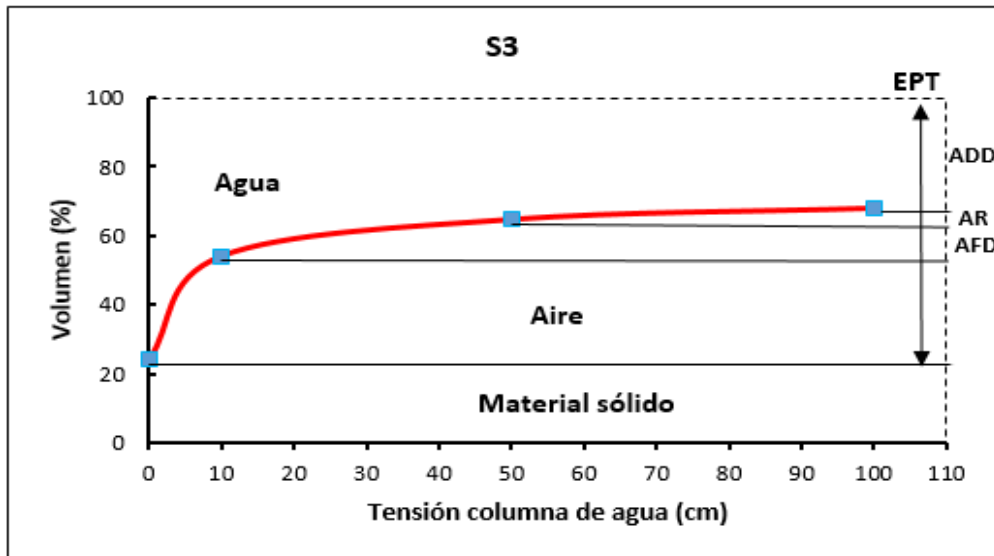


Figura 15. Curva de liberación del sustrato S3 usado en la producción de planta forestal. S3 = aserrín 30%, corteza 30 % y lombricomposta 40 %; EPT = espacio poroso total; AFD = agua fácilmente disponible; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible.

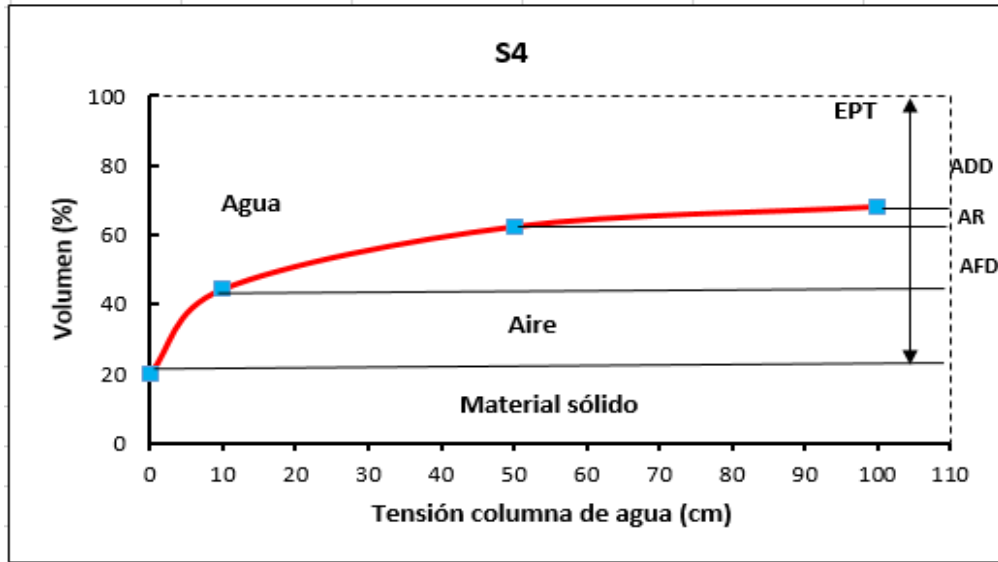


Figura 16. Curva de liberación del sustrato S4 usado en la producción de planta forestal. S4 = turba de musgo 60%, perlita 20 % y vermiculita 20 %; EPT = espacio poroso total; AFD = agua fácilmente disponible; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible.

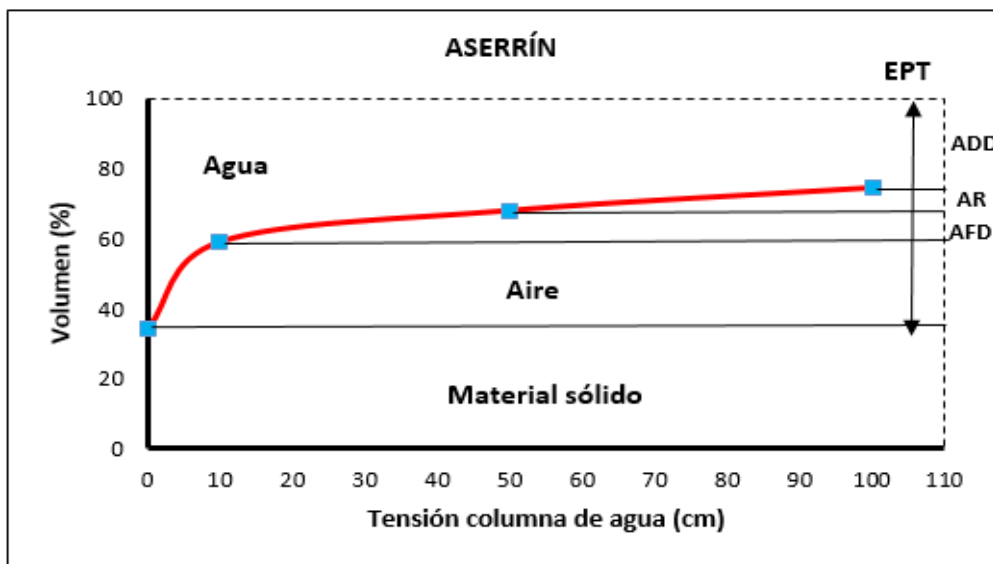


Figura 17. Curva de liberación del aserrín usado en la producción de planta forestal. EPT = espacio poroso total; AFD = agua fácilmente disponible; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible.

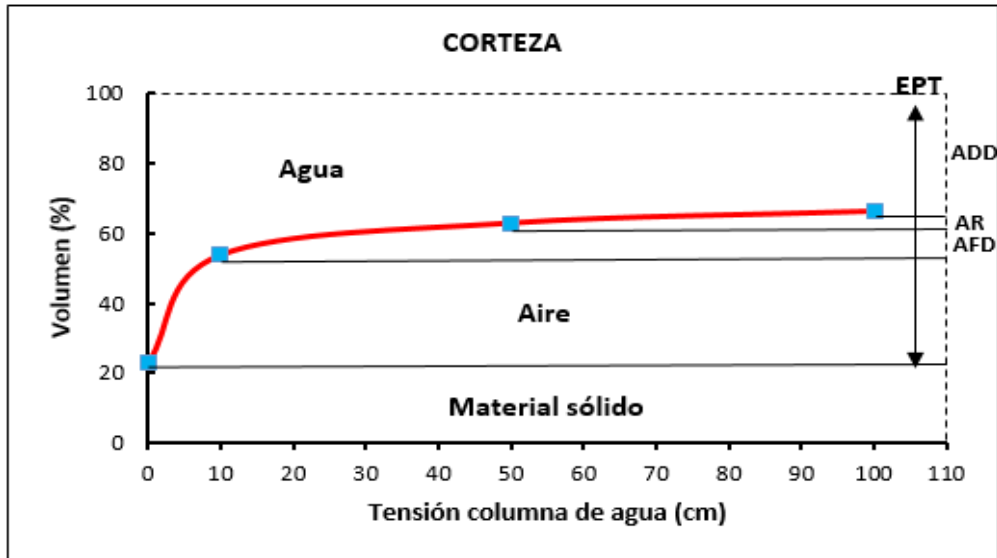


Figura 18. Curva de liberación de la corteza usada en la producción de planta forestal. EPT = espacio poroso total; AFD = agua fácilmente disponible; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible.

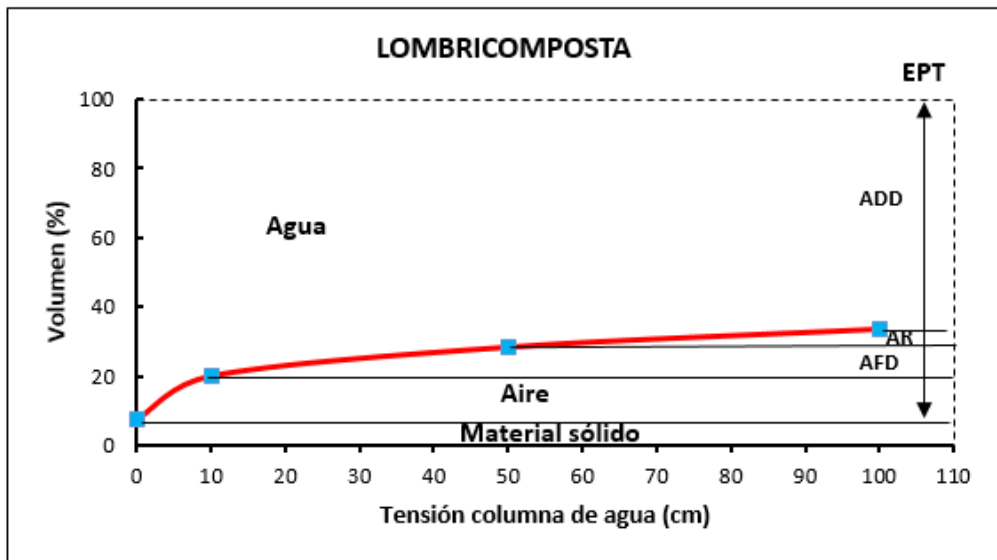


Figura 19. Curva de liberación de la lombricomposta usada en la producción de planta forestal. EPT = espacio poroso total; AFD = agua fácilmente disponible; AR = agua de reserva; ADD = agua difícilmente disponible.

4.3.2 Características químicas

4.3.2.1 pH y Conductividad eléctrica

El pH de los sustratos varió de 4.11 a 5.84 en las mezclas y de 3.55 a 6.38 en los materiales individuales, los valores indican que se trata de sustratos ligeramente ácidos (Cuadro 8). Contrario a lo encontrado por Sánchez-Córdova *et al.* (2008) y Hernandez-Zarate *et al.* (2014) la mezcla testigo (S4) obtuvo un pH superior, diferencia que se debe a la diferente proporción de los componentes en el primer caso y al origen de los materiales en ambos. Landis (1990) refiere que la disponibilidad de nutrimentos en sustratos orgánicos es mayor en pH menores de 5.5, por tanto, S3 y S4 están ligeramente fuera del rango, aun así los resultados de altura y diámetro de las plantas producidas en estas mezclas no se vieron afectados de manera negativa. A pesar de lo mencionado, es importante monitorear el pH. Dewayne *et al.* (1993) indican que sustratos que poseen corteza tienden a reducir su pH, no obstante, Castro-Garibay (2016) encontró que sustratos con corteza aumentaron su pH al finalizar el ciclo de producción.

La conductividad eléctrica (CE) de las mezclas osciló entre 0.23 y 1.71 dS m⁻¹. La lombricomposta fue el material que presentó la CE más elevada con 6.38 dS m⁻¹ (Cuadro 8). Dewayne *et al.* (1993) mencionan que valores de 3.8 dS m⁻¹ son óptimos para un buen desarrollo de plantas leñosas, valores por encima de este intervalo pueden causar estrés hídrico y por tanto perjudicar las características de la planta (Klougart, 1983; Landis, 1989).

4.3.2.2 Capacidad de intercambio catiónico

Los valores de capacidad de intercambio catiónico (CIC) fluctuaron de 24.93 a 89.33 cmol (+) kg⁻¹ (Cuadro 8). De acuerdo con los resultados la mezcla S4 posee mayor capacidad de retener los nutrimentos que el resto de las mezclas, incluso, es superior a los materiales individuales, lo cual le confiere al sustrato la cualidad de evitar la lixiviación de nutrimentos (Landis, 1990; Mathers *et*

al., 2007). Sin embargo, la alta capacidad de retener iones puede ser contraproducente, dado que se promueve la retención excesiva de sales en el sustrato (Dewayne *et al.*, 1993).

Cuadro 8. Características químicas de los sustratos utilizados en la producción de planta forestal.

Sustrato	pH	CE (dS m ⁻¹)	CIC (cmol (+) kg ⁻¹)
S1	4.11	0.23	47.73
S2	4.69	1.13	44.4
S3	5.69	1.71	51.73
S4	5.84	0.75	89.33
A	5.49	0.24	24.93
C	3.55	0.30	60.93
L	6.38	6.13	51.33

CE = conductividad eléctrica; CIC = capacidad de intercambio catiónico; S1 = aserrín 50% y corteza 50 %; S2 = aserrín 40 %, corteza 40 % y lombricomposta 20 %; S3 = aserrín 30 %, corteza 30 % y lombricomposta 40 %; S4 = turba de musgo 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %; A = aserrín; C = corteza; L = lombricomposta.

4.3.2.3 Materia orgánica y Carbono orgánico

El porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico disminuyeron con el aumento de lombricomposta y la reducción de corteza y aserrín en la mezcla. S1, S2 y S3 presentaron porcentajes superiores a la mezcla testigo (S4) en ambas variables, dichas diferencias están relacionadas con los materiales usados, considerando que esta mezcla está compuesta por 40% de materiales inorgánicos. La alta cantidad de materia orgánica presente en los sustratos, no refleja un problema de falta de oxígeno al producir plantas a corto plazo, dado que, la descomposición de

la materia provoca producción de dióxido de carbono y por tanto problemas de aireación, sin embargo, si repercute en la estabilidad del sustrato y disponibilidad de N (Klougart, 1983).

4.3.2.4 Relación C:N

Los valores de la relación C:N en las mezclas fluctuó de 28.6 a 169.8, la adición de lombricomposta a la mezcla, disminuyó este valor aproximadamente tres veces para S2 y seis veces para S3 (Cuadro 9). El aserrín tuvo una relación de 512.8, la corteza 147.7 y la lombricomposta 13.1. Números más grandes indican mayor estabilidad biológica, pero, menor disposición de N. Alternativas para evitar problemas de disponibilidad de N son añadir este elemento al sustrato por medio de fertilizantes o utilizar materiales compostados (Reyes-Reyes *et al.*, 2005; Mathers *et al.*, 2007).

Dewayne *et al.* (1993) sostienen que materiales con una relación C:N elevada se descomponen de manera más rápida y la velocidad decrece con el tiempo. A pesar de la diferente estabilidad de los materiales de forma individual no hubo problemas de reducción del volumen del sustrato al concluir el ciclo de producción de planta.

4.3.2.5 Concentración de N, P y K

La lombricomposta fue el material que presentó las concentraciones más altas de N (1.7080 %), P (27 mg kg⁻¹) y K (692 mg kg⁻¹). Su adición como parte de las mezclas favoreció el incremento de las concentraciones de los tres elementos. S4, solo fue superior a S1, sustrato que carecía de lombricomposta (Cuadro 9). La concentración de N, P y K puede variar de acuerdo con las materias primas y el proceso de compostaje en la elaboración de la lombricomposta. La lombricomposta utilizada varió en comparación con los elaborados a partir de pulpa de café; estiércol de animales como cerdos, caballos y gallinas o desechos agrícolas, en estos casos, las concentraciones de N variaron de 1.33 a 2.07 %, superando a la lombricomposta utilizada en la presente investigación,

casos similares ocurrieron con las concentraciones de P y K (Pérez *et al.*, 2008; Morales-Mungía *et al.*, 2009).

La adición de lombricomposta en las diferentes proporciones no otorga los nutrientes necesarios, esto se refleja en las diferencias encontradas en las variables morfológicas de las plantas producidas bajo los diferentes tratamientos; sin embargo, es una alternativa útil para mejorar las características físicas y químicas de los sustratos. Es importante mencionar que las concentraciones reportadas no representan la cantidad de nutrientes disponibles para la planta.

Cuadro 9. Características químicas y concentración de nutrientes de los sustratos utilizados en la producción de planta forestal.

Sustrato	MO (%)	CO (%)	C:N	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
S1	88.1	51.11	169.8	0.3010	1.07	66
S2	70.1	40.64	45.2	0.8995	24.0	217
S3	60.4	35.04	28.6	1.2250	35.5	333
S4	47.2	27.36	65.1	0.4200	4.50	99
A	99.0	57.43	512.8	0.1120	1.49	88
C	86.4	50.13	147.7	0.3395	1.57	62
L	38.7	22.46	13.1	1.7080	27.0	692

MO = materia orgánica; CO = carbono orgánico; C:N = relación carbono-nitrógeno; S1 = aserrín 50% y corteza 50 %; S2 = aserrín 40 %, corteza 40 % y lombricomposta 20 %; S3 = aserrín 30 %, corteza 30 % y lombricomposta 40 %; S4 = turba de musgo 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %; A = aserrín; C = corteza; L = lombricomposta.

4.4 CONCLUSIONES

El aserrín, la corteza y la lombricomposta de manera individual no cumplen con las características físicas y químicas apropiadas para la producción de planta forestal.

La adición de lombricomposta favorece la concentración de nutrimentos en el sustrato, pero no se recomiendan proporciones superiores al 20 % ya que disminuye la cantidad de agua disponible para la planta.

De acuerdo con las características físicas y químicas de las mezclas, los sustratos S1, S2 y S4 son recomendables para producir planta forestal.

CAPÍTULO V.

LITERATURA CITADA

- Abad, M., M. D. Martínez-Herrero; P. F. Martínez-García y J. Martínez-Corts. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos. *Acta Horticulturae* 11: 141-154.
- Abad, M. y P. Noguera. 1997. Los sustratos en cultivos sin suelo. *In*: Urrestarazu-Gavilán M. (ed.): Manual de Cultivo sin Suelo. 2ª Ed. Mundi Prensa. España. pp: 101-150.
- Aguilera-Rodríguez, M., A. Aldrete, T. Martínez-Trinidad y V. M. Ordáz-Chaparro. 2016a. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50:107-118.
- Aguilera-Rodríguez, M., A. Aldrete, T. Martínez-Trinidad y V. M. Ordáz-Chaparro. 2016b. Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(34): 7-19.
- Altamirano-Quiroz, M. T. y A. Aparicio-Rentería. 2002. Efecto de la lombricomposta como sustrato alternativo en la germinación y crecimiento inicial de *Pinus oaxacana* Mirov. y *Pinus rudis* Endl. *Foresta Veracruzana* 4(1): 35-40.
- Álvarez J., J. Rodríguez y D. Suárez. 1999. Mejoramiento de la productividad de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don a través de un método racional de fertilización. *Bosque* 20(1): 23-26.
- Alzugarya P., D. Haase y R. Rose. 2004. Efecto del volumen radicular y la tasa de fertilización sobre comportamiento en terreno de plantas de pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) producidas con el método 1 + 1. *Bosque* 25(2): 17-33.
- Ansorena, M. J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.

- Ávila-Ayala, R. 2015. Producción de planta forestal con sustrato alternativo y fertilizantes de liberación controlada. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México. 50 p.
- Basave-Villalobos, E., L. C. García-Castillo, A. Castro-Ríos, C. G. Calixto-Valencia, J. A. Sigala-Rodríguez y J. L. García-Pérez. 2016. Calidad de planta de *Cedrela odorata* L. asociada con prácticas culturales en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(36): 65-80.
- Boertje, G.A. 1983. Physical laboratory analyses of potting composts. *Acta Horticulturae*. 150: 47-50
- Burés, S. 1997. Sustratos. Agrotécnicas S. L. Madrid, España. 342 p.
- Burés, S., M. C. Gago, O. Morales, O. Marfá and F. X. Martínez. 1997. Water characterization in granular materials. *Acta Horticulturae* 450: 389-396.
- Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 5-11.
- Castro-Garibay, S. L. 2016. Crecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* en vivero, con diferentes sustratos, formas de fertilización y tipo de envase. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México. 63 p.
- De Boodt, M., O. Verdonck and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2072.
- Dewayne, L. I., R.W. Henley and T. H. Yeager. 1993. Growth media for container grown ornamental plants. University of Florida. Recuperado 10 de noviembre del 2015, de <http://organicsoiltechnology.com/wp-content/uploads/Partical-sizes.pdf>. pp: 1-16.

- Duryea, M. L. 1985. Evaluating seedling quality: Importance to reforestation. *In*: M. L. Duryea, (ed.): Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major test. Oregon State University. Oregon. pp: 1-4.
- Dvorak, W. S. 2002. *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. *In*: J. A. (ed.): Tropical Tree Seed Manual Agricultural Handbook 721. USDA, Forest Service. pp: 632-635.
- Eckenwalder, J. E. 2009. Conifers of the world: The complete reference. 2^a Ed. Timber Press. Portland, Oregon. 720 p.
- Escamilla-Hernández, N., J. J. Obrador-Olán, E. Carrillo-Ávila y D. J. Palma-López. 2015. Uso de fertilizantes de liberación controlada en planta de teca (*Tectona grandis*), en la etapa de vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38: 229-233.
- Fernandes, C. y J. E. Corá. 2004. Bulk density and relationship air/water of horticultural substrate. *Scientia Agricola* 61: 446-450.
- García-Pérez, J. L., A. Aldrete, J. López-Upton, J. J. Vargas-Hernández y J. A. Prieto-Ruíz. 2015. Efecto de la condición ambiental y la fertilización en el precondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38: 297-304.
- Gómez, E. A., L. A. Ríos y J. D. Peña. 2012. Madera, un potencial lignocelulósico para la producción de biocombustibles en Colombia. *Información tecnológica* 23: 73-86.
- Hernández-Pérez, F. y S. Torres-Lamas. Niveles críticos nutrimentales preliminares para especies forestales de México a nivel de vivero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México. 151 p.

- Hernandez-Zarate, L., A. Aldrete, V. M. Ordaz-Chaparro, J. López-Upton y M. A. López-López. 2014. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48: 627-637.
- Klougart, A. 1983. Substrates and nutrient flow. *Acta Horticulturae* 150:297-312.
- Landis, T. D., 1989. Mineral nutrients and fertilization. *In*: T. D. Landis, R. W. Tinus, S. E. McDonald, and J. P. Barnett (eds). *The Container Tree Nursery Manual. Volume 4. Agriculture. Handbook 674.* USDA, Forest Service. Washington, DC. pp: 1-67.
- Landis, T. D. 1990. Growing media. *In*: T. D. Landis, R. W. Tinnus, S. E. McDonald, J. P. Barnett (eds.). *The container Tree Nursery Manual. Volume 2. Agriculture. Handbook 674.* USDA, Forest Service. Washington, DC. pp: 41-87.
- Landis, T. D. y R. K. Dumroese. 2009. Using polymer coated controlled release fertilizers in the nursery and after outplanting. *In*: R. K. Dumroese, T. D. Landis, R. Watson, and L. Hutchinson, (eds). *Forest Nursery Notes.* USDA, Forest Service. Washington, DC. pp: 5-12.
- Leonardo-Lugo, S., C. Argenis-Mora, C. Suárez y M. Montarulio. 2006. Relación entre la mortalidad y los suelos en la plantaciones de Pino caribe del oriente de Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana* 39: 57-83.
- Maldonado-Benítez, K. R., A. Aldrete, J. López-Upton, H. Vaquera-Huerta y V. M. Cetina-Alcalá. 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego en vivero. *Agrociencia* 45: 389-398.

- Mateo-Sánchez, J. J., R. Bonifacio-Vázquez, S. R. Pérez-Ríos, L. Mohedano-Caballero y J. Capulín-Grande. 2011. Producción de *Cedrela odorata* L., en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tecpan de Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai*. 7(1): 123-132.
- Mathers, H. M., S. B. Lowe; C. Scagel, D. K. Struve and L. T. Case. 2007. Abiotic factors influencing root growth of woody nursery plants in containers. *HortTechnology* 17(2): 151-162.
- Morales-González, E., J. López-Upton, J. J. Vargas-Hernández, C. Ramírez-Herrera y A. Gil-Muñoz. 2013. Parámetros genéticos de *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 155-162.
- Morales-Munguía, J. C., M. V. Fernández-Ramírez, A. Montiel-Cota, B. C. Peralta-Beltrán. 2009. Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y desarrollo de la lombriz (*Eisenia foetida*). *Biotecnia* 11:19-26.
- Muñoz-Flores, H. J., J. T. Sáenz-Reyes, V. M. Coria-Avalos, J. J. García-Magaña, J. Hernández-Ramos, y G. E. Manzanilla-Quijada. 2015. Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(27):72-89.
- Narave-Flores, H. y K. Taylor. 1997. Flora de Veracruz. Fascículo 98. Instituto de Ecología A. C., Xalapa, Ver. 51 p.
- Navarro-Sandoval, J. L., J. J. Vargas-Hernández, A. Gómez-Guerrero, L. M. Ruíz-Posadas y P. Sánchez-García. 2013. Morfología, biomasa y contenido nutrimental en *Abies religiosa* con regímenes diferentes de fertilización en vivero. *Agrociencia* 47: 707-721.

- NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-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.
- Oliet, J., M.L. Segura, F. Martín-Domínguez, E. Blanco, R. Serrada, M. López-Arias y F. Artero. 1999. Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. *Sistemas y Recursos Forestales* 8: 207- 228.
- Perry, J. P. 1991. *The Pines of Mexico and Central America*. Timber Press. Portland, Oregon. 234 p.
- Prasad, M. and N. D. Chualáin. 2004. Relationship between particle size and air space of growing media. *Acta Horticulturae*. 648:161-166.
- Prieto-Ruíz, J. A., P. A. Domínguez-Calleros, E. H. Cornejo-Oviedo y J. J. Návar-Cháidez. 2007. Efecto del envase y del riego en vivero en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. *Madera y Bosques* 13: 79-97.
- Prieto-Ruíz, J. A., P. A. Domínguez-Calleros, J. de J. Návar-Chaidez y E. H. Cornejo-Oviedo. 2004. Factores que influyen en la producción de planta de *Pinus cooperi* en vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 10: 63-70.
- Prieto-Ruíz, J. A., J. L. García-Rodríguez, J. M. Mejía-Bojórquez, S. Huchín-Alarcón y J. L. Aguilar-Vitela. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Publicación especial No. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. 49 p

- Prieto-Ruíz, J. A., G. Vera-Castillo y E. Merlín-Bermúdez. 2003. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico No. 12. Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. 24 p.
- Quevedo-Guevara, A. 1993. Influencia del humus de lombricultura en el crecimiento inicial de cedro colorado en plantación en campo abierto y comportamiento al ataque de *Hypshiphylla* sp. Folia Amazónica 5: 49-57.
- Reyes-Millalón, J., V. Gerding, O. Thiers-Espinoza. 2012. Fertilizantes de liberación controlada aplicados al establecimiento de *Pinus radiata* D. Don en Chile. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 18: 313-326.
- Reyes-Reyes, J., A. Aldrete, V. M. Cetina-Alcalá y J. López-Upton. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. apulcensis en sustratos a base de aserrín. Revista Chapingo. 11: 105-110.
- Retureta-Aponte, A., C. A. Tinoco-Alfaro, G. Castillo-Capitán y N. Carrión-Osorio. 2014. Comparación de sustratos para producción de caoba *Swietenia macrophylla* King, con semillas colectadas del río Michapan de Acayucan, Veracruz, México. Biológico Agropecuario Tuxpan 2: 261-265.
- Rodríguez-Trejo, D. A. 2008. Indicadores de Calidad de Planta Forestal. Mundi-Prensa. México. 156 p.
- Rodríguez-Trejo, D. A. y M. L. Duryea. 2003. Indicadores de calidad de planta en *Pinus palustris* Mill. Agrociencia 37: 299-307.

- Rose, R., D. L. Haase y E. Arellano. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque* 25(2): 89-100.
- Rueda-Sánchez, A., J. D. Benavides-Solorio, J. T. Sáenz-Reyes, H. J. Muñoz-Flores, J. A. Prieto-Ruiz y G. Orozco-Gutiérrez. 2012. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(22): 58-73.
- Sáenz-Reyes, J. T., H. J. Muñoz-Flores, C. M. A. Pérez D., A. Rueda-Sánchez y J. Hernández-Ramos. 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.
- Salto, C. S., L. Harrant, G. P. J. Oberschelp y M. Ewens. 2016. Crecimiento de plantines de *Prosopis alba* en diferentes sustratos, contenedores y condiciones de vivero. *Bosque* 37(3): 527-537.
- Sánchez-Córdova, T., A. Aldrete, V. M. Cetina-Alcalá y J. López-Upton. 2008. Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques* 14(2): 41-49.
- Schollenberger, C. J. 1945. Determination of soil organic matter. *Soil science* 59: 53-56.
- Sigala-Rodríguez, J. A., M. A. González-Tagle y J. A. Prieto-Ruíz. 2015. Supervivencia de plantaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en función del sistema de producción y preacondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(30): 20-31.
- Sosa-Pérez G. y D. A. Rodríguez-Trejo. 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: 35-43.

- Thompson, B. E. 1985. Seedling morphological evaluation what you can tell by looking. *In*: M. L. Duryea (ed.). Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Test. Oregon State University. Oregon. pp: 59-71.
- Vande-Hey, J. M. 2007. Production of conifer bareroot seedlings using controlled release fertilizer. *Native Plants Journal* 8(3): 288-293.
- Vargas-Tapia, P., J. Z. Castellanos-Ramos, J. J. Muñoz-Ramos, P. Sánchez-García, L. Tijerina-Chávez, R. M. López-Romero, C. Martínez-Sánchez y J. L. Ojodeagua-Arredondo. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México* 34: 323-331.
- Vela-Gálvez, L. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula* Schlecht. *et* Cham. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. 109 p.
- Villar-Salvador, P. 2003. Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. *In*: J. M. Rey-Benayas, T. Espigares-Pinilla y J. M. Nicolau-Ibarra (ed). Restauración de ecosistemas mediterráneos. Universidad de Alcalá. pp: 65-86.
- Wilson, G. C. S. 1983. The physico-chemical and physical properties of horticultural substrates. *Acta Horticulturae* 150:19-32.