



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

Crecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* en vivero, con diferentes sustratos, formas de fertilización y tipo de envase

SANDRA LUZ CASTRO GARIBAY

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS FORESTALES

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

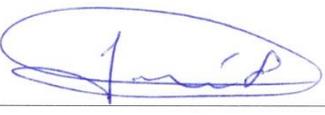
2016

La presente tesis titulada: “Crecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* con diferentes sustratos formas de fertilización y tipo de envase”, realizada por la alumna: **Sandra Luz Castro Garibay**, 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, septiembre de 2016

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado para realizar mis estudios de maestría.

Al personal académico del Colegio de Postgraduados por facilitar mi formación académica en sus aulas.

Al Dr. Arnulfo Aldrete por su dirección y disposición en la asesoría para realizar esta investigación.

Al Dr. Javier López Upton por sus valiosas aportaciones, facilidades, apoyo y asesoría brindada.

Al Dr. Víctor Manuel Ordaz Chaparro por la revisión del presente documento.

Al personal del Laboratorio de Física de Suelos, por el apoyo y facilidades brindadas para realizar las pruebas en los sustratos utilizados.

DEDICATORIAS

A mi mamá Elvia Garibay Chávez por el cariño, paciencia, apoyo incondicional que siempre me brinda, por festejar mis logros y darme su mano en mis caídas.

A mis hermanos Juan Carlos, Jorge Luís, Francisco Javier, Ana María, Andrea por el apoyo y confianza que siempre han tenido en mí.

A mis sobrinos Emily, Eduardo y Marcos porque escuchar la palabra “tía” es realmente hermoso.

A la familia Garibay Chávez por los consejos y apoyo brindado en todo momento.

A Iris Jacaranda e Itsi Natalia, por permitirme ser parte de su pequeña pero hermosa familia y estar conmigo siempre.

A mis amigos Iris Jacaranda, Héctor Alfredo, Nichdali, Luís Fernando, María Tonatzín, Francisco, Leticia Alejandra.

Con cariño Sandra.

CONTENIDO

RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Sustratos	4
2.2 Fertilización.....	5
2.2.1 Fertilizantes de liberación controlada	6
2.3 Envases.....	7
2.4 Calidad de planta.....	9
2.4.1 Arquitectura de raíz.....	10
CAPÍTULO III. EFECTO DEL ENVASE, SUSTRATO Y FERTILIZACIÓN EN EL CRECIMIENTO DE <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López EN VIVERO.	12
RESUMEN	12
3.1 INTRODUCCIÓN	13
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.2.1 Área de estudio.....	14
3.2.2 Insumos utilizados.....	14
3.2.3 Tratamientos establecidos	15
3.2.4 Manejo de la producción	16
3.2.5 Variables evaluadas.....	16
3.2.6 Diseño experimental y análisis estadístico.....	17
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
3.3.1 Propiedades físicas y químicas de los sustratos	17
3.3.2 Características morfológicas de las plantas.....	18
3.3.3 Índices de calidad de planta	24
3.3.4 Contenido nutrimental en el follaje.....	25

3.4	CONCLUSIONES	27
CAPÍTULO IV. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUSTRATOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE <i>P. greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López EN VIVERO.		
		28
	RESUMEN	28
4.1	INTRODUCCIÓN	29
4.2	MATERIALES Y MÉTODOS	30
4.2.1	Propiedades físicas	31
4.2.2	Propiedades químicas	32
4.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.4	Propiedades químicas.....	39
4.5	CONCLUSIONES	41
CAPÍTULO V. ARQUITECTURA DE RAÍZ EN PLÁNTULAS DE <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López PRODUCIDAS EN VIVERO		
		42
	RESUMEN	42
5.1	INTRODUCCIÓN	43
5.2	MATERIALES Y MÉTODOS	44
5.2.1	Diseño experimental y análisis estadístico.....	46
5.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
5.3.1	Arquitectura de raíz	46
5.3.2	Deformación de raíz	52
5.4	CONCLUSIONES	54
CAPÍTULO VI. LITERATURA CITADA		
		55

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos establecidos para la producción en vivero de planta <i>P. greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López.	15
Cuadro 2. Características físicas y químicas de los sustratos utilizados en la producción de <i>P. greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López.	18
Cuadro 3. Análisis de varianza para las características morfológicas e índices de calidad de planta en plantas de <i>P. greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López producidas en vivero.	19
Cuadro 4. Prueba de comparación de medias para las características morfológicas e índices de calidad de planta de <i>P. greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López producidas en vivero.	20
Cuadro 5. Concentración porcentual de nutrimentos N, P y K en el follaje de <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López.	26
Cuadro 6. Sustratos y proporciones utilizadas.	30
Cuadro 7. Porcentaje de agua liberada en los sustratos utilizados.	39
Cuadro 8. Valor inicial y final del pH y CE de los sustratos utilizados en la producción de <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López.	40
Cuadro 9. Relación C:N inicial y final para los sustratos utilizados en la producción de <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López.	41
Cuadro 10. Análisis de varianza para las características de arquitectura de raíz en plantas de <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López producidas en vivero.	47
Cuadro 11. Valores promedio para las características de arquitectura de raíz en plantas de <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López producidas en vivero.	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Interacción entre diseño de envases y sustratos utilizados en la producción de <i>P. greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López, para la variable diámetro al cuello de la raíz.	22
Figura 2. Porosidad de los sustratos utilizados en la producción de <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López	34
Figura 3. Proporción (%) del tamaño de las partículas en los sustratos utilizados en la producción de <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López.....	35
Figura 4. Curva de retención de agua para los sustratos utilizados en la producción de <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López	36
Figura 5. Curva de liberación de agua para S1: 60% turba de musgo, 20% vermiculita y 20% perlita.	37
Figura 6. Curva de liberación de agua para S2: 60% corteza, 20% turba de musgo y 20% aserrín.	38
Figura 7. Curva de liberación de agua para S3: 60% aserrín, 20% turba de musgo y 20% corteza.	38
Figura 8. Separación de raíces de plantas de <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i> ; RP: raíz principal; RLPO: raíces laterales de primer orden y RLSO: raíces laterales de segundo orden.	44
.....	45
Figura 9. Determinación del orden de raíces en plantas de <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i>	45
Figura 10. Clasificación de raíces de acuerdo al tipo de deformación.	45
Letras iguales en el tipo de envase no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).....	51
Figura 11. Interacción entre tipo de envases y sustratos para la variable raíces laterales de segundo orden (RLSO) en plantas de <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López.	51
Figura 12. Interacción entre el tipo de envases y sustratos para la variable orden de raíces en plantas de <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i> Donahue & López.	52
Figura 13. Proporción de raíces rectas y deformes por tipo de envase en plantas de <i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i>	53

CRECIMIENTO DE *Pinus greggii* var. *australis* EN VIVERO, CON DIFERENTES SUSTRATOS, FORMAS DE FERTILIZACIÓN Y TIPO DE ENVASE

Sandra Luz Castro Garibay, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

El sustrato, la fertilización y el tipo de envase modifican las características morfológicas y fisiológicas de las plantas, además de la arquitectura de raíz durante la etapa de vivero. Se evaluó el efecto de la interacción de envases, sustratos y fertilización en la morfología de plántulas de *Pinus greggii* var. *australis* de 7 meses de edad, así como su arquitectura y deformación en la raíz principal. Se compararon las características físicas y químicas de los sustratos. Los envases utilizados fueron dos tipos: liso y con aberturas laterales, con un volumen de 230 mL. Tres mezclas como sustratos: S1) turba de musgo, perlita y vermiculita; S2) corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino; S3) aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino; todas en proporción 3:1:1 (v:v:v), para cada uno de sus componentes. La fertilización se realizó con Osmocote Plus® (15N - 9P - 12K), con dosis de $8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ en dos formas: F1) solo fertilizante de 8-9 meses de liberación, y F2) con una mezcla compuesta de $4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de fertilizante de 5-6 meses y $4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de 8-9 meses de liberación. Las plántulas producidas en el envase con paredes lisas presentaron los valores más altos en la evaluación morfológica, en comparación con los de aberturas laterales. Los resultados de arquitectura de raíz demostraron que las raíces generadas en los envases con aberturas laterales presentan una mejor estructura, además de disminuir la deformación de la raíz principal. El sustrato S3 con 60 % de aserrín presenta características físicas y químicas idóneas para la producción de planta y puede ser comparable con la mezcla S1 con 60% de turba de musgo. En el caso de las formas de fertilización resultaron no significativas en las variables evaluadas.

Palabras clave. Características morfológicas, arquitectura de raíz, sustratos alternativos, fertilizante de liberación controlada

GROWTH OF *Pinus greggii* var. *australis* IN NURSERY, IN DIFFERENT SUBSTRATES,
FORMS OF FERTILIZATION AND TYPE OF CONTAINER

Sandra Luz Castro Garibay, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2016

ABSTRACT

The substrate, fertilization and diferents containers modifies morphological and physiological seedlings characteristics and root architecture at nursery stage. The effect to interactions between containers, substrates and fertilization were evaluated morphological characteristics of 7 months age *Pinus greggii* var. *australis* and its main root architecture and root deformation. Physical and chemical characteristics os the substrates utilized were compared. The containers utilized were close wall and airlit both 230 mL. Three substrates mixes were uses S1) peat moss, perlite and vermiculite; S2) pine bark, peat moss and pine sawdust; S3) pine sawdust, peat moss and pine bark. The mixes proportion were 3:1:1 (v:v:v) respectly. The fertilizer used Osmocote Plus® (15N – 9P – 12K), applying 8 g L⁻¹ dose in two forms: F1) 8 – 9 months controlled release fertilizers, F2) a mixe 5 – 6 and 8 – 9 months controlled release fertilizers (50% - 50%). Seedlings grown in close wall containers exhibit better morphological characteristics out come tan airlit container. Results shown that root growing at airlit container present better structure and less deformation in main root tan close wall containers. Substrate S3 present physical and chemical characteristics similat to S1 that is wide used in nursery plant production. The two forms fertilization used has not impact in variables evaluated.

Keywords. Morphological characteristics, root architecture, alternatives substrates, controlled release fertilizers

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los insumos como el envase y el sustrato, así como las prácticas culturales empleadas en el proceso de producción de planta como el riego y fertilización, influyen en las características morfológicas y fisiológicas finales de las plantas (Peñuelas y Ocaña, 2000; Grossnickle, 2012). En México la producción de planta se realiza principalmente en charolas de poliestireno, sustrato a base de turba de musgo y fertilizantes hidrosolubles (FHS).

El diseño de envase utilizado modifica la morfología de las raíces, presentándose en algunos casos raíces con alguna deformación que pueden afectar la capacidad de absorción de agua y nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas (Haase *et al.*, 2015; Luna *et al.*, 2009). Algunas de las alternativas que se han utilizado para disminuir las deformaciones de la raíz incluyen la poda química utilizando hidróxido de cobre y el uso de envases con aberturas laterales (Barajas *et al.*, 2004; Landis, 2005).

Además, las características físicas, químicas y biológicas del sustrato pueden afectar el crecimiento de las plantas (Mathers *et al.*, 2007). La turba de musgo ha sido por muchos años el componente principal del sustrato utilizado para la producción de planta en diversos tipos de envases por sus características favorables, sin embargo, presenta algunas desventajas como costos altos de producción (Aguilera *et al.*, 2016). Por otro lado, los sustratos alternativos compuestos por materiales locales como el aserrín y la corteza de pino son una opción para minimizar costos. Sin embargo, algunos autores mencionan que, al utilizar aserrín crudo en la producción de plantas, la disponibilidad de nitrógeno es afectada, por lo que es necesario tomar algunas precauciones en los procesos de nutrición (Miller y Jones, 1995).

La nutrición de las plantas usualmente se realiza con fertilizantes hidrosolubles (FHS) que son aplicados en el riego, con pérdida de nutrimentos hasta en 30 % (Landis y Dumroese, 2009). Por otro lado, dicha pérdida se puede minimizar con la utilización de fertilizantes de liberación controlada (FLC), donde la transferencia paulatina de los nutrimentos al sustrato es su mayor ventaja (Oliet *et al.*, 1999; Rose *et al.*, 2004).

Estudios recientes realizados en el ámbito de producción de planta, han demostrado que algunos sustratos alternativos como el aserrín crudo y la corteza de pino compostada, en combinación con el uso de FLC y envases con diseños que promueven sistemas radicales más naturales, son aptos para obtener plantas con tallas adecuadas para los programas de reforestación con fines de conservación o recuperación de áreas degradadas (Torrente y Pemán, 2004; Mateo *et al.*, 2011; Hernández *et al.*, 2014; Escamilla *et al.*, 2015; Aguilera *et al.*, 2016; Sánchez *et al.*, 2016;).

Un aspecto importante pero poco estudiado en la producción de planta, es la arquitectura de raíces, donde son importantes las raíces finas ya que con estas el suministro de agua y nutrimentos aumenta, además de mitigar el impacto de trasplante (Grossnickle, 2005; Davis y Jacobs, 2005). Luna *et al.* (2009), mencionan que árboles con raíces compactadas (tupidas) establecidos en campo, son tirados por el viento. Por lo que un sistema de raíces apropiado garantiza a la planta además del correcto anclaje en el suelo, el suministro adecuado de agua y nutrimentos.

Con el propósito promover la utilización de sustratos alternativos, fertilizantes de liberación controlada y diseño de envases que promueven un sistema radical más natural, se evaluaron tres sustratos, dos formas de fertilización y dos diseños de envase en la producción de *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López. Las características morfológicas de las plantas (altura, diámetro, peso seco área y peso seco de raíces) se evaluaron siete meses después de realizar la siembra, además de determinar la concentración de nutrimentos en el follaje (N, P y K) y los índices de calidad de planta (índice de esbeltez, relación peso seco aéreo/ peso seco de raíces e índice de calidad de Dickson).

Las características físicas (porosidad, granulometría, curvas de retención y liberación de agua) y químicas (pH, CE, relación carbono:nitrógeno) de los sustratos se determinaron al inicio de la producción de planta; mientras que al final de dicho proceso se tomaron algunas características como porosidad, pH, CE y relación C:N.

Con relación a las raíces, se realizó el estudio de arquitectura de raíz (longitud de raíz principal y raíces laterales de primer orden, número de raíces laterales de primer y segundo orden y en crecimiento activo, orden de raíces, peso seco de raíces, volumen) y la presencia de deformaciones del sistema radical debido al tipo de envase utilizado.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Sustratos

El desarrollo de los sustratos hortícolas tiene su origen en el cultivo de plantas en envases. Esos son materiales orgánicos o minerales, que de manera pura o mezclada se utilizan para la germinación de semillas hasta la producción de plantas (Burés, 1997). Los sustratos más utilizados son: turba de musgo, perlita, vermiculita, corteza y aserrín de pino, cáscaras vegetales, tezontle y tepojal. De hecho, las plantas pueden ser cultivadas y sobrevivir en cualquier medio de cultivo, siempre y cuando las raíces puedan penetrar en el medio (Abad *et al.*, 2004).

Cualquiera que sea el origen del sustrato, es importante conocer las características físicas de este (porosidad, granulometría, densidad real, densidad aparente), químicas (pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, relación carbono: nitrógeno) y biológicas (contenido de materia orgánica, estado y velocidad de descomposición), ya que dichas características pueden intervenir en el proceso de nutrición de la planta (Quiroz *et al.*, 2009; Pastor, 2000).

El sustrato debe presentar características físicas y químicas que, combinadas con un programa integral de manejo, permita el crecimiento óptimo de las plantas (Cabrera, 1995). Estas características deben ser pH ligeramente ácido, elevada capacidad de intercambio catiónico, baja fertilidad inherente, porosidad adecuada y libre de plagas y enfermedades (Landis *et al.*, 1990).

El sustrato más utilizado en la producción de planta forestal en México es la turba de musgo, siendo este un material de extracción, importación y costoso en comparación con otros sustratos. Aguilera *et al.* (2016), realizaron un análisis de los costos por litro de sustrato utilizado en la producción de *Pinus montezumae* Lamb., el precio del sustrato a base de turba de musgo superó al compuesto por aserrín de pino en más del 50%, incluido el fertilizante de liberación controlada (Aguilera *et al.*, 2016).

En los últimos años la búsqueda de sustratos alternativos no extractivos ha sido necesaria e importante para la producción de planta en el ámbito forestal, hortícola, ornamental y frutícola. En

lo referente al ámbito forestal existen trabajos de investigación en diferentes especies, encaminados a resolver dicha necesidad.

En la producción de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* la utilización de aserrín crudo permite producir plantas sin efectos tóxicos y características morfológicas apropiadas (Reyes *et al.*, 2005).

Para *Cedrela odorata* L. los sustratos a base de aserrín de pino, puede sustituir hasta en un 90% al sustrato de turba de musgo (Mateo *et al.*, 2011).

Maldonado *et al.* (2011), demostraron que el sustrato compuesto por corteza y aserrín (20% - 80%) tiene éxito como medio de crecimiento en la producción de *Pinus greggii* Engelm.

Prieto *et al.* (2013) usaron sustratos compuestos por diferentes proporciones de corteza de pino, y demostraron que la corteza proporciona medidas óptimas en la producción de plantas de *Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd., además de disminuir los gastos en relación al medio de cultivo.

Plantas de *Pinus montezumae* Lamb., generadas con corteza y aserrín de pino, alcanzan las dimensiones adecuadas para llevarlas a campo, permitiendo la sustitución de turba de musgo como sustrato (Hernández *et al.*, 2014).

Aguilera *et al.* (2016) utilizaron mezclas de aserrín, corteza de pino compostada y vermiculita (70:15:15) y de turba de musgo, perlita y vermiculita (60:20:20), en la producción de *P. montezumae* Lamb., encontrando que las plantas generadas con la primera mezcla, presentan características morfológicas comparables con la segunda.

2.2 Fertilización

Dentro de las prácticas culturales en la producción de planta, la fertilización es una de las que presenta mayor influencia en la calidad final de estas (Landis, 1989). Suprimir dicha práctica

afecta los atributos morfológicos y fisiológicos, disminuyendo la supervivencia en campo (Oliet *et al.*, 1999).

2.2.1 Fertilizantes de liberación controlada

Estos son productos que no liberan al 100% los nutrientes al momento de aplicarlos, sino se aportan poco a poco, poniendo a disposición de la planta una pequeña parte en cada momento, logrando así una mayor eficiencia de uso por el cultivo. La entrega de los nutrientes es variable según el producto y depende de los niveles de humedad del suelo, la temperatura y/o la actividad microbiológica (Rose *et al.*, 2004; Salgado y Núñez, 2010).

La limitante del uso de los fertilizantes de liberación controlada (FLC) es su costo, que alcanza de 1.93 a 5.62 veces el precio de los fertilizantes convencionales (Salgado y Núñez, 2010). Las ventajas más claras de FLC son el suministro de nutrientes por un tiempo prolongado, la eficiencia en la liberación, las pérdidas mínimas por lixiviación, las probabilidades de daños por toxicidad se reducen y las plantas llevan ciertas reservas de fertilizante al momento que son establecidas en campo (Rose *et al.*, 2004; Landis y Morgan, 2009).

A pesar de presentar ventajas en la forma de incorporar los nutrientes a las plantas, los FLC también presentan desventajas como es: la liberación variable de nutrientes, el control en la concentración, el balance inadecuado de nutrientes en el sustrato, y la distribución heterogénea de las partículas de fertilizante en el sustrato (Landis, 1989; Landis y Dumroese, 2009).

La liberación variable de los nutrientes puede afectar el desarrollo de las plantas, principalmente la liberación tardía de fósforo (P), debido a que dicho elemento es requerido en una etapa temprana por las plantas (Landis y Dumroese, 2009). La liberación de nutrientes en los FLC es principalmente N, K y P (Broschat, 2005).

Varios autores han trabajado en producción de planta forestal utilizando solamente fertilizantes de liberación controlada. Por ejemplo:

Reyes *et al.* (2012) en el establecimiento de *Pinus radiata* D. Don en plantaciones forestales, encontraron que los FLC provocaron crecimientos similares a los fertilizantes hidrosolubles (FHS); sin embargo, en el cuarto año los árboles fertilizados con FLC obtuvieron los mejores crecimientos, en comparación con los que no tuvieron fertilización y con FHS.

Bustos *et al.* (2008) usaron en la producción de planta de *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Blume, *Nothofagus nervosa* (Phil.) Dimitri *et* Milano y *Eucryphia cordifolia* Cav. utilizaron Osmocote® (18-6-12) con tres dosis de fertilización 2.5, 5.0 y 7.5 g L⁻¹, siendo las dosis media y alta las que presentaron mejores valores en características morfológicas y cantidad de biomasa. Por otra parte, Santelices *et al.* (2011) utilizaron Osmocote® (18-6-12) en la producción de *Nothofagus alessandrii* Espinosa con tres niveles de fertilización 4, 6 y 10 g L⁻¹, siendo la dosis más baja con la cual las plantas presentaron atributos morfológicos e índices de calidad adecuados.

Escamilla *et al.* (2015) utilizaron Basacote® (16N-8P-12K), Osmocote® (15N-9P-12K) y Multicote® (18N-6P-12K) con tres dosis para cada uno: 10, 20 y 30 g L⁻¹; en la producción de plantas de teca, donde los fertilizantes Osmocote® y Basacote® presentaron el mayor crecimiento en las variables morfológicas y en los índices de calidad de planta.

Aguilera *et al.* (2016), emplearon Basacote® Plus 16-8-12+M E, Multicote® 18-6-12+2Mg+M E. y Osmocote Plus® 15-9-12+M.E., con tres dosis para cada uno 4, 6 y 8 g L⁻¹ en plantas de *P. montezumae* Lamb.; donde las plantas con las dosis media y alta de cada fertilizante presentaron características morfológicas recomendables para ser utilizadas en reforestaciones.

2.3 Envases

El envase utilizado en la producción de planta, dependerá de los objetivos del vivero además de condicionar las características morfológicas y fisiológicas de las plantas y el tipo de prácticas culturales a realizar (Landis, 1990; Peñuelas y Ocaña, 1993).

Luna *et al.* (2009)

mencionan algunos puntos favorables para el uso de diferentes tipos de envases en la producción de plantas:

- Las plantas que desarrollan raíces poco profundas y fibrosas, crecen mejor en recipientes cortos.
- Las plantas con raíces pivotantes presentan mejores crecimientos en envases altos.
- Las plantas con raíces gruesa, bulbos, rizomas crecen mejor en recipientes anchos.

El tamaño del envase deberá ser de acuerdo a la especie que se propagará, el cual está en función del volumen, profundidad y diámetro. Dichas características impactan principalmente en el crecimiento y desarrollo de raíces y parte aérea, de igual manera la cantidad de agua y disponibilidad de nutrimentos. El volumen reducido en los recipientes puede causar condiciones estresantes en la raíz, porque la temperatura durante el día puede fluctuar hasta los 30 °C en el sustrato (Peñuelas y Ocaña, 1993; Cabrera, 1999; Domínguez *et al.*, 2000; Luna *et al.*, 2009).

La mayoría de los envases presentan costillas laterales en el interior y agujeros de drenaje en la base, para realizar podas de raíces, evitando la deformación y enrollamiento de estas (Domínguez, 2000). El revestimiento de cobre en los envases, fue la primera innovación utilizada en los viveros, para atacar las deformaciones de raíz. Sin embargo, la toxicidad, la lixiviación y las deficiencias inducidas de otros micronutrimentos, ha limitado su uso. Actualmente varias compañías han desarrollado recipientes que cuentan con canales de circulación laterales, para controlar la deformación de la raíz mediante la poda con aire; pero existen ciertos inconvenientes en la utilización de estos envases: 1) las raíces interrumpen su crecimiento según los canales de circulación presentes y 2) el agua se pierde de manera más rápida en comparación con los envases de paredes sólidas (Landis, 2005; Luna *et al.*, 2009).

Existen varios trabajos enfocados en especies forestales producidas en diferentes tamaños y diseños de envases, evaluando el impacto sobre el crecimiento en altura y deformación de raíces. En la caracterización de la morfología aérea y raíces de *Pinus pinea* L. y *Quercus coccifera* L., producidos en envases con paredes cerradas y abiertas, se demostró que las características de la

parte aérea fueron mejor en los envases con paredes cerradas, en contraste la morfología de la raíz resultó mejor en los envases con paredes abiertas (Torrente y Pemán, 2004).

Encinos producidos en envases tipo paperpot con diferentes profundidades, demostraron que las plantas producidas en envases profundos, desarrollan la raíz principal más larga y con mayor biomasa de raíces laterales (Chirino *et al.*, 2005).

En la evaluación del crecimiento de *Pinus radiata* D. Don, en envases con diferentes diseños, demostrándose que los envases con paredes abiertas favorecen la calidad de las raíces (Ortega *et al.*, 2006).

El crecimiento en campo de *Pinus cooperi* Blanco, producidas en vivero en envases de 80 y 170 mL, concluyendo que el volumen del recipiente influye en el desempeño de las plantas en campo (Prieto *et al.*, 2007).

2.4 Calidad de planta

Las plantas de calidad son aquellas que presentan alta supervivencia y un buen desempeño en campo (Duryea, 1985); aunque la supervivencia de estas se ve afectada por varios factores: el ambiente, la manipulación y las características morfológicas y fisiológicas de las plantas (South, 2000). La calidad de planta está determinada por características genéticas, morfológicas, fisiológicas y sanitarias (Villar, 2003); de la misma forma, éstas se encuentran relacionadas con los insumos y prácticas utilizados durante la producción de las plantas.

Dentro de las características morfológicas que se evalúan están: la altura, el diámetro al cuello de la raíz, la biomasa de la parte aérea y raíces, el volumen de raíz (Villar, 2003; Haase, 2007; Grossnickle, 2012) y con estas se obtienen los índices de calidad de planta: Relación peso seco de la parte aérea/ peso seco de raíces (PSA/PSR); Índice de Calidad de Dickson (ICD) e Índice de Esbeltez (IE).

Por otro lado, las características fisiológicas se ven influenciadas por el régimen de fertilización, fotoperiodo y riegos, entre otros. Los atributos fisiológicos más utilizados para predecir el rendimiento en campo son: el crecimiento potencial de raíz, la fuga de electrolitos, la actividad enzimática, el potencial hídrico, la conductancia del agua, nutrición y la reserva de carbohidratos (Mattsson, 1996; Haase, 2007; Grossnickle, 2012).

2.4.1 Arquitectura de raíz

Una característica importante pero poco estudiada en las plantas, es el crecimiento y desarrollo de la raíz, de la cual depende la absorción de agua y nutrimentos para los diferentes procesos fisiológicos. El estudio de la morfología de las raíces puede ser un predictor confiable, principalmente para sitios de plantación con poca disponibilidad de agua (Vilagrosa *et al.*, 2005). Algunas de las características morfológicas evaluadas son: el volumen, la fibrosidad de raíz, el número de raíces laterales de primer orden; y para la valoración fisiológica se utiliza el potencial de crecimiento de raíz (Davis y Jacobs, 2005).

La arquitectura de la raíz se refiere a la distribución espacial de la raíz primaria, las raíces laterales y los pelos radicales (Martínez *et al.*, 2013). Cuando la arquitectura de la raíz es afectada, el crecimiento tanto de las raíces laterales como de los pelos radicales disminuye, alterando la capacidad de absorción de agua, adquisición de nutrimentos y anclaje de las plantas (López *et al.*, 2003; Péret *et al.*, 2009).

La arquitectura de las raíces en las plantas producidas en envases está determinada por diversos factores como: el tipo de envases, los sustratos, el riego, la temperatura del sustrato y la fertilización. Aunado a esto existen diversos problemas de deformación de la raíz principal, como raíces enroscadas o rizadas. La deformación de la raíz principal en las plantas puede causar bajos porcentajes de supervivencia, anclaje débil en el suelo, propensión a enfermedades y anomalías vasculares que reducen la distribución hídrica, menor área foliar y volumen de raíz (Livingston, 1990; Lindström y Rune, 1999; Tsakalimi *et al.*, 2005; Gonçalves *et al.*, 2007; Arrieta *et al.*, 2014)

El crecimiento de plantas de *Pinus radiata* D. Don producidas en diferentes contenedores, demuestra que al utilizar un envase adecuado y una buena técnica de siembra, se puede disminuir la deformación de raíces (Ortega *et al.*, 2006).

CAPÍTULO III. EFECTO DEL ENVASE, SUSTRATO Y FERTILIZACIÓN EN EL CRECIMIENTO DE *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López EN VIVERO.

RESUMEN

El sustrato, la fertilización y el tipo de envase, modifican las características morfológicas y fisiológicas de planta forestal en vivero, lo cual se ve reflejado en el desempeño en campo. El objetivo principal fue evaluar el crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* var. *australis* mediante la interacción de envases, sustratos y dos formas de fertilización. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial ($2 \times 3 \times 2$). Los envases utilizados fueron dos tipos: liso y con aberturas laterales, con un volumen de 230 mL. Se evaluaron tres mezclas como sustratos: S1) turba de musgo, perlita y vermiculita; S2) corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino; S3) aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino; todas en proporción 3:1:1 (v:v:v), para cada uno de sus componentes. La fertilización se realizó con Osmocote Plus® (15N - 9P - 12K), con dosis de $8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ en dos formas: F1) solo fertilizante de 8-9 meses de liberación, y F2) con una mezcla compuesta de $4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de fertilizante de 5-6 meses y $4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de 8-9 meses de liberación. Después de 7 meses de la siembra, se determinó el diámetro al cuello de la raíz, la altura, el peso seco aéreo, el peso seco de raíces y los índices de esbeltez, relación peso seco aéreo/peso seco raíz y de calidad de Dickson.

Los envases y sustratos fueron significativos en todas las variables morfológicas e índices de calidad de planta. El propició valores mayores en altura (28.7 vs 23.6), diámetro (4.16 vs 3.86), peso seco aéreo (3.91 vs 2.99), índices de esbeltez (6.9 vs 6.1), calidad de Dickson (0.54 vs 0.42) y relación peso seco aéreo/peso seco de raíces (2.9 vs 3.3). Con S1 se obtuvo valores más altos a diferencia de S2 y S3. La fertilización resultó no significativa, se demuestra que se puede producir planta solo con fertilizantes de liberación controlada y sin deficiencias nutrimentales en biomasa foliar.

Palabras clave. Fertilizante de liberación controlada, características morfológicas, calidad de planta.

3.1 INTRODUCCIÓN

Los insumos como el envase y el sustrato, así como las prácticas culturales empleadas en el proceso de producción de planta como el riego y la fertilización, influyen en la calidad y desarrollo de las plantas en campo (Peñuelas y Ocaña, 2000; Grossnickle, 2012). Los envases además de afectar las características morfológicas y fisiológicas, impactan en la cantidad de agua y nutrimentos disponible para las plantas (Landis *et al.*, 1990; Peñuelas y Ocaña, 2000; Luna *et al.*, 2009).

Gran parte de los viveros forestales en México utilizan turba de musgo como componente principal de los sustratos; este es un material orgánico, de extracción, importado, de costo alto, así su uso incrementa el costo de producción de las plantas. Aguilera *at al.* (2016) realizaron un análisis de costos de producción de *Pinus montezumae* Lamb. en sustratos con base en turba musgo y aserrín de pino, encontrando que las plantas producidas con turba de musgo duplican su costo en comparación con aquellas con aserrín. Por lo que existe la necesidad de utilizar materiales alternativos para sustituir la turba de musgo como componente principal en los sustratos empleados.

Por otra parte, la nutrición de las plantas en la mayoría de los viveros se realiza con fertilizantes hidrosolubles (FHS), que son aplicados a través del sistema de riego. Esta forma de fertilización presenta pérdidas de nutrimentos por lixiviación y en ocasiones puede causar una sobre-fertilización en las plantas, provocando un desbalance entre la parte aérea y raíces. Para resolver esto se usan fertilizantes de liberación controlada (FLC), los cuales transfieren de forma gradual los nutrimentos al sustrato, minimizan el riesgo por toxicidad y pérdidas por lixiviación (Oliet *et al.*, 1999; Rose *et al.*, 2004; Landis y Dumroese, 2009).

Debido a que es necesario conocer las ventajas y desventajas de envases, sustratos y FLC, se han realizado investigaciones con especies forestales como: *P. montezumae* Lamb. (Hernández *et al.*, 2014; Aguilera *et al.*, 2016), *P. greggii* Engelm y *P. oaxacana* Mirov (Sánchez *et al.*, 2016), *P. pinea* L., *Quercus coccifera* L. (Torrente y Pemán, 2004), *Tectona grandis* L. (Escamilla *et al.*, 2015) y *Cedrela odorata* L. (Mateo *et al.*, 2011).

P. greggii var. *australis* Donahue & López, es una especie utilizada en los programas de reforestación en México, presenta características de adaptación a sitios con humedad limitante, recuperación de suelos degradados y altas tasas de crecimiento (Vargas y Muñoz, 1988; López *et al.*, 2004; Gómez *et al.*, 2012).

Por lo antes mencionado, el objetivo de este trabajo fue probar la eficiencia de dos tipos de envases, tres sustratos, y una dosis de fertilización (Osmocote ®) aplicada de dos formas, en la producción de *P. greggii* var. *australis* Donahue & López en vivero.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Área de estudio

La producción de planta se realizó en el vivero del Postgrado en Ciencias Forestales, del Colegio de Postgraduados, ubicado en Montecillo, Texcoco, estado de México, ubicado en 19° 29' L.N. y 98° 54' L.O, a una altitud de 2240 m. El clima es del tipo C (Wo) (w) b (1) g' que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 750 mm y una temperatura media anual de 15.5 °C, cuya oscilación térmica es de 5 a 7 °C (García, 1973).

3.2.2 Insumos utilizados

Envases. Se utilizaron dos tipos: E1) envases con drenaje típico de aberturas en el fondo del envase, y E2) envases con drenaje lateral que incluyó las mismas aberturas en el fondo y, además, tres aberturas de 5 mm de ancho circundantes en las paredes laterales dispuestas paralelas entre sí. Ambos E1 y E2 con volumen de 230 mL. Estos envases individuales de polipropileno son conocidos como tubetes y fueron colocados en mesas portatubetes con 25 cavidades.

Sustratos. Las mezclas de sustratos que se evaluaron fueron: S1) turba de musgo, perlita y vermiculita; S2) corteza de pino compostada, turba de musgo y aserrín de pino y S3) aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino compostada. La proporción en volumen de cada componente en todas las mezclas fue de 3:1:1.

Fertilización. Se emplearon fertilizantes de liberación controlada Osmocote Plus® (15N - 9P - 12K), aplicados en una dosis de 8 g·L⁻¹ de fertilizante en dos formas: F1) solo fertilizante de 8-9 meses de liberación y F2) una mezcla compuesta de 4 g·L⁻¹ de fertilizante de 5-6 meses y 4 g·L⁻¹ de liberación de 8-9 meses.

3.2.3 Tratamientos establecidos

De la combinación de dos tipos de envases, tres sustratos, y dos formas de fertilización de liberación controlada, se generaron 12 tratamientos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos establecidos para la producción en vivero de planta *P. greggii* var. *australis* Donahue & López.

Tratamiento	Envase	Sustrato	Dosis de FLC g·L ⁻¹	
			5-6 †	8-9†
1	E1. Envase con drenaje típico	S1		8
2			4 +	4
3		S2		8
4			4 +	4
5		S3		8
6			4 +	4
7	E2. Envase con aberturas laterales	S1		8
8			4 +	4
9		S2		8
10			4 +	4
11		S3		8
12			4 +	4

S1) turba de musgo, perlita y vermiculita; S2) corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino y S3) aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino, en proporción de 3:1:1 (v:v:v) para cada uno de sus componentes; † meses de liberación.

Cada tratamiento incluyó cinco mesas portatubetes o repeticiones. La unidad experimental para evaluar los tratamientos fue de 12 plantas por repetición, que se tomaron de la parte media de la mesa portatubetes, para evitar efectos de orilla. Las mesas portatubetes se acomodaron en un diseño completamente al azar sobre una estructura de metal dentro del invernadero del vivero. Las plantas se colocaron a la intemperie durante los dos últimos meses de crecimiento para permitir el proceso de endurecimiento.

3.2.4 Manejo de la producción

El experimento se estableció el 13 de marzo de 2015 con duración de 7 meses. Se utilizó semilla de *P. greggii* var. *australis* Donahue & López, de una mezcla masal de 15 árboles superiores, espaciados al menos 100 m entre ellos, cuya procedencia fue la comunidad “El Madroño, Querétaro”. Este bosque es de ambiente relativamente húmedo y tibio dentro de las demás localidades de la especie (Ramírez *et al.*, 2005). Las semillas se desinfectaron con una solución de cloro al 5 %, posteriormente se colocaron en agua oxigenada al 10 % para escarificarlas, cada proceso fue por cinco minutos. Después se remojaron por 24 h en agua a temperatura ambiente. Para la siembra se colocaron dos semillas por cavidad, y en caso de germinar ambas, se seleccionó la mejor y se eliminó la otra.

3.2.5 Variables evaluadas

Sustratos

La caracterización física y química de los sustratos se realizó en el Laboratorio de Física de suelos del Colegio de Postgraduados, utilizando cinco repeticiones para cada prueba realizada, las cuales fueron: Porosidad (Landis *et al.*, 1990), granulometría, curvas de liberación y retención de agua (De Boodt *et al.*, 1974), pH por el método del potenciómetro, CE por el método del conductímetro y relación carbono – nitrógeno (C:N). Las metodologías para obtener los resultados de estas pruebas se explican de manera más específica en el capítulo 4 de este documento.

Morfología de las plantas

Después de 7 meses de la siembra se midieron el diámetro al cuello de la raíz (DCR), 5 mm por arriba de la primera raíz con un vernier digital (0.01 mm), y la altura de la parte aérea con una regla graduada (0.1 mm), tomando como base la altura a la cual se midió el diámetro hasta la yema apical. Posteriormente, las plantas se cortaron y dividieron en parte aérea y raíces, se colocaron en bolsas de papel estraza y se pusieron dentro de un horno de secado con temperatura de 70 °C por 72 h. Después con una balanza analítica con aproximación de 0.01 g se obtuvo el peso seco de la parte aérea (PSA) y el peso seco de las raíces (PSR). Con los datos obtenidos, se calcularon el índice de esbeltez (IE), relación peso seco aéreo/ peso seco de las raíces (PSA/PSR) y el índice de calidad de Dickson (ICD), utilizando las siguientes fórmulas:

$$IE = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{DCR (mm)}}$$

$$PSA/PSR = \frac{PSA (g)}{PSR (g)}$$

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total de la planta (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{DCR (mm)}} + \frac{PSA(g)}{PSR(g)}}$$

Concentración de nutrimentos en el follaje

Después que se obtuvo el PSA, para cuantificar N, P y K se colocaron en bolsas de papel de estraza cinco acículas de la parte media de cada planta por tratamiento. Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados. La concentración de N en el follaje se determinó por el método semimicro-Kjeldahl (Bremner, 1965), utilizando ácido sulfúrico-salicílico para la digestión. La concentración de P y K se determinó mediante digestión húmeda del material seco, con una mezcla de ácidos perclórico y nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). La lectura de los extractos, se determinó en el equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma.

3.2.6 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar, con arreglo factorial $2 \times 3 \times 2$, resultado de dos tipos de envases, tres sustratos y dos formas de fertilización, representado por el modelo $Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$, donde A corresponde a los envases, B al sustrato y C a la forma de fertilización. Se realizó análisis de varianza con el software InfoStat® versión 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Propiedades físicas y químicas de los sustratos

La porosidad total (PT) varió de 77 % en S2 a 83 % en S3. La porosidad de aireación (PA) fue menor en S1 (19 %) y alcanzó el mayor valor (27 %) en S3. En relación con el porcentaje de porosidad de retención de agua (PRA), S1 presentó el mayor valor (63 %), y S2 el sustrato que presenta menor capacidad (54 %). La corteza (S2) y el aserrín de pino (S3) presentan los valores

mayores de C:N, 537 y 613, respectivamente, esto debido a la presencia alta de celulosa. Los sustratos presentan pH ácidos, siendo 5.3 para S1, 4.8 para S2 y 4.9 para S3. Los valores de CE variaron de 0.9 de S1 a 1.7 dS m⁻¹ de S3(Cuadro 2).

Los porcentajes mínimos de porosidad son: 70 % para PT, PA 10 % y PRA 55 % (Cabrera, 1999), en nuestro caso todos los sustratos evaluados se encuentran dentro del rango óptimo. El pH en los sustratos que contenían aserrín y corteza varió con la proporción de cada material. Hernández *et al.* (2014), reportan valores de 4.1 y 5.2, mientras que las mezclas analizadas por Sánchez *et al.* (2008), presentaron valores de 4.3 a 4.7. Landis *et al.* (1990), indican que el rango adecuado para pH en la producción de planta es de 5.5 - 6.5, con lo que también se reduce la presencia de hongos fitopatógenos. Con relación a la CE, Hernández *et al.* (2014) y Sánchez *et al.* (2008), obtuvieron en los sustratos con mayor proporción de corteza los valores mayores, resultados contrarios a esta investigación. Sin embargo, de acuerdo con Mathers *et al.* (2007), el rango de oscilación para la CE debe ser de 0.2 a 1.0 dS m⁻¹.

Cuadro 2. Características físicas y químicas de los sustratos utilizados en la producción de *P. greggii* var. *australis* Donahue & López.

Sustrato	Porosidad (%)			C:N	pH	CE dS m ⁻¹
	Total	Aireación	Retención de agua			
S1	82	19	63	159	5.3	1.7
S2	77	23	54	537	4.8	1.2
S3	83	27	56	613	4.9	0.9

S1) turba de musgo, perlita y vermiculita; S2) corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino y S3) aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino; en proporción de 3:1:1 (v:v:v) para cada uno de sus componentes.

3.3.2 Características morfológicas de las plantas

El efecto del envase y el sustrato fueron significativos en todas las variables analizadas ($p < 0.0001$). Sin embargo, la morfología de las plantas producidas con ambas formas de fertilización (F1: solo un tiempo de liberación y F2: combinación de ambos tiempos de liberación) resultó similar, excepto para el PSR, donde la forma combinada produjo plantas con biomasa de raíces significativamente mayor ($p = 0.0011$). De igual manera, la interacción envase \times sustrato presenta

niveles de significancia ($p = <0.0001$) para la mayoría de las variables morfológicas, con excepción de la variable PSR (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza para las características morfológicas e índices de calidad de planta en plantas de *P. greggii* var. *australis* Donahue & López producidas en vivero.

Factor	Altura	Diámetro	PSA	PSR	IE	PSA/ PSR	ICD
Envase	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Sustrato	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	NS	< 0.0001	< 0.0001
Fertilización	NS	NS	NS	0.0011	NS	0.0103	0.0139
Envase× sustrato	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	NS	0.0026	< 0.0001	NS
Sustrato× fertilización	< 0.0001	0.0009	< 0.0001	0.0123	< 0.0001	0.005	0.001
Envase × fertilización	0.0047	0.0024	NS	NS	NS	NS	NS
Envase× sustrato × fertilización	< 0.0001	0.0333	0.0547	0.0206	< 0.0001	NS	NS
CV	4.41	4.04	10.77	10.58	4.57	11.15	8.73

PSA: peso seco aéreo, PSR: peso seco de raíces, IE: índice de esbeltez, PSA/PSR: relación parte aérea/raíces, ICD: índice de calidad de Dickson, CV: coeficiente de variación, NS: no significativo.

Cuadro 4. Prueba de comparación de medias para las características morfológicas e índices de calidad de planta de *P. greggii* var. *australis* Donahue & López producidas en vivero.

T	E	S	F	Altura		Diámetro		Peso seco (g)				IE	PSA/PSR	ICD			
				(cm)		(mm)		Parte aérea		Raíz							
1	E1. Envase con drenaje típico	S1	F1	28.1	b	4.22	a	3.82	bcd	1.37	ab	6.7	de	2.8	ab	0.55	a
2			F2	30.0	a	4.32	a	4.06	abc	1.37	ab	7.0	ef	3.0	abc	0.55	a
3		S2	F1	26.8	bc	3.74	bc	3.44	de	1.23	b	7.2	f	2.8	ab	0.47	b
4			F2	26.2	cd	3.91	bc	3.68	bcde	1.45	a	6.7	de	2.6	a	0.55	a
5		S3	F1	30.0	a	4.38	a	4.32	a	1.43	a	6.9	def	3.1	bc	0.57	a
6			F2	30.7	a	4.40	a	4.17	ab	1.50	a	7.0	ef	3.0	abc	0.57	a
7	E2. Envase con aberturas laterales	S1	F1	25.2	de	4.21	a	3.20	e	0.90	cde	6.0	ab	3.6	d	0.43	bc
8			F2	28.2	b	4.35	c	3.59	cde	1.01	cde	6.5	cd	3.6	d	0.46	b
9		S2	F1	22.1	f	3.66	c	2.55	f	0.77	e	6.1	b	3.3	cd	0.35	d
10			F2	21.3	f	2.58	c	2.62	f	0.85	de	6.0	ab	3.2	bcd	0.38	cd
11		S3	F1	24.2	e	3.92	b	3.37	de	1.03	c	6.2	bc	3.3	cd	0.47	b
12			F2	20.6	f	3.65	c	2.62	f	0.97	cd	5.7	a	2.8	ab	0.43	bc
DMSH				1.55		0.22		0.50		0.16		0.40		0.46		0.05	
	E1	Todos	Todos	28.7	a	4.16	a	3.91	a	1.39	a	6.9	b	2.9	a	0.54	a
	E2	Todos	Todos	23.6	a	3.86	b	2.99	b	0.92	b	6.1	a	3.3	b	0.42	b
	Todos	S1	Todos	27.7	a	4.28	a	3.67	a	1.16	b	6.6	a	3.3	b	0.50	a
	Todos	S2	Todos	26.4	b	3.72	c	3.62	a	1.08	c	6.5	a	3.0	a	0.44	b
	Todos	S3	Todos	24.0	c	4.09	b	3.07	b	1.23	a	6.4	a	3.0	a	0.51	a
	Todos	Todos	F1	26.2	a	4.02	a	3.45	a	1.12	b	6.5	a	3.2	b	0.47	b
	Todos	Todos	F2	26.1	a	4.04	a	3.46	a	1.19	a	6.5	a	3.0	a	0.49	a

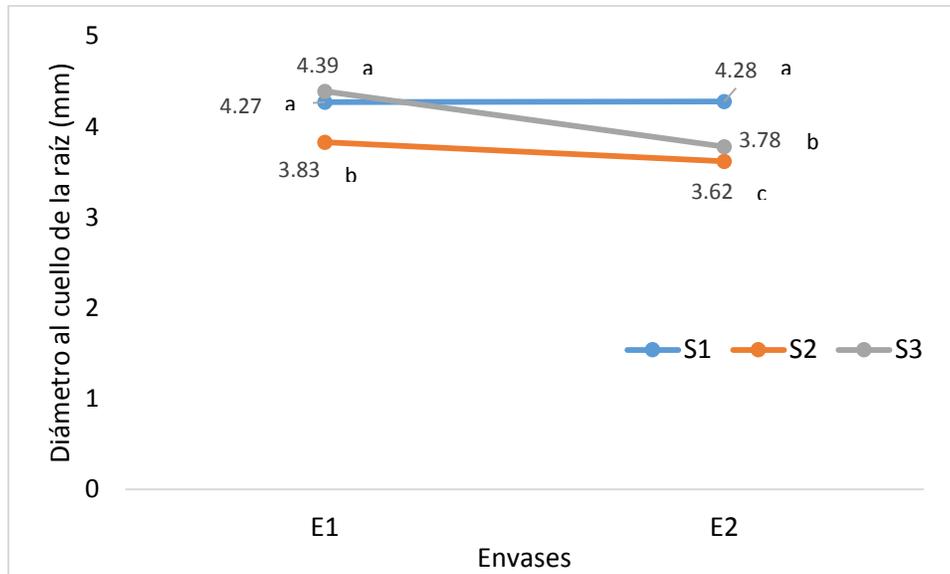
Letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$); T: Tratamiento; E: Envase; S: Sustrato; S1) turba de musgo, perlita y vermiculita; S2) corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino y S3) aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino; en proporción de 3:1:1 (v:v:v) para cada uno de sus componentes; F: Fertilización; F1: 8 g L⁻¹ FLC de 8-9 meses de liberación; F2: 4 g L⁻¹ FLC de cada tiempo de liberación; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; IE: índice de esbeltez; PSA/PSR: relación parte aérea/ raíces; ICD: índice de calidad de Dickson.

Envases

Las plantas producidas en los envases con drenaje típico tuvieron los valores mayores en altura (28.7 vs. 23.6 cm), diámetro (4.16 vs. 3.86 mm), PSA (3.91 vs. 2.99 g) y PSR (1.39 vs. 0.92 g) en comparación con los envases con aberturas laterales después de siete meses de crecimiento en el vivero (Cuadro 4). Esto probablemente se debe principalmente a la pérdida de agua y fertilizante en estos envases. Sin embargo, a pesar de la rápida pérdida de agua en los envases de aberturas laterales (Landis, 2005), estos disminuyen las deformaciones de la raíz principal, una gran ventaja en comparación con los envases de drenaje típico, donde las incidencias de estas son más frecuentes.

De igual manera la interacción envase \times sustrato demuestra que, para el diámetro, los mejores resultados se presentan en el envase tipo 1, donde con el sustrato 3 se obtuvo el mayor valor. Para el caso del envase de aberturas laterales (E2) el valor más alto de diámetro se obtuvo en el sustrato 1. Los diámetros fueron inferiores con el sustrato 2 en ambos envases (Figura 1).

Dichos resultados coinciden con los reportados por Sánchez *et al.* (2016), en *P. greggii* Engelm. y *P. oaxacana* Mirov. En estudios con otras especies se han encontrado resultados similares en *P. radiata* D. Don (Ortega *et al.*, 2006), en *P. pinea* L. pero para *Quercus coccifera* L. no existieron diferencias en relación a características morfológicas de las plantas producidas en envases con aberturas laterales y sin ellas (Torrente y Pemán, 2004).



Letras diferentes difieren estadísticamente ($p = 0.05$)

Figura 1. Interacción entre diseño de envases y sustratos utilizados en la producción de *P. greggii* var. *australis* Donahue & López, para la variable diámetro al cuello de la raíz.

Sustratos

En el caso de los sustratos, el sustrato 1 fue en el cual las plantas presentaron los mejores crecimientos para altura (27.7 cm), diámetro (4.28 mm), PSA (3.67 g), con excepción de PSR (1.16 g). Para el sustrato 2, los valores promedio obtenidos fueron altura de 26.4 cm, diámetro (3.72 mm), PSA (3.62 g) y PSR (1.08 g). En el sustrato 3 los resultados fueron altura de (24.0 cm), diámetro (4.09 mm), PSA (3.07 g) y PSR (1.23 g) (Cuadro 4).

Los sustratos a base de aserrín se han utilizado en la producción de diversas especies forestales con resultados satisfactorios, tal es el caso en *Cedrela odorata* L. (Mateo *et al.*, 2011); *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* (Lindl.) Shaw (Reyes *et al.*, 2005); *P. montezumae* Lamb. (Hernández *et al.*, 2014). Además, el costo de producción utilizando este sustrato resultó menor para *P. montezumae* Lamb. (Aguilera *et al.*, 2016).

Se ha mencionado que los sustratos a base de aserrín crudo de pino pueden afectar de forma negativa el crecimiento de las plantas por las propiedades inherentes de este, principalmente la disponibilidad de nutrientes, como el nitrógeno (N) (Miller y Jones,

1995; Haase *et al.*, 2015). Sin embargo, los resultados aquí presentes demuestran que al utilizar sustratos a base de aserrín y corteza se obtienen plantas con características adecuadas.

Por otro lado, las plantas producidas con sustrato a base de corteza pueden presentar tallas y peso menores, como lo reportan en la producción de *Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd. (Prieto *et al.*, 2013) y *P. greggii* (Maldonado *et al.*, 2011).

Fertilización

En el caso de la fertilización no hubo diferencias estadísticamente significativas, solo el peso seco de raíz; siendo mayor F2 (1.19 g) que en F1 (1.12 g). Lo anterior probablemente ocurrió porque los tratamientos que recibieron el método combinado de fertilización tuvieron mejor proceso de liberación de los nutrientes, lo que permitió un mayor desarrollo de raíces. Sin embargo, por la facilidad de aplicación y las pocas diferencias en morfología, se sugiere la forma de aplicación utilizando solamente un tiempo de liberación que cubra el período total que las plantas estarán en el vivero, en este caso, el de 8 a 9 meses de liberación (Cuadro 4).

Los resultados aquí obtenidos, coinciden con otros estudios donde solo se utilizaron Osmocote® como FLC, las especies reportadas son *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst., *Nothofagus nervosa* (Phil.) Krasser y *Eucryphia cordifolia* Cav. (Bustos *et al.*, 2008), *Tectona grandis* L. (Escamilla *et al.*, 2015), y *Pinus montezumae* Lamb. (Aguilera *et al.*, 2016).

La fertilización solamente con FLC, demuestra que los fertilizantes hidrosolubles (FHS) se pueden suprimir en la nutrición de las plantas, disminuyendo el costo de producción. A pesar de las pocas diferencias encontradas en las variables morfológicas evaluadas con F1 y F2, el efecto de la fertilización puede presentar ventaja en el desempeño de las plantas en campo.

La altura y el diámetro al cuello de la raíz, son los mejores atributos que estiman el desempeño de las plantas una vez establecidas en campo, donde el diámetro mínimo deber ser de 5 mm, para obtener una supervivencia de 75 % o mayor (Mexal y Landis, 1990). La altura de plantas debe ser de 15 a 20 cm (Prieto *et al.*, 2003).

Los resultados obtenidos con relación a la altura se encuentran dentro de los parámetros mencionados por estos autores. Para el diámetro, el mayor registrado fue de 4.40 mm, aunque cabe mencionar que este atributo se relaciona con el crecimiento de la especie evaluada.

3.3.3 Índices de calidad de planta

El análisis de varianza realizado indica que los factores envase y sustrato presentan diferencias significativas ($p = <0.0001$) en casi todos los índices de calidad de planta. En el caso del factor fertilización, existen diferencias significativas para los índices PSA/PSR ($p = 0.0103$) e ICD ($p = 0.0139$), en el caso de las interacciones solo en envase \times sustrato y sustrato \times fertilización se encontraron diferencias significativas ($p = <0.0001$), para PSA/PSR e IE respectivamente (Cuadro 3).

Los resultados para el índice de esbeltez (IE) oscilaron de 5.7 a 7.2, lo que indica cierto desequilibrio en algunos de los tratamientos donde se utilizaron envases con drenaje típico. El índice de esbeltez (IE) debe ser menor a seis, para poder considerar a las plantas de calidad alta (Prieto *et al.*, 2009). Las plantas producidas en envases con aberturas laterales presentan valores dentro del rango óptimo, esto probablemente a que en los envases con drenaje típico las condiciones de humedad fueron mejor, lo que incrementó el crecimiento en altura; esto coincide con lo reportado para *P. greggii* (Maldonado *et al.*, 2011).

Los valores para la relación PSA/PSR en todos los tratamientos, son mayores a los recomendados por Prieto *et al.* (2009), donde valores menores a 2.5 indican proporción adecuada. Para este índice las diferencias fueron muy marcadas por el factor envase. Los envases con drenaje típico presentaron en promedio un valor de 2.9, mientras que fue mayor de 3.3 en el envase con aberturas laterales. El mayor valor es consecuencia de la poda que

causa dichos envases, aumentando la cantidad de raíces vivas (Sánchez *et al.*, 2016). Sin embargo, valores mayores pueden indicar una cantidad considerable de raíces en las plantas que al momento de ser establecidas en campo, pueden presentar mejor desempeño, ya que las raíces presentan mayor superficie de contacto para obtener agua y nutrientes.

El valor promedio más alto para el índice de calidad de Dickson (ICD) fue del sustrato con mayor proporción de aserrín de pino (0.51), en contraste el menor valor promedio (0.44) fue para las plantas producidas en sustratos compuestos en su mayoría por corteza de pino. El envase utilizado modifica el valor de ICD, siendo los envases con drenaje típico los que presentan valores mayores, mientras que para los envases con aberturas laterales muestran los más bajos (Cuadro 4). Para que una planta se considere de calidad el valor del ICD debe ser mayor a 0.5 (Saénz *et al.*, 2010), con respecto a este valor las plantas producidas en los envases con drenaje típico se consideran como planta de calidad.

Investigaciones realizadas con sustratos diferentes en *P. greggii* Engelm., (Maldonado *et al.*, 2011) y poda química de raíces (Barajas *et al.*, 2004), obtuvieron valores menores para el ICD, en comparación a los obtenidos con los de esta investigación.

3.3.4 Contenido nutrimental en el follaje

Las concentraciones de los nutrimentos en el follaje de las plantas bajo las dos formas de fertilización, no presentaron diferencias significativas. Sin embargo, los sustratos si influyen en la concentración de nutrimentos en el follaje.

Los porcentajes mayores de N se presentaron en los tratamientos con sustrato con base en turba de musgo, mientras que la menor concentración fue para los sustratos basados en corteza de pino. En el caso de P las concentraciones fueron muy similares para todos los tratamientos y para K el sustrato a base de aserrín presenta los porcentajes mayores.

Se ha propuesto que los rangos de suficiencia nutrimental en biomasa foliar para *P. greggii* son 0.61-1.12 % (N), 0.12-0.21 % (P) y 0.53-0.70 % (K) (Hernández y Torres,2009). Los intervalos en esta investigación son N de 0.85-1.14 % y P de 0.17-0.21 % que se encuentran dentro de los rangos de suficiencia, con excepción de K que presenta 0.27-0.42 % (Cuadro 5). Aguilera *et al.* (2016) reportan resultados similares a los de esta investigación, para *P. montezumae* con la misma dosis de fertilización de Osmocote Plus®.

El aserrín puede afectar de manera negativa la disponibilidad de nutrimentos en las plantas, principalmente de N (Miller y Jones,1995). Con los resultados obtenidos en esta investigación, se demuestra que las plantas de *P. greggii* var. *australis* producidas en el sustrato a base de aserrín crudo de pino, no presentaron deficiencias en la concentración de N en follaje, sino que fueron muy similares a las plantas producidas en turba de musgo.

Cuadro 5. Concentración porcentual de nutrimentos N, P y K en el follaje de *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López.

Tratamiento	Sustrato	5-6 meses de liberación		8-9 meses de liberación		N	P	K
		Dosis g L ⁻¹						
1	S1				8	0.96	0.20	0.35
2	S1	4	+		4	1.14	0.17	0.29
3	S2				8	0.88	0.17	0.27
4	S2	4	+		4	0.86	0.18	0.33
5	S3				8	1.00	0.19	0.33
6	S3	4	+		4	0.93	0.18	0.34
7	S1				8	0.91	0.18	0.34
8	S1	4	+		4	1.12	0.21	0.40
9	S2				8	0.96	0.21	0.42
10	S2	4	+		4	0.85	0.20	0.41
11	S3				8	0.96	0.20	0.42
12	S3	4	+		4	0.93	0.21	0.44

S1) turba de musgo, perlita y vermiculita; S2) corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino y S3) aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino; en proporción de 3:1:1 (v:v:v) para cada uno de sus componentes.

3.4 CONCLUSIONES

Las plantas de *Pinus greggii* var. *australis* después de siete meses de permanecer en vivero, alcanzan los estándares morfológicos para ser establecidas en campo.

Las características morfológicas fueron afectadas por el diseño del envase, siendo mayores las plantas producidas en envases con drenaje típico, sin aberturas laterales.

Las plantas producidas con sustratos con base en aserrín y corteza de pino, no presentaron deficiencias nutrimentales de nitrógeno.

No se encontraron diferencias entre usar las dos formas de fertilización en el crecimiento de las plantas ni en la concentración de nutrimentos en el follaje de las plántulas de 7 meses de edad.

**CAPÍTULO IV. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUSTRATOS
UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE *P. greggii* var. *australis* Donahue & López
EN VIVERO.**

RESUMEN

Las características físicas y químicas de los sustratos en los viveros, forman parte importante para obtener planta con características morfológicas adecuadas. Se caracterizaron tres sustratos: S1: turba de musgo, vermiculita y perlita; S2: corteza compostada, turba de musgo y aserrín y S3: aserrín de pino, turba de musgo y corteza compostada, los que se usaron en la producción de *Pinus greggii* var. *australis*. Las características porosidad, pH, CE y C:N se evaluaron antes y después de la producción de planta. Los rangos iniciales y finales en la porosidad total, de aireación y retención de agua fueron de 77 - 83 %; 19 - 27 % y 54 - 63 % respectivamente. En todos los sustratos la porosidad de aireación disminuyó y la de retención de agua aumentó, después de la producción. El agua fácilmente disponible varió de 19 - 30%, mayor en S3. De acuerdo a la granulometría, la mayor proporción de partículas se encuentran de 0.26 – 0.75 mm. Los valores de pH tanto iniciales (4.8 – 5.3) como finales (6.3 – 6.7) se encuentran en el rango ácido; la CE inicial fue menor (0.9 – 1.7 dS) que la final (1.7 – 2.4). La relación C:N fue diferente para los tres sustratos S1 presentó el menor valor (159), S2 con 537 y S3 el mayor (613). Los resultados demuestran que los sustratos alternativos utilizados, principalmente S3, presentan características apropiadas para la producción de *P. greggii* var. *australis* en envases.

Palabras clave. agua fácilmente disponible, propiedades físicas, propiedades químicas, porosidad total, sustratos alternativos

4.1 INTRODUCCIÓN

Debido a la utilización de envases con volúmenes pequeños en la producción de planta en vivero, el sustrato utilizado debe presentar características físicas y químicas que permitan el crecimiento adecuado de las plantas (Cabrera, 1995). Dichas características incluyen pH ligeramente ácido, baja fertilidad inherente, porosidad total de 70 %, porosidad de aireación de 10 % y porosidad de retención de agua de 55 % y libre de plagas y enfermedades (Landis *et al.*, 1990).

Durante muchos años se ha utilizado el sustrato compuesto por turba de musgo, vermiculita y perlita (3:1:1; v:v:v), debido que presentan propiedades complementarias que dan como resultado un sustrato con características tanto físicas como químicas adecuadas (Haase *et al.*, 2015). Dichos materiales son de extracción e importación, con altos costos de producción de planta.

La utilización de sustratos alternativos en la producción de planta en vivero ha ido en aumento. Se han utilizado materiales como corteza, aserrín, fibra de coco, cascarilla de arroz, lombricomposta; esto con el propósito de sustituir la mezcla compuesta principalmente por turba de musgo. El costo unitario de la planta disminuye en más de 50 % al utilizar sustrato compuesto por aserrín y corteza de pino con turba de musgo (Aguilera *et al.*, 2016).

El aserrín y corteza de pino son productos de desecho de la industria forestal utilizados como sustrato en los viveros de manera sola o mezclada. Sin embargo, el aserrín y la corteza cruda disminuye la disponibilidad de nitrógeno y fitotoxicidad en las plantas, por su alto contenido de taninos (Miller y Jones, 1995; Quiroz *et al.*, 2009).

Por la necesidad de sustituir la turba de musgo se han realizado investigaciones enfocadas en la caracterización física y química de sustratos alternativos como la corteza y aserrín de pino (Sánchez *et al.*, 2008), o específicos como la corteza de *Pinus radiata* D. Don (Arrieta y Terés, 1993), de *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco (Buamscha *et al.*, 2007). También se han utilizado dichos sustratos en la producción de especies forestales como *P. montezumae* Lamb. (Hernández *et al.*, 2014), *Cedrela odorata* L. (Mateo *et al.*, 2011),

Prosopis laevigata Humb. et Bonpl. ex Willd. (Prieto *et al.*, 2013), *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* (Reyes *et al.*, 2005), demostrando que las características morfológicas de las plantas son similares a las producidas en turba de musgo.

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las características físicas y químicas antes y después de la producción de planta de *P. greggii* var. *australis*, de un sustrato con base en corteza y otro de aserrín, como alternativas para sustituir la mezcla de turba de musgo.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados como sustratos fueron: corteza de pino compostada, aserrín de pino fresco, turba de musgo, perlita y vermiculita (Cuadro 6). La corteza utilizada fue de *Pinus douglasiana* Martínez y el aserrín fue de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

Cuadro 6. Sustratos y proporciones utilizadas.

Sustrato	Proporción con base en volumen
S1. Turba de musgo, perlita y vermiculita	3:1:1 vol.
S2. Corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino	3:1:1 vol.
S3. Aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino	3:1:1 vol.

Los sustratos se analizaron en el laboratorio de Física de Suelos, del departamento de Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Las propiedades físicas que se determinaron fueron: porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA), porosidad de retención de agua (PRA), granulometría, la curva de retención de agua y la curva de liberación de agua. Las propiedades químicas determinadas fueron: pH, conductividad eléctrica (CE), relación carbono-nitrógeno (C:N). Para cada análisis se utilizó cinco repeticiones.

4.2.1 Propiedades físicas

Porosidad

La porosidad inicial se determinó con el procedimiento descrito por Landis *et al.* (1990), con ciertas modificaciones. Los envases utilizados fueron los mismos utilizados en el proceso de producción de planta (230 mL) respectivamente identificados y pesados. El sustrato se saturó por 24 h, saturado se colocó dentro de los envases, tomando el peso. Después se drenó el agua de los envases, obteniendo el peso de sustrato drenado. Cada muestra se colocó dentro de una estufa de secado a 70 °C por 78 h, y por último se obtuvo el peso seco de las muestras de sustratos. La porosidad final (después de siete meses de crecimiento de las plantas) se realizó de la misma manera que la inicial; el sustrato utilizado fue el que se recuperó posterior a la evaluación de las variables morfológicas.

Granulometría

Para determinar los diámetros de partículas de los tres sustratos analizados, se utilizaron 10 tamices con mallas con los siguientes diámetros (mm): 6.36, 4.76, 3.36, 2.38, 2.00, 1.68, 1.00, 0.71, 0.50, 0.25 y el receptor, colocándolos de forma descendente de acuerdo a la manera en que se citan, y pesando cada tamiz. Se emplearon muestras de 200 g de cada sustrato, las que se colocaron en la columna de tamices; dejándolas oscilar por tres minutos en un agitador. Después se pesaron nuevamente los tamices con el sustrato que quedó en cada uno de ellos.

Curva de retención y liberación de agua

Se utilizó un equipo de embudos de succión (De Boodt *et al.*, 1974), que tiene una placa de vidrio porosa conectada a una manguera. La succión se realizó a los 10, 50 y 100 cm de columna de agua. Se colocó una muestra de sustrato hidratado en los embudos, la manguera se niveló en la marca de 10 cm y una vez que la columna de agua no subió más allá de la marca del nivel de 10 cm, la manguera se niveló a los 50 cm de columna de agua y después a los 100 cm. Se tomaron muestras de sustratos en húmedo y seco de cada uno de las alturas de succión.

Con los datos de la curva de retención de agua, se calcularon los puntos de la curva de liberación de agua en los tres sustratos utilizados: espacio poroso total (EPT), material sólido (MS), agua no disponible (AND), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR) y agua difícilmente disponible (ADD).

4.2.2 Propiedades químicas

pH y CE

Estas propiedades se tomaron en los tres sustratos antes y después de ser utilizados. La relación de la solución utilizada fue 1:5 en volumen (sustrato:agua destilada). El sustrato se remojó por 30 minutos en agua destilada; después las muestras se filtraron para obtener el extracto y tomar los datos de pH y CE con el potenciómetro y conductímetro, respectivamente.

Relación C/N

Se realizó en los sustratos utilizados antes y después de la producción de planta, teniendo cuidado de retirar todos los gránulos de fertilizante de liberación controlada.

Carbono

Para obtener el porcentaje de carbono orgánico (% C) se utilizó el método de calcinación en mufla. Se emplearon muestras de 1.5 g de los sustratos, que se calcinaron a una temperatura de 350 °C por 4 h. Para el % N se utilizó 0.5 g de sustrato molido; la metodología utilizada es la descrita en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (NOM-021-SEMARNAT-2000). Una vez teniendo los datos de % C y % N, se realiza la división, donde el resultado es directamente proporcional a la estabilidad biológica de los sustratos.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

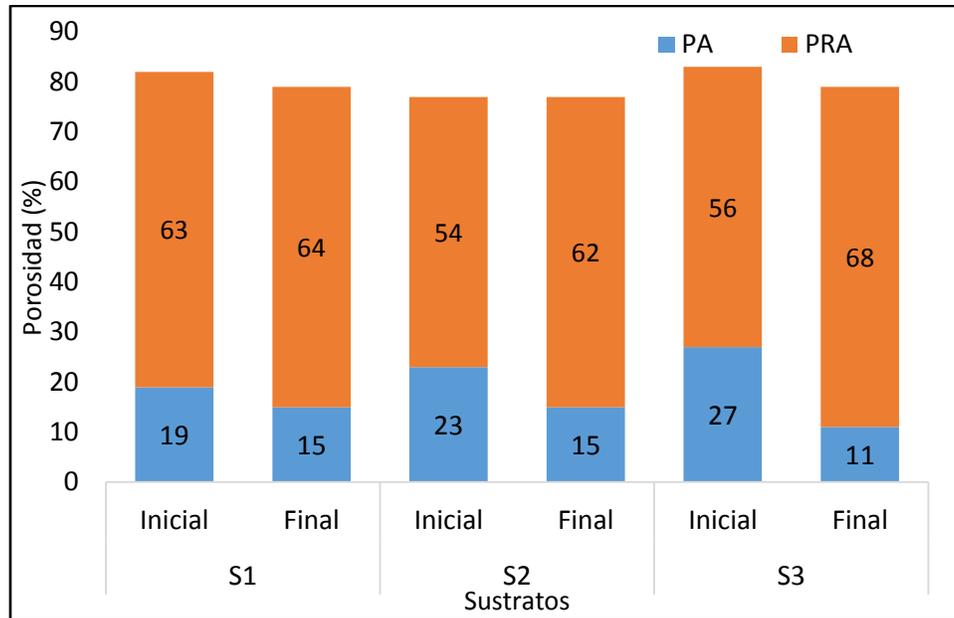
4.3.1 Porosidad

Se determinó en los sustratos evaluados un rango de 77 a 83 % de porosidad total (PT), mientras que los valores de porosidad de aireación (PA) fueron de 19, 23 y 27 %; para S1, S2 y S3 respectivamente. Los valores para porosidad de retención de agua (PRA) fueron de 63 % (S1), 54 % (S2) y 56% (S3) (Figura 2). Los valores mínimos que debe presentar un buen sustrato son 70 % para PT; 10 % para PA y 55 % para PRA (Cabrera, 1999). Los sustratos evaluados en general se encuentran dentro de los rangos óptimos.

Los rangos finales para PT y PA en los sustratos oscilaron de 77-79 % y 11-15 % respectivamente; resultados menores en comparación a los iniciales. En PRA fue de 54 – 63 %, aumentando en todos los sustratos evaluados con relación a los resultados iniciales. S3 fue el que presentó el mayor incremento en PRA de 56 a 68 %. Todos los porcentajes reportados, se encuentran aún dentro del rango óptimo que sugiere Cabrera (1999).

Los materiales utilizados en esta evaluación presentaron valores similares a los encontrados en otras caracterizaciones de sustratos compuestos por corteza y aserrín de pino (Sánchez *et al.*, 2008; Hernández *et al.*, 2014; Aguilera *et al.*, 2016). Sin embargo, Prieto *et al.* (2013), determinaron valores más bajos para sustratos compuestos por corteza de pino para las variables PT (42.4 - 46.5 %) y PRA (9.4 – 13.3 %).

Los resultados finales de porosidad en los sustratos, coincide con lo reportado por Allaire *et al.* (1999) y Jackson *et al.* (2009); en ambos casos PRA presenta incremento, lo cual se adjudica a la actividad microbiana presente en los sustratos, disminuyendo el diámetro de las partículas, lo cual aumenta la capacidad de retención de agua.



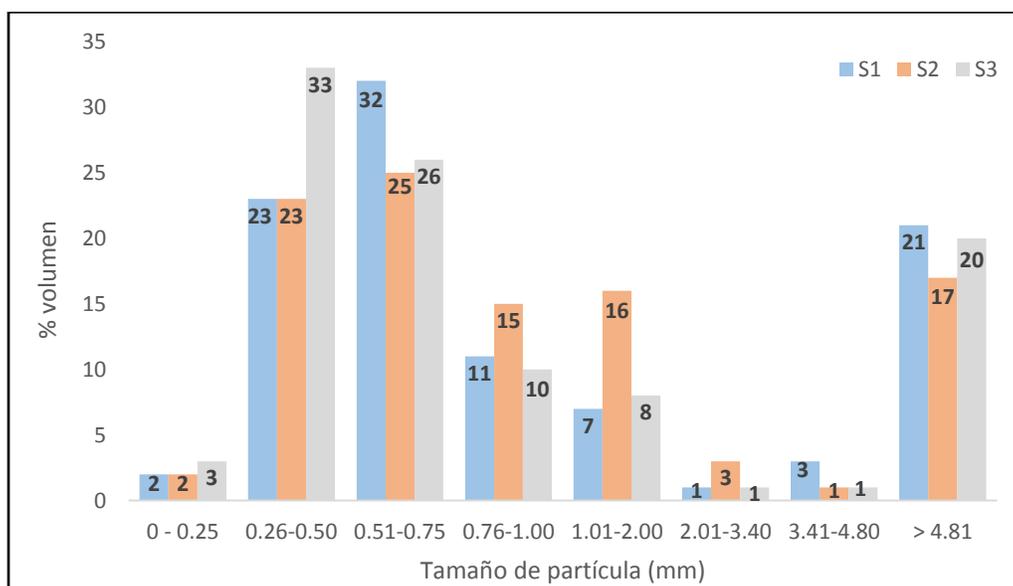
S1) turba de musgo, perlita y vermiculita; S2) corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino y S3) aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino; 3:1:1 (V/V/V) para cada uno de sus componentes. Figura 2. Porosidad de los sustratos utilizados en la producción de *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López

4.3.2 Granulometría

La distribución de las partículas en los sustratos analizados fue muy similar; aunque la proporción mayor de estas se encuentran en el rango de 0.26 - 0.75 mm y > 4.81 mm para los tres sustratos (Figura 3). Esto probablemente sea por los diámetros promedios de las partículas de los materiales, siendo estos de 1.87 mm en S1, 1.68 mm en S2, y de 1.70 mm en S3.

Los materiales que presentan tamaño > 0.8 mm se clasifican como materiales gruesos, y los que presentan tamaño < 0.5 mm son materiales finos (Argo, 1998; Bilderback *et al.*, 2005). De acuerdo a esta clasificación, los tres sustratos evaluados presentan más del 50 % de partículas finas. Cabrera (1995) menciona que el tamaño de partículas óptimo para un sustrato es de 0.5 – 4 mm.

Pokorny (1979) recomienda para sustratos compuestos por corteza de pino de 70 – 80 % de partículas gruesas (0.6 – 9.5 mm) y de 20 - 30 % de materiales finos (< 0.6 mm). Conociendo el rango de tamaño de las partículas, se pueden controlar ciertas características de los materiales utilizados, como la porosidad de aireación y retención de humedad (Mathers *et al.*, 2007). Cabe mencionar que la proporción de las partículas depende de la cantidad de los materiales que se utilicen, provocando propiedades físicas diferentes.



S1) turba de musgo, perlita y vermiculita; S2) corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino y S3) aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino; 3:1:1 (V/V/V) para cada uno de sus componentes. Figura 3. Proporción (%) del tamaño de las partículas en los sustratos utilizados en la producción de *Pinus greggi* var. *australis* Donahue & López

4.3.3 Curvas de retención de agua

S1 presenta un comportamiento diferente a S2 y S3. S1 drena el agua más rápidamente que los otros sustratos. El sustrato a base de turba de musgo presenta valores inferiores a cualquier tensión (Figura 4).

Sin embargo, S2 y S3 presentan valores muy similares en las tensiones de 10 a 50 cm de columna de agua, rango en el cual se encuentra el agua fácilmente disponible (AFD). En las tensiones de 50 a 100 cm de columna de agua, que indica el agua de reserva (AR), S2 presenta valores mayores, lo cual no indica que la planta puede obtener dicha agua.

Hernández (2013) encontró que el sustrato con base en aserrín presenta un alto porcentaje de retención de humedad, lo cual coincide con la presente investigación; además, menciona que el riego se debe manejar adecuadamente para evitar problemas fitosanitarios.

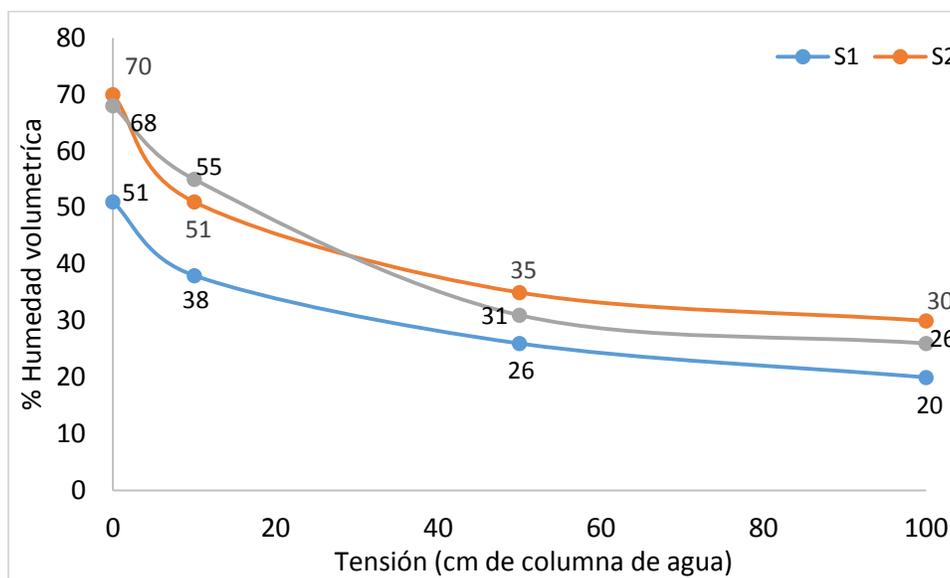


Figura 4. Curva de retención de agua para los sustratos utilizados en la producción de *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López

4.3.4 Curvas de liberación de agua

Los valores más importantes de las curvas son el agua fácilmente disponible (AFD) y el agua de reserva (AR). De acuerdo a las curvas de liberación generadas para los sustratos evaluados, S1 (Figura 5), S2 (Figura 6) y S3 (Figura 7), el sustrato con base en aserrín (S3) presenta el valor más alto con 30 %, seguido de S1 con 19 % y para S2 de 17 %. Dicho valor representa el volumen de agua, en el cual la planta no ejerce demasiada fuerza de succión para obtenerla. Por otro lado, los valores de agua de reserva (AR) fueron de 6 % para S2 y S3 y de 9 % para S1 (Cuadro 7).

Los valores de agua fácilmente disponible (AFD), denotan que los riegos en el sustrato con corteza (S2) deben ser más frecuentes, caso contrario para el sustrato basado en aserrín, que presentó el valor más alto de esta variable. El sustrato con base en aserrín está dentro de los valores óptimos (Pastor, 1999), mientras que el de corteza es el que presentó los valores menores para los diferentes puntos de la curva de liberación de agua.

Sánchez *et al.* (2008) reportan valores menores para AFD (4.8 – 9.9%) y agua de reserva (4.2 – 6.1) basados en aserrín y corteza de pino; por otro lado, Hernández *et al.* (2014) obtuvieron también resultados bajos para AFD (6 – 19) y AR (3 – 8) en comparación con los reportados en este estudio. Arrieta y Terés (1993) en la caracterización de corteza de pino, reportan 12.71 % para AFD, mencionando que por el bajo porcentaje de retención de agua necesita riegos más frecuentes y en menor cantidad.

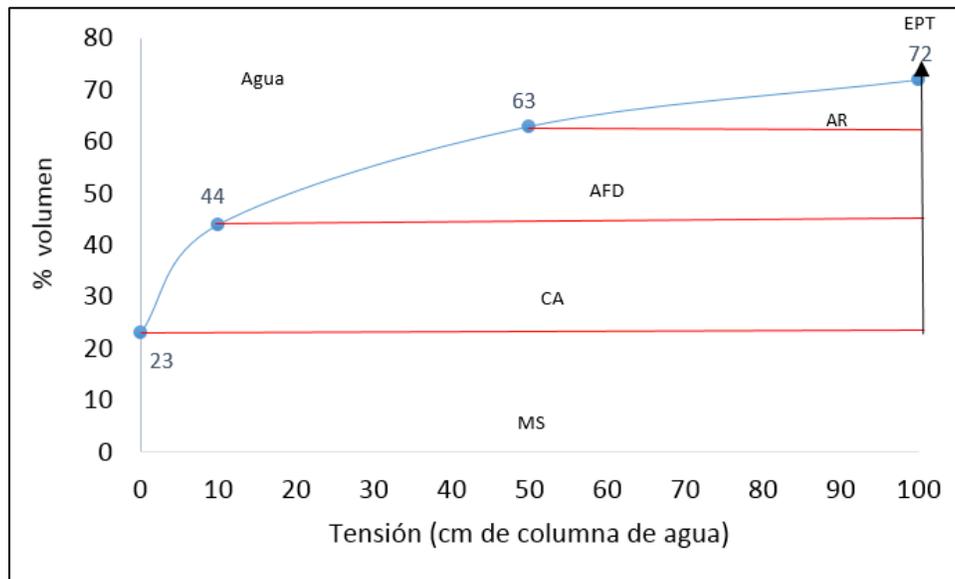


Figura 5. Curva de liberación de agua para S1: 60% turba de musgo, 20% vermiculita y 20% perlita.

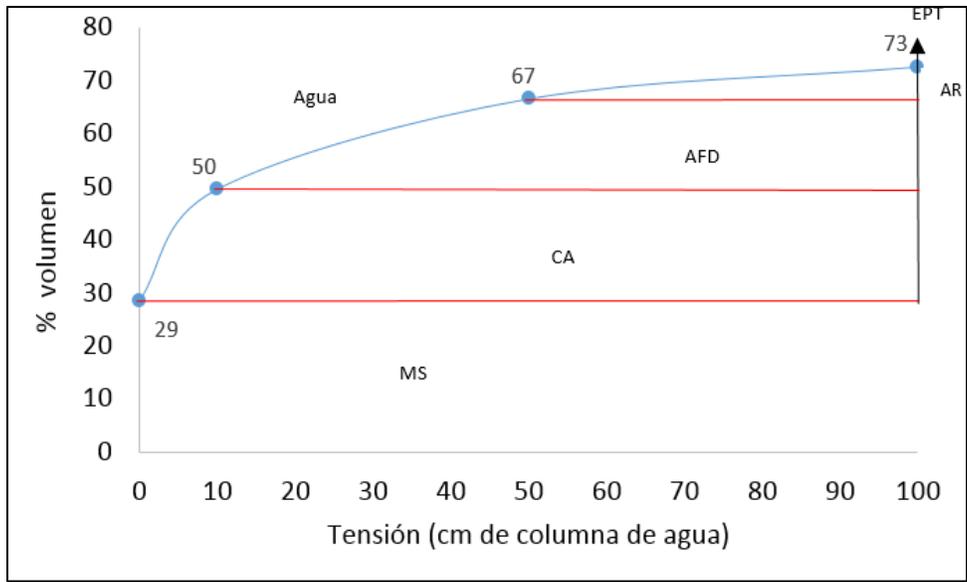


Figura 6. Curva de liberación de agua para S2: 60% corteza, 20% turba de musgo y 20% aserrín.

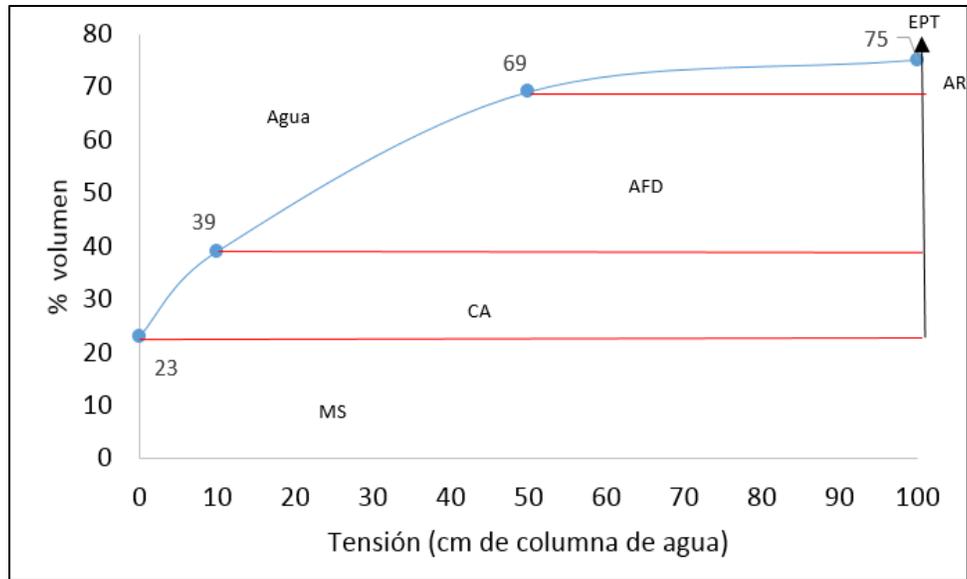


Figura 7. Curva de liberación de agua para S3: 60% aserrín, 20% turba de musgo y 20% corteza.

Cuadro 7. Porcentaje de agua liberada en los sustratos utilizados.

Sustrato	Volumen (%)						
	EPT	CA	MS	AND	AFD	AR	ADD
S1	81	19	19	21	19	9	32
S2	77	23	23	21	17	6	33
S3	84	27	16	16	30	6	32

S1) turba de musgo, perlita y vermiculita; S2) corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino y S3) aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino; 3:1:1 (V/V/V) para cada uno de sus componentes; EPT: Espacio poroso total; CA: Capacidad de aire; MS: Material sólido; AND: Agua no disponible; AFD: Agua fácilmente disponible; AR: Agua de reserva; ADD: Agua difícilmente disponible.

4.4 Propiedades químicas

Los valores de pH iniciales de los sustratos se encuentran en el rango de ácidos, S1 con el mayor valor 5.3, S2 y S3 presentaron valores menores 4.8 y 4.9 respectivamente. Al final del proceso de producción todos los sustratos presentaron aumento de pH, S3 tuvo el mayor aumento con un registro de 6.7. En los resultados iniciales y finales de CE, S1 presentó los valores más altos, 1.7 dS m⁻¹ y 2.4 dS m⁻¹, respectivamente. En el caso de S2 el valor inicial fue de 1.2 dS m⁻¹ y 1.7 dS m⁻¹el final. S3 presentó el mayor aumento al pasar de 0.9 dS m⁻¹ a 1.7 dS m⁻¹ (Cuadro 8).

Landis *et al.* (1990) mencionan que los sustratos utilizados en la producción de planta deben presentar pH entre 5.5 - 6.5; los resultados iniciales reportados en esta investigación están por debajo del rango mencionado, y para los finales sólo S2 se encuentra dentro de la categoría mencionada. Valores superiores a 5.9 aumenta la incidencia de microorganismos benéficos y patógenos como *Fusarium* (Landis *et al.*, 1990; Haase *et al.*, 2015). Por otro lado, intervalo de CE donde las plantas no presentan problemas de crecimiento es de 0.2 a 2.5 dS m⁻¹ (Timmer y Parton, 1982). En este estudio los valores obtenidos tanto al inicio como al final se encuentran por debajo de este rango.

Resultados de pH reportados por Hernández *et al.* (2014) van de 4.1 y 5.2; mientras que las mezclas analizadas por Sánchez *et al.* (2008), presentaron valores de 4.3 a 4.7, muy similares a los obtenidos. Con relación a la CE, Hernández *et al.* (2014) y Sánchez *et al.*

(2008) obtuvieron 1.26 – 3.98 y 1.84 y 2.69 respectivamente, donde los sustratos con mayor proporción de corteza presentaron los valores mayores, resultados contrarios a esta investigación.

Buamscha *et al.* (2007) determinaron características físicas y químicas en corteza de pino, encontrando que los valores de pH y CE, disminuyen y aumentan respectivamente en el proceso de descomposición de la corteza. En la presente investigación, ambas características aumentan en los tres sustratos evaluados.

Cuadro 8. Valor inicial y final del pH y CE de los sustratos utilizados en la producción de *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López.

Sustrato	pH		CE (dS m ⁻¹)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
S1	5.3	6.7	1.7	2.4
S2	4.8	6.3	1.2	1.7
S3	4.9	6.7	0.9	1.7

S1) turba de musgo, perlita y vermiculita; S2) corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino y S3) aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino; 3:1:1 (V/V/V) para cada uno de sus componentes.

Los resultados iniciales en la relación C:N fueron 159 en S1, 537 en S2 y 613 en S3, los sustratos presentan mejor estabilidad biológica a mayor valor. Los valores finales disminuyeron en los tres sustratos, 90 en S1, 161 en S2 y 54 en S3 (Cuadro 9). La corteza y aserrín, son materiales que presentan alta estabilidad en relación a la descomposición por la cantidad alta de celulosa y lignina. Los valores reportados para estabilidad C:N son 1000:1 para aserrín, 300:1 para corteza de pino y 58:1 para turba de musgo (Mathers *et al.*, 2007). Los resultados de los sustratos utilizados en esta investigación fueron mayores para S1 y S2 y menor para S3 en comparación con Mathers *et al.* (2007), lo que puede ser por la proporción de los materiales utilizados en las mezclas.

Los resultados finales en la relación C:N se debe principalmente a la disminución de carbono orgánico y aumento de nitrógeno, lo que está asociado a la actividad microbiana desarrollada en cada sustrato evaluado, comportamiento que reportan Varnero *et al.* (2010).

Cuadro 9. Relación C:N inicial y final para los sustratos utilizados en la producción de *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López.

Sustrato	%MO		%CO		%N		C:N	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
S1	50	53	29	32	0.18	0.35	159	90
S2	85	78	50	46	0.09	0.29	537	161
S3	84	81	50	48	0.08	0.89	613	54

S1) turba de musgo, perlita y vermiculita; S2) corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino y S3) aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino; 3:1:1 (V/V/V) para cada uno de sus componentes; % MO: porcentaje de materia orgánica; % CO: porcentaje de carbono orgánico; %N: porcentaje nitrógeno; C:N; relación carbono-nitrógeno.

4.5 CONCLUSIONES

El sustrato compuesto en su mayoría por aserrín (S3) presenta las mejores características físicas y químicas que el compuesto por corteza (S2). Sin embargo, ambos sustratos son aptos para ser utilizados en la producción de planta en vivero.

El sustrato con base en aserrín (S3) supera al compuesto por turba de musgo (S1) en características que pueden influir de manera positiva en el crecimiento de las plantas, como es el porcentaje de agua fácilmente disponible (AFD).

CAPÍTULO V. ARQUITECTURA DE RAÍZ EN PLÁNTULAS DE *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López PRODUCIDAS EN VIVERO

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue describir la arquitectura de raíz y cuantificar la incidencia de deformación en la raíz principal en plántulas de *Pinus greggii* var. *australis* producidas en vivero, mediante la interacción de dos envases, tres sustratos y dos formas de fertilización. Las variables evaluadas fueron: longitud de raíz principal (LRP) y longitud raíces laterales de primer orden (LRLPO), número de RLPO, raíces laterales de segundo orden (RLSO), número de raíces en crecimiento activo (RCA), orden de raíces, volumen, deformación de la raíz principal y peso seco de RP, RLPO y RLSO. La arquitectura de raíz estuvo muy influenciada por el envase y sustrato utilizado. El envase E1, sin aberturas laterales, presentó los valores mayores, con excepción de RCA. Entre sustratos las diferencias se detectaron para RCA, siendo S3 el sustrato con aserrín el de mayor valor (34.1) y el sustrato con turba S1 el menor (28); en el caso del volumen S1 presentó el valor mayor (5.6 mL) y S3 el menor (4.1 mL). No existieron diferencias significativas en la forma de fertilización, en ninguna variable analizada. Las plantas producidas en envase con aberturas laterales presentan menor producción de biomasa de raíz; sin embargo, la incidencia de deformación en la raíz principal es menor en comparación de las plantas producidas en envases con paredes sólidas, dichas deformaciones pueden afectar el desempeño de las plantas en campo.

Palabras clave. Crecimiento de raíces, deformación de raíz principal, raíces laterales de primer orden, raíces laterales de segundo orden, raíces en crecimiento activo.

5.1 INTRODUCCIÓN

El diámetro del cuello de la raíz y la altura de las plantas son los parámetros más utilizados para determinar el desempeño en campo de las plantas producidas en vivero (Mexal y Landis, 1990). Sin embargo, la morfología del sistema de raíces puede proporcionar información más precisa sobre el potencial de crecimiento de estas en campo (Davis y Jacobs, 2005).

Las características físicas, químicas y biológicas del sustrato al igual que el diseño del envase utilizado altera y modifican la morfología de las raíces (Mathers *et al.*, 2007; Haase *et al.*, 2015), deformándolas y disminuyendo su capacidad de absorción. Tratando de disminuir la incidencia de raíces deformes se han desarrollado envases con aberturas laterales que ayudan al control de estas, además de aumentar la fibrosidad de las raíces (Landis, 2005).

Las raíces finas tienen mayor eficiencia en suministrar agua y nutrientes a las plantas en comparación de las raíces suberizadas (Grossnickle, 2005). Las plantas pueden tener estrés al momento del trasplante en campo, cuando las raíces finas presentan daños (Harris y Gilman, 1991), es por eso que la producción de nuevas raíces mitiga el impacto del trasplante (Davis y Jacobs, 2005).

Es necesario que las plantas que se utilizan en programas de reforestación o plantaciones forestales, tengan un buen sistema de raíces para garantizar un adecuado suministro de agua y nutrientes a la parte aérea de la planta, además de un correcto anclaje en el suelo. Los árboles con raíces compactadas establecidos en campo, son tirados por el viento con mayor facilidad (Luna *et al.*, 2009).

A pesar que el estudio morfológico de raíces demanda mucho tiempo, existen algunas investigaciones sobre arquitectura de raíz en especies forestales, ejemplo son en *P. radiata* D. Don (Ortega *et al.*, 2006), *Acer rubrum* L. (Gilman *et al.*, 2010), *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit (Guevara y Guenni, 2013), *Pinus greggii* Engelm y *P. oaxacana* Mirov (Sánchez *et al.*, 2016), *P. palustris* Mill. (Sword *et al.*, 2011; Sung y Haywood, 2016).

El objetivo del presente trabajo fue describir la arquitectura de raíz y cuantificar la incidencia de deformación de la raíz principal en *P. greggii* var. *australis* producidas en vivero, mediante la interacción de dos de envases, tres sustratos y dos formas de fertilización.

5.2 MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el vivero del Postgrado en Ciencias Forestales, del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Plantas de *P. greggii* var. *australis* de siete meses de edad se utilizaron para la evaluación de las raíces. Se seleccionaron 10 plantas al azar por tratamiento, para un total de 120 para toda la evaluación, con 60 de estas se evaluó la arquitectura de raíz y con el resto el volumen y la malformación de la raíz principal.

Para hacer la evaluación de arquitectura de raíz, el sistema radical completo se separó en tres categorías: a) raíz principal (RP), b) raíces laterales de primer orden (RLPO) y c) raíces laterales de segundo orden (RLSO) (Figura 9). Para RP y RLPO se midió la longitud con regla graduada en mm; y el conteo se realizó para RLPO y RLSO. También se determinó el orden de raíces, el criterio utilizado fue contar el número de ramificaciones de cada RLPO (Figura. 10). Otra variable tomada fue el número de raíces con puntas blancas, es decir, raíces con crecimiento activo (RCA). Una vez tomadas todas las variables antes mencionadas, las raíces se colocaron dentro de un horno a una temperatura de 70 °C por 72 h, después se obtuvo el peso seco con una balanza analítica (0.01 g).

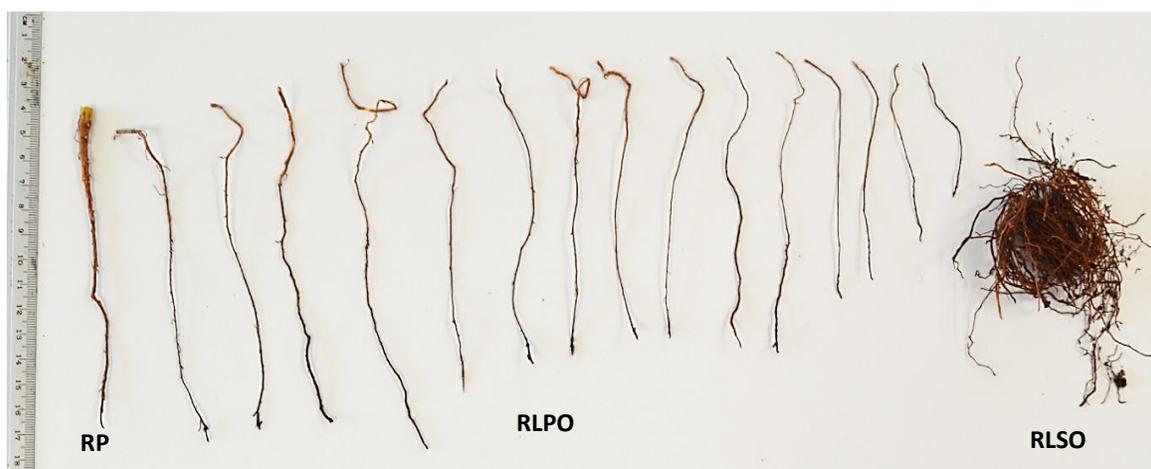


Figura 8. Separación de raíces de plantas de *Pinus greggii* var. *australis*; RP: raíz principal; RLPO: raíces laterales de primer orden y RLSO: raíces laterales de segundo orden.

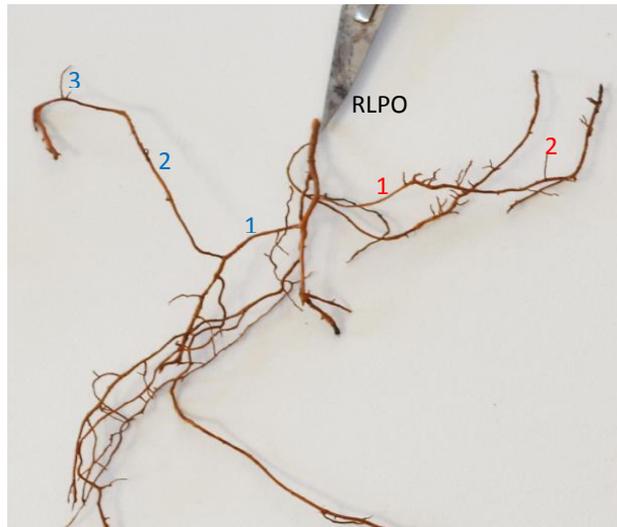


Figura 9. Determinación del orden de raíces en plantas de *Pinus greggii* var. *australis*.

Las raíces utilizadas para evaluar volumen y malformación de raíz principal fueron las mismas; el método utilizado es el descrito por Arrieta *et al.* (2014). Posterior a este proceso se valoró de manera visual la malformación de raíz principal, la clasificación se hizo de la siguiente forma: testigo, corresponde a plantas con desarrollo normal o raíz recta (RR), y las raíces deformes fueron de dos tipos, la que presentan alguna curvatura por abajo del diámetro del cuello de la raíz y la que tienen bifurcación, perdiéndose el eje de la raíz principal (Figura 11). Estos dos últimos tipos se agruparon en una sola categoría que se le llamó raíz deforme (RD).



Figura 10. Clasificación de raíces de acuerdo al tipo de deformación.

5.2.1 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental para las plantas producidas en el vivero fue completamente al azar, con arreglo factorial $2 \times 3 \times 2$, resultado de dos tipos de envases, tres sustratos y dos dosis de fertilización de liberación controlada, representado por el modelo $Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$, donde A corresponde a los envases, B a los sustratos y C a la forma de fertilización. Los valores de las variables de respuesta se sometieron a análisis de varianza, considerando la determinación de interacciones de los factores, realizando análisis de contrastes para las variables significativas. En el caso de la variable deformación raíz se utilizó la prueba no paramétrica Chi-cuadrada, con el software InfoStat® versión 2008. (Di Rienzo *et al.*, 2008).

5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.3.1 Arquitectura de raíz

El efecto del envase fue significativo en la mayoría de las variables analizadas ($p \leq 0.05$), con excepción de RLPO, orden de raíces y RCA. Para el caso de los sustratos resultaron significativas las variables PSRP ($p = 0.0292$), RCA ($p = 0.0148$) y volumen ($p = 0.0003$). No hubo significancia entre las dos formas de fertilización. De igual manera, las interacciones de estos factores presentaron significancia en algunas variables evaluadas. La interacción envase \times sustrato, solo presenta diferencias significativas para RLSO ($P = 0.0096$) y el orden ($P = 0.0168$) (Cuadro 14).

Cuadro 10. Análisis de varianza para las características de arquitectura de raíz en plantas de *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López producidas en vivero.

Factor	RLPO	RLSO	Longitud		ORDEN	Peso seco			RCA	Vol
			LRLPO	LRP		RP	RLPO	RLSO		
Envase	NS	0.0469	<0.0001	0.0005	NS	0.0028	<0.0001	<0.0001	NS	0.0001
Sustrato	NS	NS	NS	NS	NS	0.0292	NS	NS	0.0148	0.0003
Fertilización	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Envase × sustrato	NS	0.0096	NS	NS	0.0168	NS	NS	NS	NS	NS
Envase × fertilización	NS	NS	0.044	NS	0.0092	NS	NS	NS	NS	NS
Sustrato × fertilización	NS	NS	NS	NS	0.0429	NS	0.0309	NS	0.0002	0.0012
Envase × sustrato × fertilización	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV	15.18	19.44	14.44	14.08	15.76	21.16	26.17	18.91	22.94	22.13

RLPO: raíces laterales de primer orden; RLSO: raíces laterales de segundo orden; RP: raíz principal; RCA: raíces con crecimiento activo; Vol. volumen; CV: coeficiente de variación.

Envases

Las raíces de las plantas producidas en envase con drenaje típico (E1) presentaron los valores mayores para para RLPO (14.0 vs 13.4); RLSO (9.0 vs 8.1); LRLPO (8.8 vs 4.4 cm); LRP (10.8 vs 9.4 cm); orden de raíces (2.8 vs 2.6); PSRP (0.21 vs 0.17 g); PSRLPO (0.28 vs 0.15 g); PSRLSO (1.03 vs 0.73 g) y volumen (5.6 vs 4.3 mL), en comparación con los envases con aberturas laterales (Cuadro 15). Dicha diferencia se debe principalmente a la poda lateral aérea en la raíz en el caso de las plantas producidas en E2.

Cuadro 11. Valores promedio para las características de arquitectura de raíz en plantas de *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López producidas en vivero.

T	E	S	F	RLPO	RLSO	Longitud (cm)		ORDEN	Peso seco (g)			RCA	Volumen (mL)
						RLPO	RP		RP	RLPO	RLSO		
1	E1. Envase con drenaje típico	S1	F1	11.6 a	8.4 a	9.0 a	10.4 ab	2.4 ab	0.22 ab	0.26 abc	0.90 abcd	28.8 ab	7.4 a
2			F2	15.4 a	9.3 a	8.4 a	9.8 ab	2.6 ab	0.20 ab	0.33 a	1.11 a	26.6 ab	5.7 abc
3		S2	F1	14.2 a	7.5 a	9.3 a	11.0 a	2.0 b	0.22 ab	0.29 ab	1.05 abc	22.1 b	4.2 c
4			F2	13.2 a	8.3 a	8.6 a	11.0 a	2.8 ab	0.22 ab	0.25 abcd	0.91 abcd	34.2 ab	4.3 bc
5		S3	F1	15.4 a	10.2 a	8.7 a	11.2 a	3.0 a	0.21 ab	0.31 a	1.08 ab	30.6 ab	5.2 abc
6			F2	14.2 a	10.6 a	8.7 a	11.0 a	3.0 a	0.18 ab	0.24 abcde	1.14 a	33.6 ab	6.7 ab
7	E2. Envase con aberturas laterales	S1	F1	14.0 a	7.6 a	4.2 b	9.1 ab	3.0 a	0.15 ab	0.15 cde	0.72 bcd	33.8 ab	5.5 abc
8			F2	14.2 a	7.2 a	4.5 b	9.8 ab	2.8 ab	0.24 a	0.21 abcde	0.84 abcd	22.6 ab	3.9 c
9		S2	F1	12.2 a	7.6 a	4.1 b	10.4 ab	2.8 ab	0.17 ab	0.12 e	0.59 d	22.4 b	3.9 c
10			F2	12.6 a	9.8 a	4.7 b	9.7 ab	2.8 ab	0.19 ab	0.17 bcde	0.79 abcd	36.4 ab	4.1 c
11		S3	F1	13.6 a	9.0 a	4.1 b	7.7 b	3.0 a	0.16 ab	0.14 de	0.71 cd	34.6 ab	4.0 c
12			F2	14.0 a	7.3 a	4.9 b	9.5 ab	2.4 ab	0.14 b	0.13 de	0.71 cd	37.6 a	4.6 bc
DMSH				4.52	3.62	2.07	3.07	0.92	0.08	0.12	0.36	15.08	2.37
	E1	Todos	Todos	14.0 a	9.0 a	8.8 a	10.8 a	2.8 a	0.21 a	0.28 a	1.03 a	29.3 a	5.6 a
	E2	Todos	Todos	13.4 b	8.1 b	4.4 b	9.4 b	2.6 b	0.17 b	0.15 b	0.73 b	31.2 a	4.3 b
	Todos	S1	Todos	13.8 a	8.1 a	6.5 a	9.8 a	2.9 a	0.20 a	0.24 a	0.89 a	28.0 b	5.6 a
	Todos	S2	Todos	13.1 a	8.3 a	6.7 a	10.5 a	2.7 a	0.20 a	0.21 a	0.84 a	28.8 ab	5.1 a
	Todos	S3	Todos	14.3 a	9.3 a	6.6 a	9.9 a	2.6 a	0.17 a	0.21 a	0.91 a	34.1 a	4.1 b
	Todos	Todos	F1	13.5 a	8.4 a	6.6 a	10.0 a	2.7 a	0.19 a	0.21 a	0.84 a	28.7 a	5.0 a
	Todos	Todos	F2	13.9 a	8.8 a	6.6 a	10.1 a	2.7 a	0.19 a	0.22 a	0.92 a	31.8 a	4.9 a

Letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$); T: Tratamiento; E: Envase; S: Sustrato; S1) turba de musgo, perlita y vermiculita; S2) corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino y S3) aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino en proporción de 3:1:1 (v:v:v) para cada uno de sus componentes; F: Fertilización; F1: 8 g L⁻¹ FLC de 8-9 meses de liberación; F2: 4 g L⁻¹ FLC de cada tiempo de liberación; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; RLPO: Raíces laterales de primer orden; RLSO: Raíces laterales de segundo orden; RP: Raíz principal; RCA: Raíces con crecimiento activo.

La distribución de raíces laterales de primer y segundo orden, el número y longitud de estas presentaron diferencias significativas. La emisión menor de RLPO puede estar influenciada por la pérdida rápida de agua en los envases con aberturas laterales (Landis, 2005). Dicho proceso pudo afectar de la misma forma a la emisión de RLSO. Los valores para las variables RLPO y RLSO difieren con los obtenidos por Sánchez (2014), donde los envases con aberturas laterales presentaron mayor cantidad de RLPO, pero coinciden con los reportados por Rune (2003), donde existe mayor cantidad de RLPO en envases con drenaje típico a diferencia de los que presentan aberturas laterales.

Por otro lado, las longitudes reportadas para RLPO y RP fueron mayores en el envase con paredes lisas (E1). La longitud de raíces laterales de primer orden (LRLPO) con respecto a la longitud de la raíz principal (LRP), demuestran que en E1 se puede presentar problemas de raíces envolventes que afectan el crecimiento de las plantas; caso contrario para el E2, donde las aberturas laterales limitan el crecimiento de las raíces. Varios autores mencionan que los envases con aberturas laterales generan un sistema de raíces más naturales en especies forestales como *Pinus sylvestris* L. (Rune, 2003), *P. pinea* L. y *Quercus coccifera* (Torrente y Pemán, 2004), *P. radiata* D. Don (Ortega *et al.*, 2006); eliminando la estructura de jaula generada por envases con drenaje típico.

El orden de raíces es el número de ramificaciones que presenta una raíz lateral de primer orden (RLPO), siendo nuevamente el envase con drenaje típico el que presenta el valor más alto. Dicha característica permite a la raíz tener una mayor superficie de absorción, además de presentar más puntos de crecimiento por RLPO. Los resultados para esta variable, coinciden con los reportados por Torrente y Pemán (2004), donde los envases con aberturas laterales presentan RLPO con menor número de orden.

Los pesos secos mayores obtenidos para RLPO, RLSO y RP se reportan para envases con drenaje típico, los cuales presentan menor desecación en el sustrato (Landis, 2005), que puede influir en mayor crecimiento en las raíces. Domínguez (2000) menciona que al utilizar envases con drenaje típico en la producción de *Quercus ilex* L., desarrolla raíces gruesas y de longitud mayor a la del envase aumentando la cantidad de biomasa. Sin embargo, Ortega *et al.* (2006)

mencionan que *P. radiata*, produce menor cantidad de biomasa de raíces en envases con aberturas laterales, lo cual coincide con lo obtenido en la presente investigación.

El volumen de las raíces en los envases con drenaje típico ($p = 0.0001$) superan por 1 mL a las raíces de los envases con aberturas laterales. Dichos resultados concuerdan con los resultados reportados por Sánchez *et al.* (2016), donde en los envases con drenaje típico presentaron mayor volumen de raíz (5.85 mL) en comparación con los envases con aberturas laterales (5.47 mL). El volumen de la raíz es una característica que se correlaciona de manera positiva con la supervivencia y crecimiento de las plantas establecidas en el terreno (Rose *et al.*, 1991); por otro lado, plantas de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, con mayor volumen de raíz presentaron mayores tasas de supervivencia y crecimiento inicial en altura y diámetro (Alzugaray *et al.*, 2004).

Sustratos

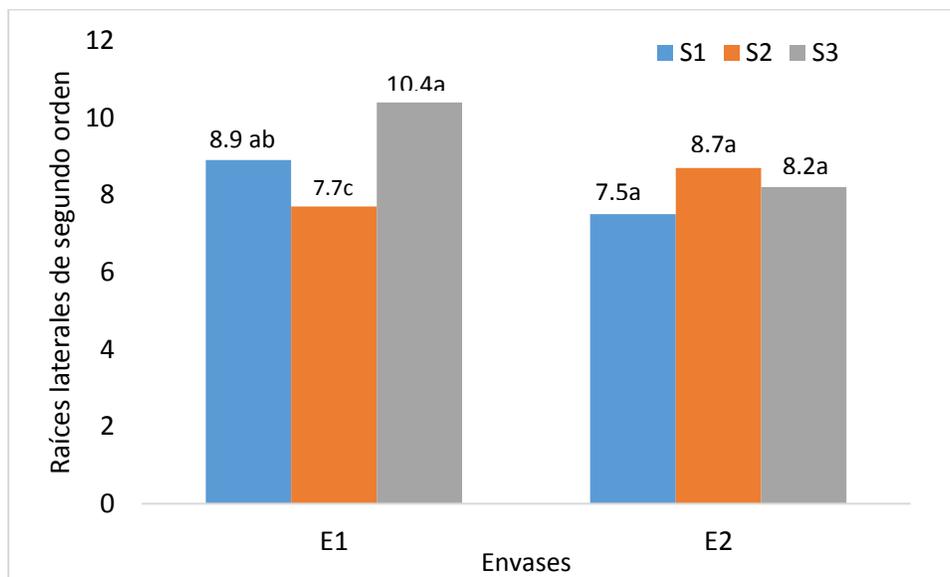
S3 fue el que presentó el valor mayor en raíces con crecimiento activo (RCA) 34.1, S2 tuvo 28.8 y S1 28. El mayor valor en el volumen fue en S1 con 5.6 mL, S2 con 5.1 mL y S3 con 4.1 mL.

Las plantas que se someten a sequía presentan una mayor cantidad de RCA. (Córdoba *et al.*, 2011). De acuerdo con Yap *et al.* (2014) el sustrato compuesto por corteza de pino presenta una rápida pérdida de agua, por lo que se esperaba que en S2 se presentara una mayor cantidad de RCA. La presencia de RCA indica los meristemas activos para la formación de nuevas raíces, garantizando la absorción de agua y nutrientes una vez que las plantas se encuentran establecidas en campo (Deans *et al.*, 1990; Barajas *et al.*, 2004).

Por otro lado, S3 obtuvo el valor menor en volumen, lo que indica que las raíces en este sustrato están presentes en menor cantidad o bien que el grosor de éstas es menor en comparación con S1. Mathers *et al.* (2007) mencionan que son mejores las raíces finas, que generalmente son las encargadas de obtener agua y nutrientes en el sitio de establecimiento. Jacobs *et al.* (2009) menciona que los sustratos compuestos por materiales orgánicos son mejores para obtener un desarrollo de raíces sano, en comparación con los sustratos compuestos por suelo de campo.

La morfología de las raíces generadas está muy influenciada por el hábito de crecimiento de la especie (Guevara y Guenni, 2013). Córdoba *et al.* (2011) mencionan que las especies forestales realizan diferentes asignaciones de recursos a las raíces dependiendo de las condiciones adversas que la planta enfrente.

Con relación a la interacción envase \times sustrato, las variables significativas ($p \leq 0.05$) fueron raíces laterales de segundo orden (RLSO) (Figura 12) y orden de raíces (Figura 13). De manera general el mayor número de RLSO se produjo en los envases con drenaje típico (E1), por lo que el análisis de contrastes se realizó para determinar el mejor sustrato. Demostrando que S3 produce mayor número de RLSO en el envase con drenaje típico, y para el caso de E2 (con aberturas laterales), el sustrato utilizado no presenta significancia.

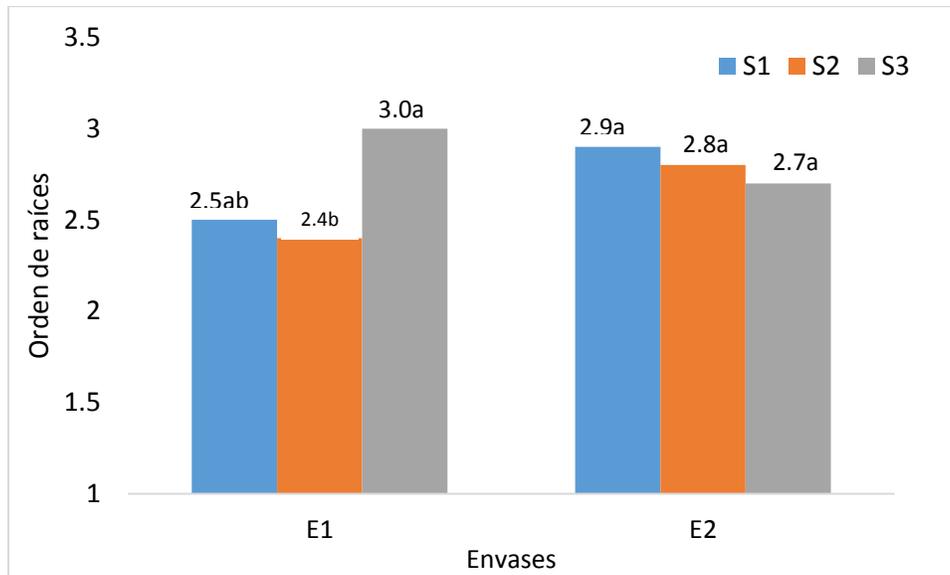


Letras iguales en el tipo de envase no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$)

Figura 11. Interacción entre tipo de envases y sustratos para la variable raíces laterales de segundo orden (RLSO) en plantas de *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López.

En la interacción para orden de raíces, fue superior en el E2, sin tener efecto el sustrato utilizado. En el envase con drenaje típico; S3 presenta el valor mayor de orden de raíces en las plantas cultivadas. (Figura 13).

Haase *et al.* (2015) y Mathers *et al.* (2007) mencionan que la morfología de las raíces está influenciada por diversos factores como la fertilización, riego, poda de raíz, características físicas y químicas de los sustratos, al igual que el tamaño y la forma del envase utilizado; lo cual concuerda con los resultados reportados en esta investigación, donde el factor envase es el principal factor que afecta la estructura de raíces en las plantas (Cuadro 10).



Letras iguales en el tipo de envase no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$)

Figura 12. Interacción entre el tipo de envases y sustratos para la variable orden de raíces en plantas de *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López.

5.3.2 Deformación de raíz

La prueba no paramétrica de Chi cuadrada, demuestra que solo el factor envase ($p = 0.0029$) es significativo para la variable deformación de la raíz principal. Donde el envase de aberturas laterales, presenta menor incidencia de algún tipo de deformación (Figura 14).

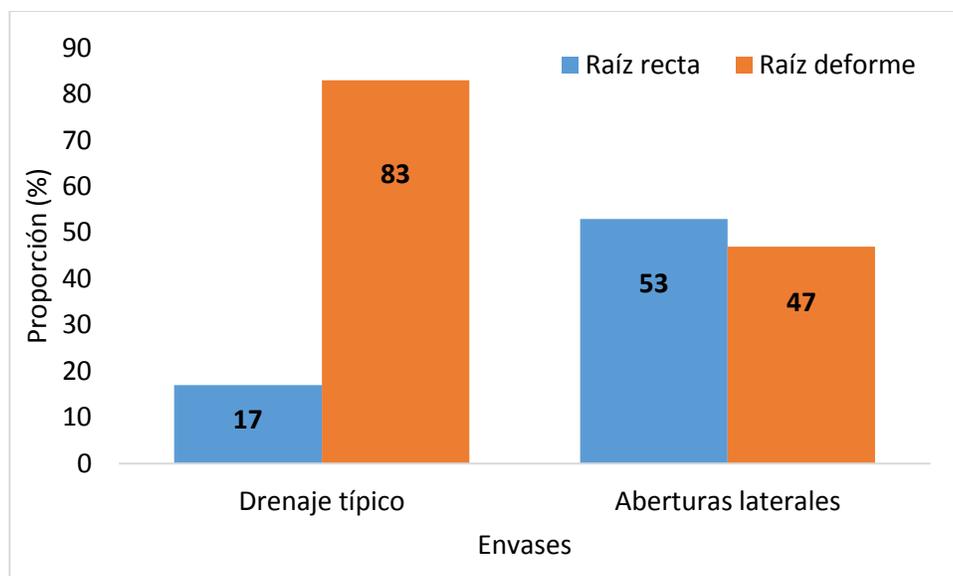


Figura 13. Proporción de raíces rectas y deformes por tipo de envase en plantas de *Pinus greggii* var. *australis*

Los resultados aquí encontrados concuerdan con Sánchez *et al.* (2016), Ortega *et al.* (2006), y Amoroso *et al.* (2010), que utilizaron envases con aberturas laterales en la producción de especies forestales, demostrando que las deformaciones de raíces se disminuyen al utilizar este tipo de envases.

A pesar de que las plantas producidas en envases con aberturas laterales, presentan menor biomasa de raíces, Ortega *et al.* (2006) mencionan que menos del 14 % de las plantas presentan algún tipo de deformación en la raíz principal, además que este tipo de envases propicia una arquitectura de raíz más natural, de mayor área eliminando la típica estructura de jaula (Rune, 2003; Torrente y Pemán, 2004).

Las deformaciones de raíz pueden causar inestabilidad y muerte de las plantas una vez establecidas en campo (Zahreddine *et al.*, 2004), sin embargo, estas deformaciones pueden ser causadas no solo por el envase utilizado, sino por otros factores como el periodo de permanencia de las plantas en los envases (Mathers *et al.*, 2007).

Es necesario establecer en campo las plantas producidas en ambos envases (paredes lisas vs con aberturas laterales) esto con la finalidad de evaluar su desempeño. Además de evaluar el gasto de agua utilizada en el riego durante la producción de planta en vivero, ya que los envases con aberturas laterales requieren mayor cantidad de agua

5.4 CONCLUSIONES

El sistema radical de las plantas producidas en el sustrato a base de aserrín, presentan mejores características que en las generadas en los sustratos de turba de musgo y corteza de pino.

El diseño del envase E1 con paredes lisas y E2 con aberturas laterales, modifica la arquitectura de raíz en las plantas y la incidencia de raíces con algún tipo de deformación.

La fertilización en las dos formas (F1: 8 g L⁻¹ FLC de 8-9 meses de liberación; F2: 4 g L⁻¹ FLC de ambos tiempos de liberación 4-5 y 8-9 meses) de aplicación no generó diferencias para ninguna variable analizada.

CAPÍTULO VI. LITERATURA CITADA

- Abad B., M., P. Noguera M. y C. Carrión B. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. *In:* Tratado de cultivos sin suelo. 3ra edi. Ediciones Mundi prensa. Madrid, España. pp: 113-117.
- Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T. y V. M. Ordaz C. 2016. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50: 107-118.
- Alcántar G., G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 150 p.
- Allaire L., S. E., J. Caron. and L. E. Parent. 1999. Changes in physical properties of peat substrates during plant growth. *Canadian Journal of Soil Science* 79:137-139.
- Amoroso, G., P. Frang, R. Piatti, F. Ferrinni, A. Fini and M. Faoro. 2010. Effect of container design on plant growth and root deformation of little leaf linden and field elm. *HortScience* 45(2): 1824-1829.
- Argo, W.R. 1998. Root medium physical properties. *HortTechnology* 8:481-485.
- Arrieta R., B.G., A. Villegas M., M.N. Rodríguez M. y G. Luna E. 2014. Desarrollo en vivero de portainjertos de cítricos con malformación de raíz. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20(1): 29-39.
- Arrieta, V. y V. Terés. 1993. Caracterización física y química, y manejo agronómico de la corteza de pino (*Pinus radiata*) como sustrato de cultivo. *In:* Congreso Forestal Español. Lourizán, Galicia, España. Pp:227- 232.
- Alzugaray, P., D. Haase, and R. Rose. 2004. Efecto del volumen radicular y la tasa de fertilización sobre el comportamiento en terreno de plantas de pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) producidas con el método 1 + 1. *Bosques* 25(2): 17-33.
- Barajas R., J. E., A. Aldrete, J. J. Vargas H. y J. López U. 2004. La poda química en vivero incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38(5): 545-553.
- Bilderback, T. E., S. L. Warren, J. S. Owen Jr. and J. P. Albano. 2005. Healthy substrates need physicals too. *HortTechnology* 15(4): 747-751.

- Bremner, J. M. 1965. Total Nitrogen. *In*: C. A Black (ed.) Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbial properties. Number 9 in series Agronomy. American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Madison, USA. Pp: 1049-1178.
- Broschat, T.K. 2005. Rates of ammonium-nitrogen, nitrate-nitrogen, phosphorus, and potassium from two controlled-release fertilizers under different substrate environments. *HortTechnology* 15(2): 332-335.
- Buamscha M., G., J. E. Altland, D. M. Sullivan, D. A. Horneck and J. Cassidy. 2007. Chemical and physical properties of Douglas fir bark relevant to the production of container plants. *HortScience* 42(5): 1281-1286.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid, España. 342 p.
- Bustos, F., M. E. González, P. Donoso, V. Gerding, C. Donoso y B. Escobar. 2008. Efecto de distintas dosis de fertilización de liberación controlada (Osmocote®) en el desarrollo de plantas coigüe, raulí y ulmo. *Bosques* 29(2):155-161.
- Cabrera I., R. 1995. Fundamentals of container media management: Part I. Physical properties. Rutgers Cooperative Extension Factsheet. No. 950. 4 p.
- Cabrera I., R. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5(1): 5-11.
- Chirino M., E., A.V. Carmona, R.F. Martínez y R.V. Calzada. 2005. Uso de contenedor profundo en el cultivo de quercineas. Efectos sobre el crecimiento y distribución de biomasa. *In*: IV Congreso Forestal Nacional. Alicante, España. 8 p.
- Córdoba R., D., J. J. Vargas H., J. López U. y A. Muñoz O. 2011. Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia* 45: 493-506.
- Davis, A. S. y D. F. Jacobs. 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests* 30: 295-311.
- Deans, J. D., C. Lundberg, M. G. R. Cannell, M. B. Murray, and L. J. Sheppard. 1990. Root system fibrosity of Sitka Spruce transplants: relationship with root growth potential. *Forestry* 63(1): 1-7.
- De Boodt, M., O. Verdonck and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062.

- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada y C.W. Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Domínguez L., S. 2000. Influencia de distintos tipos de contenedor en el desarrollo en campo de *Pinus halepensis* y *Quercus ilex*. In: Reunión de Coordinación I+D. Fundación CEAM. Guadalajara, España. -10 p.
- Domínguez L., S., I. Carrasco M, N. Herrero S, L. Ocaña B, J.L. Nicolás P. y J.L. Peñuelas R. 2000. Las características de los contenedores influyen en la supervivencia y crecimiento de las plantas de *Pinus pinea* en campo. Actas del 1er Simposio sobre el Pino Piñonero. Vol. 1: 203-209.
- 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 tests. Oregon State University, Forest Research Laboratory. Oregon State University, Corvallis, OR, USA. pp: 1-4.
- Escamilla H., N., J. J. Obrador O., E. Carrillo A. y D. J. Palma L. 2015. Uso de fertilizantes de liberación controlada en plantas de teca (*Tectona grandis*), en la etapa de vivero. Revista Fitotecnia Mexicana 38(3): 329 – 333.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köeppen. 2ª Ed. Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. pp: 39-40.
- Gilman, E. F., C. Harchick and M. Paz. 2010. Effect of container type on root form and growth of red maple. Journal Environmental Horticulture 28(1): 1–7.
- Gómez R., M., J. C. Soto C., J. A. Blanco G., C. Saénz R., J. Villegas y R. Lindig C. 2012. Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. Agrociencia 46: 795-807.
- Gonçalves, B., C. M. Correia, A. P. Silva, E. A. Bacelar, A. Santos, H. Ferreira y J. M. Moutinho P. 2007. Variation in xylem structure and function in roots and stems of scion-rootstock combinations of sweet cherry tree (*Prunus avium* L.). Trees 21: 121-130.
- Grossnickle, S. C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. New Forests 30: 273–294.
- Grossnickle, S. C. 2012. Why seedlings survive: influence of plant attributes. New Forests 43:711–738.
- Guevara, E. y O. Guenni. 2013. Densidad y longitud de raíces en plantas de *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit. Multiciencias 13(4): 372-380.

- Haase, D. L. 2007. Morphological and physiological evaluations of seedling quality. *In*: National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. Proceedings RMRS-P50. USDA Forest Service. Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, USA. Pp.3-8.
- Haase, D. L., R. K. Dumroese, K. M. Wilkinson and T. D. Landis. 2015. Tropical nursery concepts and practices. *In*: Tropical Forestry Handbook. USDA, Forest Service. Washington, D.C. Pp. 1 -30.
- Harris, J. R. and E. F. Gilman. 1991. Production methods affects growth and root generation of leyland cypress, laurel oak and slash pine. *Journal of Arboriculture* 17(3): 64-69.
- Hernández P., F. y S. Torres L. 2009. Niveles críticos nutrimentales para especies forestales en México a nivel de vivero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, estado de México. 173 p.
- Hernández Z., L. 2013. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. influenciado por el sustrato y la fertilización en vivero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco, México. 109 p.
- Hernández Z., L., A. Aldrete, V. M. Ordaz C., J. López U. y M. A. López L. 2014. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48(6). 627-637.
- Jackson, B. E., R. D. Wright, and J. R. Seiler. 2009. Changes in chemical and physical properties of pine tree substrate and pine bark during long-term nursery crop production. *HortScience* 44 (3): 791-799.
- Jacobs, D. F., T. D. Landis and T. Luna. 2009. Growing media. *In*: Dumroese, R.K., Luna, T. and T.D. Landis (eds.). *Nursery Manual for Native Plants: Volume 1, A Guide for Tribal Nurseries*. Agriculture Handbook 730. USDA, Forest Service. Washington, DC. Pp:77 -93.
- Landis, T. D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. *In*: Landis, T. D., R.W. Tinus, S.E. McDonald. and J.P. Barnett. *The Container Tree Nursery Manual*. Volume 4. Agric. Handbook 674. Washington, DC, USDA, Forest Service: 1-67.
- Landis, T. D. 1990. Containers: Types and Functions. *In*: Landis., T. D.; R. W. Tinus., S. E. McDonald. and J.P. Barnett (eds.). *The Container Tree Nursery Manual*. Volume 2. Agric. Handbook. 674. USDA, Forest Service. Washington, DC. pp: 1-40.

- Landis, T. D. 2005. Sideslit or Airlit Containers. *In*: Dumroese, R. K., Landis, T. D. and Watson, R. (eds). Forest Nursery Notes. USDA, Forest Service. Washington, D.C. Summer. Pp. 17-19.
- Landis, T. D. and R. K. Dumroese. 2009. Using polymer coated controlled release fertilizers in the nursery and after outplanting. *In*: Dumroese, R. K., Landis, T. D., Watson, R. and Hutchinson, L. (eds). Forest Nursery Notes. USDA, Forest Service. Washington, D.C. Winter. Pp. 5-12.
- Landis, T. D. and N. Morgan. 2009. Growing media alternatives for forest and native plant nurseries. *In*: Dumroese, R. K., L. E. Riley (eds). National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. RMRS-P-58. USDA, Forest Service. Rocky Mountain Research. Fort Collins, C.O., U.S.A. pp 26-31.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. Mc Donald, and J. P. Barnett. 1990. Containers and Growing Media. Vol. 2. The Container Tree Nursery Manual. Agricultural Handbook 674. USDA, Forest Service. Washington, DC. USA. 88 p.
- Lindström, A. y G. Rune. 1999. Root deformation in plantations of container grown Scots pine trees: effects on root growth, tree stability and stem straightness. *Plant and Soil* 217: 29-37.
- Livingston, W. H. 1990. *Armillaria ostoyae* in young spruce plantations. *Canadian Journal of Forest Research* 20(11): 1773-1778.
- López B., J., A. Cruz R. y L. Herrera E. 2003. The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current Opinion in Plant Biology* 6: 280-287.
- López U., J., C. Ramírez H., O. Plascencia E. y J. Jasso M. 2004. Variación en crecimiento de diferentes poblaciones de las dos variedades de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38: 457-464.
- Luna, T., T. D. Landis, and R. K. Dumroese. 2009. Containers. *In*: Dumroese, R. K., Luna, T. and T. D. Landis (eds.). Nursery manual for native plants: volume 1, a guide for tribal nurseries. Agriculture Handbook 730. USDA, Forest Service. Washington, DC. pp: 95 – 111.
- Maldonado B., K. R., A. Aldrete, J. López U., H. Vaquera H. y V. M. Cetina A. 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustratos con hidrogel y riego, en vivero. *Agrociencia* 45: 389-393.
- Martínez T., M., G. Solís G., J. C. Jiménez S., D. López H., y. Carreón A. y P. Ríos C. 2013. Respuestas morfogénicas de las raíces de *Arabidopsis thaliana* (Magnoliophyta: Brassicales) al estrés de Cr(VI). *Revista Chilena de Historia Natural* 86: 207-219.

- Mateo S., J. J., R. Bonifacio V., S. R. Pérez R., L. Mohedano C. y J. Capulín G. 2011. Producción de *Cedrela odorata* L. en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Técan de Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai* 7: 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.
- Mattson, A. 1996. Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests* 13: 223-248.
- Mexal, J. G. and T. D. Landis. 1990. Target seedlings concepts: Height and diameter. *In*: Rose, R., S.J. Campbell and T.D. Landis (eds.). *Target Seedlings Symposium: Proceedings, combined meeting of the western forest nursery associations*. General technical report. RM-200. USDA, Forest Service. Ft. Collins. CO. Pp: 17-36.
- Miller, J. H. and N. Jones. 1995. Organic and compost-based growing media for tree seedling nurseries. World Bank Tech. Paper No 264, Forestry Series. The World Bank, Washington, DC. 75 p.
- 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 (2ª Sección).
- Oliet, J., M. L. Segura, F. Martín D., E. Blanco, R. Serrada, M. López A. 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. *Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales* 8(1): 208 – 228.
- Ortega, U., J. Majada, A. Mena P., J. Sánchez Z., N. Rodríguez I., K. Txarterina, J. Azpitarte y M. Duñabeitia. 2006. Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. *New Forests* 31: 97-112.
- Pastor S., J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana* 17(3): 231-235.
- Peñuelas R., J. L. y L. Ocaña B. 1993. Los contenedores en la producción de planta forestal. Planteamiento general y primeros resultados. *In*: *Congreso Forestal Español*. Tomo II. Lourizán, Galicia, España Pp: 271-276.

- Peñuelas R., J. L. y L. Ocaña B. 2000. Cultivos de planta forestal en contenedor. Principios y fundamentos. Mundi prensa. Barcelona, España. 199 p.
- Péret, B., B. De Rybel, I. Casimiro, E. Benková, R. Swarup, L. Laplaze y J. M. Bennett. 2009. Arabidopsis lateral root development: an emerging story. Trends in plant science 14(7): 399-408.
- Pokorny, F. A. 1979. Pine bark container media: an overview. International Plant Propagators Society Combined Proceedings. 29:484–495.
- Prieto R., J. A., P. A. Domínguez C., E. H. Cornejo O. y J. J. Návar C. 2007. Efecto del envase y del riego en vivero en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. Madera y Bosques 13(1): 79-97.
- Prieto R., J. A., J. L. García R., J. M. Mejía B., S. Huchín A. y J. L. Aguilar V. 2009. Producción de Planta del Género *Pinus* en Vivero en Clima Templado Frío. Publicación especial No. 28. Campo Experimental valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. 48 p
- Prieto R., J. A., S. Rosales M., J. A. Sigala R., R. E. Madrid A. y J. M. Mejía B. 2013. Producción de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd.) con diferentes mezclas de sustratos. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 4(20): 50-57.
- Prieto R., J. A., G. Vera C. y E. Merlín B. 2003. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico 12. Campo Experimental Valle de Guadiana- INIFAP-SAGARPA. Durango, Dgo. México. 24 p.
- Quiroz M., I., E. García R., M. González O., P. Chung G., y H. Soto G. 2009. Vivero Forestal: Producción de Plantas nativas a raíz cubierta. Gobierno de Chile. Ministro de Agricultura INFOR. Centro Tecnológico de la planta forestal. Concepción, Chile. Pp:52-54.
- Ramírez H., C., J. J. Vargas H., y J. López U. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta Botánica Mexicana 72: 1-16.
- Reyes R., J., A. Aldrete, V. M. Cetina A., J. López U. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en sustratos a base de aserrín. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 11(2): 105-110.
- Reyes M., J., V. Gerding y O. Thiers E. 2012. Fertilizantes de liberación controlada aplicados al establecimiento de *Pinus radiata* Don, en Chile. Revista Chapingo. Serie Ciencia Forestales y del Ambiente 18(3): 313-328.

- Rose, R., M. Atkinson, J. Gleason and T. Sabin. 1991. Root volume as a grading criterion to improve field performance of Douglas fir seedlings. *New Forests* 5: 195-209.
- Rose, R., Haase, D. L. Haase y E. Arellano. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosques* 25(2): 89-100.
- Rune, G. 2003. Slits in container wall improve root structure and stem straightness of outplanted scots pine seedlings. *Silva Fennica* 37(3): 333-342.
- Sáenz R., J. T., F. J. Villaseñor R., H. J. Muñoz F., A. Rueda S. y J. A. Prieto R. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico Núm. 17. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 48 p.
- Salgado G., S. y R. Núñez E. 2010. Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. Ediciones Mundi prensa. México, D.F. Pp: 53-62.
- Sánchez A., H. 2014. El diseño y color del contenedor afecta el desarrollo radical de tres especies de pino. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco, México. 76 p.
- Sánchez A., H., A. Aldrete, J. J. Vargas H. y V. Ordaz C. 2016. Influencia del tipo y color de envase en el desarrollo de plantas de pino en vivero. *Agrociencia* 50(4): 481-492.
- Sánchez C., T., A. Aldrete, V. M. Cetina A. y J. López U. 2008. Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques* 14(2): 41-49.
- Santelices, R., R. M. Navarro C., F. Drake y C. Mena. 2011. Efecto de la cobertura y de la fertilización en el desarrollo de plantas *Nothofagus alessandrii* cultivadas en contenedor. *Bosques* 32(1): 85-88.
- South, D. B. 2000. Planting morphologically improved pine seedlings to increase survival and growth. Forestry and Wildlife Research Series No. 1. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn, Alabama. 12 p.
- Sung, S. J. S. and J. D. Haywood. 2016. Air lateral root pruning affects longleaf pine seedling root system morphology. *In: Silvicultural Research Conference*. 317-322 p.
- Sword S., M. A., S. J. S. Sung and J. D. Haywood. 2011. Longleaf pine root system development and seedling quality in response to copper root pruning and cavity size. *Southern Journal of Applied Forestry* 35(1): 5 -11.

- Timmer, V. R. and W. J. Parton. 1982. Monitoring nutrient status of containerized seedlings. *In: Proceedings, Ontario ministry of natural resources nurseryman's meeting. Ministry of Natural Resources. Thunder Bay. Toronto, Ontario. Pp: 48-58.*
- Torrente S., I. y J. Pemán G. 2004. Influencia de los contenedores abiertos lateralmente en la morfología aérea y radicular en plántulas de *Pinus pinea* y *Quercus coccifera*. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 17: 239-243.
- Tsakalimi, M., T. Zagas, T. Tsitsoni, P. Ganatsas. 2005. Root morphology, stem growth and field performance of seedlings of two mediterranean evergreen oak species raised in different container types. *Plant and Soil* 278: 85-93.
- Vargas H., J. J. y A. Muñoz O. 1988. Resistencia a sequía: II. Crecimiento y supervivencia en plántulas de cuatro especies de *Pinus*. *Agrociencia* 72: 197-208.
- Vilagrosa, A., J. Cortina, E. Rubio, R. Trubat, E. Chirino, E. Gil P. y V.R. Vallejo. 2005. El papel de la ecofisiología en la restauración forestal de los ecosistemas mediterráneos. *Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales* 14(3): 446-461.
- Villar S., P. 2003. Importancia de la calidad de la planta en los proyectos de revegetación. En: *Restauración de ecosistemas en Ambientales Mediterráneos*, Rey B., J. M., T. Espigares P. y J.M. Nicolau I. (Eds.), Universidad de Alcalá / Asociación Española de Ecología Terrestre. Guadalajara, España. pp. 65:86.
- Varnero, M. T., M. S. Quiroz y C. H. Álvarez. 2010. Utilización de residuos forestales lignocelulósicos para producción del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). *Información Tecnológica* 21(2): 13-20.
- Yap, T. C., B. E. Jackson and W. C. Fonteno. 2014. Water retention of processed pine wood and pine bark and their particle size fractions. *In: Proceedings of the Annual Meeting of the International Plant Propagators Society. Bellefonte, Pennsylvania, USA. Pp:467-472.*
- Zahreddine, H. G., D. K. Struve, and M. Quigley. 2004. Growing *Pinus nigra* seedlings in Spinout™ – treated containers reduces root malformation and increases regrowth potential. *Journal of Environmental Horticulture* 22:176-182.