



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

El diseño y color de contenedor afecta el desarrollo radical de tres especies de pino

HOTÓN SÁNCHEZ AGUILAR

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2014

La presente tesis titulada "EL DISEÑO Y COLOR DE CONTENEDOR AFECTA EL DESARROLLO RADICAL DE TRES ESPECIES DE PINO" realizada por el alumno: **HOTON SANCHEZ AGUILAR** con la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES**

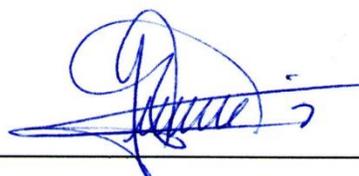
CONSEJO PARTICULAR

Consejero:



Dr. Arnulfo Aldrete

Asesor:



Dr. Armando Gómez Guerrero

Asesor:



Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro

Montecillo, Texcoco, Estado de México. Junio de 2014

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado para obtener mis estudios de maestría y hacer posible la realización de este trabajo

Al Postgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados y su personal académico y administrativo a quienes les debo su valiosa orientación en la buena ejecución de mis estudios de postgrado.

Al Dr. Arnulfo Aldrete por su atinada dirección, valioso aporte y asesoría durante la realización de esta tesis.

Al Dr. Jesús Vargas Hernández por su asesoría en el análisis estadístico de la información y correcciones emitidas al documento.

Al Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro por su asesoría en la parte de sustratos y las facilidades de uso del laboratorio de Física de Suelos del Postgrado en Edafología, así como en la revisión final del documento.

Al Dr. Armando Gómez Guerrero por sus aportaciones en la revisión final del documento.

A la empresa INOVACIONES INDUSTRIALES Y FORESTALES S. A. de C. V. y sus representantes: Carlos Alberto Núñez Hornedo, Rodolfo Octavio Núñez Hornedo y Julio César Núñez Hornedo, por las donaciones de contenedores y materiales para realizar esta tesis.

Mi más sincero agradecimiento para aquellas personas que me apoyaron a lo largo de este proceso. A mis amigos: Cirilo Rodríguez y María Luisa Ávila por sus palabras de aliento y apoyo en la toma de datos; a Yasmit Flores y Juan Hernández por su invaluable amistad y apoyo incondicional. A mi familia: Sra. Rosa, Guisela, Chabe, Beto, Chetos, Juan Carlos, Yael, José Manuel, Betza y Fer, por su apoyo moral en todo momento.

A la memoria de mi padre, Sr. Demetrio Sánchez Espino (†) y mi madre, Sra. Emerenciana Aguilar Arriaga, vivo ejemplo de rectitud, humildad y perseverancia. A ellos que me dieron la vida y están conmigo en todo momento, dedico este trabajo.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Descripción básica de las especies de estudio.....	3
2.1.1. <i>Pinus greggii</i> Engelm.	3
2.1.2. <i>Pinus oaxacana</i> Mirov.	4
2.1.3. <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	5
2.2. Uso de contenedores en la producción de planta forestal.....	6
2.3. Calidad de planta forestal	7
2.4. Sustratos en la producción de especies forestales	8
2.5. Arquitectura de raíz.	10
2.5.1. Importancia del estudio de la arquitectura de raíz.	11
2.5.2. El papel de las raíces en la absorción de agua y nutrientes	14
2.5.3. Importancia del sistema radical en el anclaje de la planta	15
CAPÍTULO III. EL DISEÑO Y COLOR DE ENVASE AFECTAN EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE TRES ESPECIES DE PINO EN LA ETAPA DE VIVERO	17
3.1. RESUMEN	17
3.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
3.4.1. Análisis de Varianza.....	23
3.4.2. Efecto del color de envase	25
3.4.3. Efecto del diseño de drenaje	26
3.4.4. Potencial de crecimiento radical (PCR)	29
3.5. CONCLUSIONES.....	31
CAPITULO IV. ARQUITECTURA DE RAÍZ EN PLANTAS DE VIVERO Y SU EFECTO EN EL DESEMPEÑO DE CAMPO.....	32

4.1. RESUMEN	32
4.2. INTRODUCCIÓN.....	33
4.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
4.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.4.1. Arquitectura de raíz en la especie <i>P. greggii</i>	37
4.4.2. Arquitectura de raíz en la especie <i>P. patula</i>	39
4.4.3. Arquitectura de raíz en la especie <i>P. oaxacana</i>	42
4.5. CONCLUSIONES	45
CAPITULO V. DESEMPEÑO DE TRES ESPECIES DE PINO EN UN AMBIENTE COMUN DE PLANTACIÓN.....	46
5.1. RESUMEN	46
5.2. INTRODUCCIÓN.....	47
5.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
5.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
5.4.1. Crecimiento relativo y distribución de biomasa aérea en <i>P. greggii</i>	49
5.4.2. Crecimiento relativo y distribución de biomasa aérea en <i>P. patula</i>	50
5.4.3. Crecimiento relativo y distribución de biomasa aérea en <i>P. oaxacana</i>	52
5.5. CONCLUSIONES.....	57
CAPÍTULO VI. LITERATURA CITADA.....	58
ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
Cuadro 3.1.	Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para los diferentes factores y variables en las plantas de <i>Pinus greggii</i> . .	24
Cuadro 3.2.	Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para los diferentes factores y variables en las plantas de <i>Pinus patula</i> . ..	24
Cuadro 3.3.	Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para los diferentes factores y variables en las plantas de <i>Pinus oaxacana</i>	24
Cuadro 3.4.	Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para los diferentes factores y variables del potencial de crecimiento de raíz en las especies <i>Pinus greggii</i> , <i>P. patula</i> y <i>P. oaxacana</i>	30
Cuadro 4.1.	Arquitectura de raíz en plantas de vivero de la especie <i>P. greggii</i>	38
Cuadro 4.2.	Arquitectura de raíz en el desempeño de las plantas de <i>P. greggii</i> en campo	39
Cuadro 4.3.	Arquitectura de raíz en plantas de vivero de la especie <i>P. patula</i>	40
Cuadro 4.4.	Arquitectura de raíz en el desempeño de las plantas de <i>P. patula</i> en campo	41
Cuadro 4.5.	Arquitectura de raíz en plantas de vivero de la especie <i>P. oaxacana</i>	42

Cuadro 4.6. Arquitectura de raíz en el desempeño de las plantas de <i>P. patula</i> en campo	43
Cuadro 5.1. Crecimiento relativo en diámetro y altura, biomasa total aérea y desglose en sus componentes principales, del desempeño en campo de plantas de <i>P. greggii</i>	51
Cuadro 5.2. Crecimiento relativo en diámetro y altura, biomasa total aérea y desglose en sus principales principales, del desempeño en campo de plantas de <i>P. patula</i>	53
Cuadro 5.3. Crecimiento relativo en diámetro y altura, biomasa total aérea y desglose en sus principales principales, del desempeño en campo de plantas de <i>P. oaxacana</i>	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
Figura 2.1.	“Comparativo de sistema radical en sistemas diferentes de producción. Las imágenes de la izquierda de cada par corresponden a plantas con poda química de raíz, mientras que las de lado derecho no recibieron tratamiento alguno. El primer grupo se observa un sistema radical más fibroso y mucho más balanceado después de la plantación, en comparación con el de las plantas producidas en contenedores no tratados” (tomado de Landis et al., 1990)	13
Figura 2.2.	Emisión de raíces nuevas (Potencial de Crecimiento de la raíz) y su relación con la sobrevivencia durante el primer año (Tomado de Landis et al., 2010)	13
Figura 2.3.	“Defectos morfológicos del sistema radical caracterizados por raíz torcida. A, B y C, raíces envolventes como resultado de una permanencia excedida en el envase, árboles que murieron tiempo después de su establecimiento en el sitio de plantación. D, E y F indica daños por trasplante defectuoso” (tomado de Cibrián et al., 2008).....	16
Figura 3.1.	Nomenclatura de tratamientos (t) resultantes de la combinación de factores Diseño y color de envase definidos en la producción de planta.	21
Figura 3.2.	Comportamiento de las especies en diferentes variables morfológicas para el factor diseño de drenaje..	28
Figura 5.1.	Promedios mensuales de humedad gravimétrica en el suelo para los sitios de plantación de tres especies de pino.....	55

EL DISEÑO Y COLOR DE CONTENEDOR AFECTA EL DESARROLLO RADICAL DE TRES ESPECIES DE PINO

RESUMEN

El diseño y el color del contenedor son factores que afectan la morfología y calidad de la planta en el vivero, especialmente las características de la raíz. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del diseño de drenaje (liso o típico y de aberturas laterales) y color del contenedor (negro, transparente y blanco) en la calidad de planta de las especies *P. greggii*, *P. patula* y *P. oaxacana*, y su desempeño en la plantación. La evaluación en vivero se realizó a partir de las variables morfológicas altura y diámetro del tallo, peso seco aéreo y radical, número de raíces vivas, volumen de raíz, e índices de calidad: esbeltez, fibrosidad de la raíz, relación parte aérea/raíz, y de calidad de Dickson; la arquitectura de raíz fue a partir del conteo de raíces laterales de primer orden mayores a 2.5 cm, mismas que se clasificaron en categorías longitudinales a cada 5 cm; y el desempeño en campo a través del incremento relativo en diámetro y altura, y en la identificación de raíces laterales envolventes. Los resultados de vivero demostraron que el factor color no afecta significativamente la morfología de la planta pero si en su arquitectura de raíz, pues el color negro permitió el desarrollo de raíces laterales de mayor longitud y con propensión a envolverse. El factor drenaje modificó los atributos de calidad de planta, pues en el envase liso se produjeron plantas de mayor altura y diámetro; y en la arquitectura de raíz, el grupo de envases de aberturas laterales generaron mayor número de raíces laterales de primer orden, en comparación a los lisos; y su distribución concentró las frecuencias más alta en categorías de menor longitud, en comparación al diseño liso, con valores más altos en categorías de mayor longitud. En el desempeño de campo, el efecto del envase se observó principalmente en el diseño de drenaje para la arquitectura de raíz, pues la presencia de raíces envolventes fue mayor en plantas provenientes de envases lisos; y en el crecimiento del diámetro y altura, se observó una tendencia de incrementos mayores en las plantas producidas en envases de aberturas laterales.

DESIGN AND COLOR OF CONTAINER AFFECTS ROOT DEVELOPMENT OF THREE PINE SPECIES

ABSTRACT

Design and color of container are factors that affect morphology and seedling quality in the nursery, especially characteristics of the root. The objective of this study was to evaluate the effect of drainage design (typical and lateral openings) and container color (black, white and transparent) in seedling quality of species *P. greggii*, *P. patula* and *P. oaxacana*, and performance after plantation. The evaluation was performed in the nursery on morphological variables height and stem diameter, shoot and root dry weight, number of live roots, root volume, and quality indexes: sturdiness quotient, root fibrosity, shoot/root ratio and Dickson quality index. Root architecture was evaluated counting first order lateral roots over 2.5 cm, which were classified into longitudinal categories every 5 cm. Field performance was evaluated through the relative increase in diameter and height, and counting circling lateral roots. Results from nursery showed that color factor does not significantly affect plant morphology, but root architecture because black color promoted development of longer lateral roots and root circling. Drainage factor modified seedling quality attributes, typical drainage containers produced greater seedlings in height and diameter. Regarding root architecture, side openings containers group produced greater number of first order lateral roots compared to typical; and distribution concentrated the higher frequency of shorter categories compared to the typical design which had higher values in longer categories. In the field performance, drainage design affected root architecture, since the presence of circling roots was higher in seedlings produced in typical containers; and there was a tendency of higher increments in height and diameter in seedlings grown in containers with lateral openings.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción de planta forestal en México se realiza principalmente a raíz cubierta llegando en algunos años hasta el 99 % y el resto se produce a raíz desnuda. En el primer caso se identifican tres sistemas de producción: tradicional (24 %), tecnificado (75 %), y otros inferiores a 1% (pellets expandibles o “Jiffy”, básicamente). El sistema tradicional se caracteriza por el uso de bolsas de polietileno como contenedor y tierra como medio de crecimiento; dicho sistema está en proceso de disminución, lo que ha permitido el incremento en la producción de planta con el sistema tecnificado, el cual se caracteriza por el uso de contenedores rígidos, individuales o en bloques, y sustratos diversos, de origen orgánico o sintético.

Dada la importancia, en el país, de la producción de planta en contenedores, cada vez la industria innova en las presentaciones de envases en el mercado. Dentro de éstos, dos factores son definitivos en la calidad de planta que se desea obtener en la producción: el diseño del contenedor y el material de fabricación, pues influyen en una serie de características: las dimensiones en diámetro y altura, la estructura del sistema radical (arquitectura de raíz); y en aspectos económicos referentes al número de plantas a producir por unidad de superficie, la cantidad de sustrato a utilizar, y la especie, entre otras. En general el volumen y el diseño del envase son las variables de más impacto en el tamaño de la planta en vivero y, por consiguiente, de la supervivencia en campo (Prieto *et al.*, 2006).

En México, continuamente se ha experimentado en varios tipos de envase y no se ha encontrado un diseño adecuado, debido a las diferencias en el hábito de crecimiento de cada especie y el esquema de producción empleado; de ahí que el mejor contenedor dependerá de los objetivos del vivero, la especie, y el sistema de producción que se establezca (Prieto *et al.*, 2006). Por otra parte, el color del envase juega un papel importante en las regiones con temperaturas elevadas, en donde el uso de colores que reflejan la radiación solar minimiza los efectos negativos provocados por la misma.

En este contexto, se experimentó la producción de planta forestal de las especies *Pinus greggii* Engelm, *P. patula* Schl. et Cham y *P. oaxacana* Mirov., en envases individuales de color blanco, negro y transparente; y diseño de drenaje típico (solamente aberturas en el fondo del envase) y lateral (aberturas laterales adicionales a las del fondo del envase). El objetivo general de este trabajo consistió en evaluar el desarrollo radical de las especies mencionadas, así como sus características obtenidas en el vivero y el desempeño alcanzado en campo. Para cumplir con este propósito, se plantearon distintos objetivos particulares: 1) analizar la estructura de raíz del cepellón a través del estudio de su arquitectura; 2) evaluar el crecimiento potencial de la raíz; 3) comparar el volumen de raíz logrado en el cepellón; y 4) comparar la eficiencia entre los contenedores, en función al desarrollo de estándares morfológicos de calidad de planta obtenidos en el vivero y su impacto en campo. La hipótesis general fue que la planta producida en envases con diseño de drenaje lateral tendría un sistema radical más fibroso, con un mayor número de raíces vivas, en comparación con aquellos de drenaje típico.

El documento se estructuró en capítulos, dónde los resultados obtenidos se muestran a partir del Capítulo III, con el análisis de las características morfológicas y de potencial de crecimiento de raíz, alcanzado por las plantas durante la fase de vivero. El análisis de la arquitectura de raíz en las plantas de vivero y su patrón de crecimiento en campo se analizó en el Capítulo IV, y el desempeño de las plantas obtenido en campo como resultado de los estándares de calidad logrados en el vivero, se discuten en el Capítulo V.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. DESCRIPCIÓN BÁSICA DE LAS ESPECIES DE ESTUDIO.

2.1.1. *Pinus greggii* Engelm.

Árbol nativo de México con distribución natural en la región fisiográfica conocida como Sierra Madre Oriental, en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Hidalgo, Querétaro, Puebla y Veracruz (Ramírez-Herrera, 2005). Generalmente se encuentra formando masas puras y en asociación con otras especies de pino tales como *Pinus patula*, *P. teocote*, *P. cembroides*, *P. arizonica*, *P. pseudostrobus* var. *apulcencis*, y en bosques mezclados con especies del género *Quercus* spp., *Juniperus* spp., *Cupressus* spp., *Platanus* spp. y *Liquidambar styraciflua* (Martínez, 1948).

Las características de la especie reportan un árbol de porte medio, con altura de 10 a 15 m y diámetro normal de hasta 40 cm. Corteza lisa y grisácea en las primeras etapas de desarrollo tornándose oscura y áspera; ramillas flexibles de color rojizo y tinte grisáceo. Follaje erguido generalmente en toda la ramilla; las acículas se presentan en grupos de tres, excepcionalmente cuatro en algunos fascículos, la longitud de las mismas varía de 7 a 14.5 cm, ásperas y derechas con dientecillos muy cortos. Las vainas son persistentes de aproximadamente 14 mm. Los conos son laterales, con escamas anchas provistas de puntas triangulares y extendidas, fuertes y tenazmente persistentes, duros, sésiles, oblongos-cónicos, oblicuos, algo encorvados, de color ocre, lustrosos, colocados generalmente por pares o en grupos de 5 a 8 (excepcionalmente más), miden de 10 a 11 cm, y en ocasiones hasta 15. Su semilla es oval, oscura, de 6 a 7 mm, de largo, con ala de unos 20 mm, de largo y 7 mm de ancho, engrosada en la base en una franja oblicua. Normalmente florece de febrero a marzo y los conos abren de enero a febrero. En promedio se calcula que hay de 54,000 a 76,000 semillas por kg (Martínez, 1948; Patiño, 1973).

P. greggii tiene un buen desempeño en programas de reforestación en México y otros países. La mayor ventaja sobre otras especies mexicanas de pinos mejor conocidas, tales como *P. patula* y *P. pseudostrobus*, es su adaptabilidad a bajas temperaturas y a condiciones de sequía en México (Aldrete *et al.*, 2005). De ahí que su importancia se encuentre en las plantaciones forestales ya sea con fines comerciales, de recuperación de áreas degradadas o protección de cuencas. Por su rusticidad, rápido crecimiento y precocidad en la floración, lo hacen atractivo para realizar programas de mejoramiento genético (Eguiluz, 1978).

2.1.2. *Pinus oaxacana* Mirov.

Árbol nativo de México, de 20 a 40 m de alto que alcanza hasta 90 cm de diámetro, corpulento de corteza gruesa y agrietada; ramas agrietadas. Hojas en grupo de 5 rara vez de 6, de 20 a 35 cm de largo, de un color verde claro. La copa es circular. Las ramillas son verticiladas de un color moreno-rojizo o café amarillentas, con tinte glauco, casi lisas (Perry, 1991).

P. oaxacana posee un rango amplio de distribución, se le puede encontrar en el centro y sureste del país, a lo largo de lomeríos y laderas de montaña entre los 16° 20' a 19° 58' de Latitud Norte y 92° 20' a 100° de Longitud oeste, se adentra hasta Guatemala y Honduras. Entre los estados en donde se ha reportado y/o colectado aparecen: Chiapas, Guerrero, México, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala y Veracruz. Esta especie crece en altitudes que van de los 1500 a 3200 m, logrando su mejor crecimiento en climas templados a cálidos bajo un promedio de precipitación de 1500 mm anuales (Perry, 1991).

Dentro de su área de distribución natural esta especie es utilizada principalmente para la obtención de chapa y triplay, madera aserrada, durmientes y tableros de partículas, y en la construcción de cajas de empaque (Eguiluz, 1978). Por lo antes mencionado, es una especie con potencial para ser manejada con fines de aprovechamiento, reforestación y restauración de suelos degradados.

2.1.3. *Pinus patula* Schl. et Cham.

Árbol nativo de México, de distribución natural en Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico (Centro y hacia el Golfo de México) y Sierra de Oaxaca, en los estados que comprenden el Distrito Federal, Hidalgo, Estado de México, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tamaulipas, Tlaxcala y Veracruz (Velázquez, *et al.*, 2004). Se desarrolla en bosques de coníferas en asociación con *Abies* sp., *Juniperus* sp., *Pinus ayacahuite*, *P. douglasiana*, *P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis*, *P. teocote* y *Taxus* sp. Según Rzedowski (1981), a esta especie se le podría considerar entre las especies de pino, como aquella típica del bosque mesófilo de montaña, cuya comunidad está compuesta de una importante variedad de especies, entre ellos *Quercus* sp. y otras latifoliadas, como *Liquidambar styraciflua*, *Platanus* sp., *Alnus* sp., *Arbutus* sp., *Fagus* sp., *Juglans* sp. y *Carpinus* sp.

Las características botánicas de la especie describen un árbol de 30 a 35 m de altura y diámetros de 50 a 90 cm. El fuste es recto, cilíndrico y limpio de ramas en los primeros 20 m por lo que es apreciada para su explotación comercial. Las ramas son delgadas y horizontales un tanto caídas, formando una copa abierta y ligeramente redondeada. La corteza es delgada y de un color rojo amarillento con un ligero tinte blanquecino en las partes más tiernas; en árboles viejos es poco escamosa, áspera y fisurada (Perry, 1991).

Pinus patula ha sido plantado fuera de su área de distribución natural en los trópicos y zonas templadas desde la década de los cuarenta del siglo pasado encontrándose en el sur de África (Tanzania, Malawi, Kenia, Zimbabwe). En América se encuentran plantaciones en Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador y Perú. Dado lo anterior es conocido como *Mexican weeping pine* o *patula pine* por la facilidad con la que se cultiva en plantaciones (Perry, 1991).

En nuestro país, su importancia económica se ve limitada a los estados que comprende su distribución natural, con una significativa aportación a la economía

local; por lo que la especie es una alternativa para su establecimiento en plantaciones forestales comerciales y las tendencias se observan en tal sentido, particularmente impulsadas en los últimos años por diversos programas gubernamentales (Velázquez *et al.*, 2004).

2.2. USO DE CONTENEDORES EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA FORESTAL

El sistema de producción de planta forestal en viveros comúnmente se realiza en contenedores. Un contenedor en el ámbito general de los viveristas se puede referir a una cavidad individual o un bloque entero, aunque este término se deriva de la traducción del inglés al español de la palabra *container*, que significa envase o recipiente. La principal función de los envases es contener el sustrato que proporciona el medio de crecimiento y soporte físico de la planta, así como agua, aire y nutrimentos al sistema radical (Landis *et al.*, 1990).

En términos generales, el contenedor adecuado para los viveristas es aquel que permite producir planta al menor costo, en el menor tiempo posible y que las características morfológicas y fisiológicas de la planta le permitan sobrevivir en el sitio de plantación (Prieto *et al.*, 2009). Actualmente se encuentra una importante variedad de contenedores en el mercado con dimensiones y colores diferentes que pueden ser utilizados por lo que la selección del tipo de envase y el tamaño está condicionado al sistema de producción utilizado, a las características de crecimiento de la especie, a las características deseables de la planta y los costos del contenedor. El diseño del contenedor y el material de que está fabricado nos condiciona una multitud de variables dentro del cultivo: las dimensiones de la planta, la formación del sistema radical, el número de plantas a cultivar por unidad de superficie, la cantidad de sustrato a utilizar, el número de cultivos (Domínguez *et al.*, 2000). Los resultados demuestran, de una forma general, que el volumen y la profundidad del contenedor son las variables que mayor correlación muestran con el tamaño de la planta en vivero y la supervivencia en campo (Peñuelas, 2001).

Una vez definido el objetivo de la plantación y por ende los estándares de calidad a obtener, la elección del contenedor es de suma importancia ya que permite, según Ortega *et al.* (2006) el desarrollo de un sistema radical óptimo y equilibrado. Lo anterior es importante, en particular para las plantaciones de restauración, dadas las condiciones en las cuales se realizan éstas: suelos delgados, relativamente pobres y con presencia casi constante de vegetación competidora. Aspectos como el tamaño del contenedor (altura y diámetro), volumen contenido de sustrato, espaciamiento (densidad de cavidades/m²), diseño de fábrica para direccionar la raíz (costillas y/o aberturas laterales), color y material de fabricación, son claves para entender el tipo y estándares de calidad de planta que se pueden obtener, con el adecuado manejo e insumos asociados. Características adicionales que influyen en la elección del contenedor tienen que ver con el costo, la durabilidad, la facilidad para su adquisición, posibilidad de reutilización, manejo (lavado, embarque, almacenamiento), lo cual complementa y facilita la toma de decisiones en relación con el contenedor que se va a utilizar (Landis *et al.*, 1990).

2.3. CALIDAD DE PLANTA FORESTAL

El concepto de calidad de planta ha sido abordado con enfoques diferentes por un importante número de autores e investigadores que han centrado su labor en la producción de planta en vivero. Gutiérrez (1989) señala que la calidad es el conjunto de propiedades de un objeto que nos permiten emitir un juicio de valor acerca de él. La calidad está definida en función de las características requeridas para su óptimo uso por los consumidores.

La calidad de planta en otros países fue considerada por los productores en viveros e invernaderos, así como forestales dedicados a la reforestación, desde un punto de vista puramente morfológico; hasta recientemente se ha enfatizado la calidad fisiológica y la condición de vigor (Landis *et al.*, 1990). Para Patiño y Marín (1993) la planta que se produce en un programa de reforestación o plantación, debe tener las características requeridas como una altura adecuada y un buen

sistema radical que le permita establecerse y crecer de manera adecuada en el sitio definitivo de plantación.

Entonces, la calidad de planta en términos integrales incluye los rasgos morfológicos y fisiológicos que pueden ser cuantitativamente eslabonados al éxito de la reforestación (Duryea, 1985). Al estudiar las características asociadas con la supervivencia y el crecimiento después de la plantación se encontró que no solo la altura y el diámetro afectan el comportamiento en campo. De este modo, el concepto de calidad de planta involucra a varias características que interactúan para lograr un establecimiento exitoso en campo, con capacidad de sobrevivir y prosperar incluso en sitios difíciles donde algunos individuos mueren inmediatamente después de la plantación o permanecen con escaso crecimiento por algunos años (Cano, 1998).

Por lo anterior, una planta de calidad se define como aquella que reúne las características morfológicas y fisiológicas adecuadas para sobrevivir y crecer satisfactoriamente en las condiciones ambientales del sitio donde será plantada (Duryea, 1985).

Con base en las definiciones anteriores, se considera adecuado observar al concepto de calidad de planta de una manera dinámica en el cual, el conocimiento de las características biológicas, fisiológicas y ecológicas de las especies, así como una caracterización del sitio en función del objetivo de la plantación, nos permitan generar el esquema de producción en vivero más adecuado para lograr la supervivencia y desarrollo de la planta (Navarro y Palacios, 2004).

2.4. SUSTRATOS EN LA PRODUCCIÓN DE ESPECIES FORESTALES

Debido a los problemas con el suelo natural utilizado como medio de crecimiento para la producción de la planta forestal en contenedores, los productores comenzaron a complementar el suelo con otros materiales para desarrollar una mezcla que pudiera ser adecuada para el cultivo en contenedor. La necesidad de

estandarizar procesos de producción de planta, trajo consigo el uso de sustratos con efectividad comprobada, de propiedades físicas y químicas similares entre sí, y que permitieran obtener planta de calidad (Sánchez-Córdoba *et al.*, 2008).

El estudio de las propiedades físicas de los sustratos se plantea como una estrategia técnica para asegurar las condiciones óptimas de desarrollo de las plantas cultivadas sin suelo. El suelo para las plantas ha sido y será el medio natural de producción, pero debido a su sobreexplotación y uso irracional ha presentado diversos problemas que han propiciado su remplazo por otros materiales para el cultivo de plantas en contenedor (Sánchez-Córdoba *et al.*, 2008; Vargas, 2007).

En México se han utilizado diversos materiales como sustratos, los ejemplos son diversos, pero en general se emplean: turba de musgo, perlita, vermiculita, tezontle, piedra pómez (“tepojal” o “tepetzil”), compost de corteza de pino, y aserrín de pino. El empleo de alguno de estos materiales es por separado o mezclados. En relación al uso generalizado de turba como sustrato, se eleva considerablemente los costos de producción, debido a que el producto se importa de otros países. Una solución práctica, consiste en el empleo de materiales locales, de mayor accesibilidad y económicos, y probar con éstos diferentes proporciones en las mezclas de sustrato. Sin embargo, aún falta información sobre la posibilidad de uso comercial de estos sustratos en los viveros forestales (Hernandez-Apaolaza *et al.*, 2005). Actualmente ya se están utilizando sustratos de origen orgánico y mineral, como es la fibra de coco, vermiculita, perlita, corteza y aserrín (Velasco *et al.* 2004). El uso de los sustratos como fibra de coco, corteza y aserrín ayudan a disminuir los costos de producción en los viveros (Sánchez-Córdoba *et al.*, 2008; Vargas, 2007).

La decisión de emplear cualquier tipo de sustrato en la producción de planta forestal, no debe recaer solo en su valoración económica. En la selección apropiada de éste, es importante considerar las propiedades físicas y químicas del

sustrato, por el papel que juega en el desarrollo fisiológico de la planta (Sánchez-Córdoba *et al.*, 2008).

2.5. ARQUITECTURA DE RAÍZ.

De acuerdo con Morales (1997), la arquitectura de la raíz se puede definir como el estudio de las formas estructurales producidas por la raíz en un estado ontogénico determinado y a una edad determinada, como resultado de la presión ejercida contra el suelo por los ápices radicales empujados por la acción de tejidos meristemáticos activos para el cumplimiento de complejas y variadas funciones fisiológicas. Por otro lado, también se puede considerar en la definición, la naturaleza de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, las cuales influyen y frecuentemente determinan un universo de tipos morfológicos de las raíces. Los sistemas radicales son, en definitiva, complejos objetos geométricos dentro de los cuales la adquisición y utilización de recursos no son uniformes y que además interactúan dinámicamente con un ambiente edáfico espacial y temporalmente heterogéneo (Daubenmire, 1986).

El crecimiento de las raíces diversos autores lo clasifican por etapas: Según Landis *et al.* (2010) el crecimiento primario de la raíz ocurre en raíces nuevas, jóvenes y se caracteriza por una elevada plasticidad y movilidad, en esta etapa la raíz adquiere formas definitivas cuando en su recorrido evita los obstáculos en el suelo y se alarga por el ápice hacia los sitios donde existen mayores concentraciones de recursos, generalmente agua y nutrientes. Durante el crecimiento secundario, la raíz prácticamente ya no cambia de forma, el engrosamiento lateral en anillos se sucede año tras año sin alcanzar a modificar las formas previamente establecidas por el recorrido de las raíces primarias (Landis *et al.*, 1990 y Daubenmire, 1986).

En una revisión sobre los principales factores que afectan al crecimiento primario y secundario de las raíces, Morales (1997) constata la existencia de relaciones de competencia entre las raíces pivotantes y laterales de una misma planta y que la

dominancia de alguna de ellas se establece en etapas tempranas de desarrollo de la planta. Por su parte, el crecimiento desigual de las raíces laterales es influenciado por el ambiente local de las raíces de estructura primaria, es decir el crecimiento de las raíces primarias será diferente en ambientes ricos en recursos o en ambientes pobres; reflejando una elevada especificidad en la forma de las raíces (Daubenmire, 1986).

No obstante, pese a estas fuentes de variación por la complejidad de los estudios, investigaciones recientes en especies anuales y leñosas revelan posibilidades de identificación y modelación de patrones arquitectónicos relativamente simples en sistemas radicales (Morales, 1997; Watson and Tomblison, 2002). Por tanto, el análisis de la arquitectura de las raíces se puede enfocar desde distintos puntos de vista de acuerdo a los objetivos del estudio; sin embargo, prácticamente todas estas investigaciones se relacionan con las funciones de sostén de la planta.

2.5.1. Importancia del estudio de la arquitectura de raíz.

Conocer las características morfológicas del sistema radical de la planta forestal es importante por las variadas funciones fisiológicas que tiene este órgano para la planta, funciones que van en aspectos de nutrición vegetal pues guarda una relación directa con las cantidades y calidad de la biomasa aprovechable (madera, material combustible, frutos, sustancias de diversos usos, principalmente) las cuales se van produciendo y almacenando durante las estaciones de crecimiento de las especies forestales. El sistema radical funciona como órgano de reserva de nutrientes, tanto mediante modificaciones ecomorfológicas especializadas como en los tejidos radicales (Jacobs *et al.*, 2005). Funciona a su vez, como órgano de sostén al distribuir mediante ramificaciones en el suelo de manera que se asegura el anclaje para la planta (Watson and Tomblison, 2002); y como órgano involucrado en la regulación fisiológica de la planta, pues produce una serie de sustancias capaces de favorecer el crecimiento de órganos superiores (Morales, 1997).

En la producción de planta forestal en contenedor, uno de los problemas más serios, es la tendencia de las raíces a crecer en espiral sobre la superficie interna del contenedor. Las raíces de las plantas crecen geotrópicamente, pero si ellas no encuentran obstáculo físico alguno, tienden a crecer lateralmente sobre la superficie interna del contenedor (Landis *et al.*, 1990). Por lo que el diseño del contenedor en el cual se produce la planta, resulta muy importante para lograr un sistema radical adecuado caracterizado por un sistema fibroso, con importante número de raíces laterales cortas y un eje principal bien conformado, independientemente de la especie que se trate (Figura 2.1.).

El crecimiento en espiral de la raíz no afecta adversamente el crecimiento mientras la planta permanece en el vivero, pero después de la plantación puede reducir seriamente su calidad. El crecimiento en espiral dificulta el adecuado establecimiento de la raíz en el suelo, lo cual puede derivarse en pérdida de la verticalidad o incluso estrangulamiento (Cibrián *et al.*, 2008).

Una manera ideal de medir la eficiencia del sistema radical de la planta es mediante pruebas de potencial de crecimiento. El potencial de crecimiento es un parámetro de desempeño que predice directamente la respuesta de la planta en el sitio de establecimiento. De acuerdo con Landis *et al.* (2010) se asume que un índice alto en las pruebas de potencial aseguran una alta supervivencia mientras que valores bajos de este parámetro indicarán una baja supervivencia (Figura 2.2.)

A pesar de que el potencial de crecimiento radical está positivamente correlacionado con la supervivencia tal como se muestra en la Figura 2.2., su predicción resulta efectiva en un 75% de los casos estudiados (Landis *et al.*, 2010). El mismo autor atribuye el posible fallo en el restante 25 % de las pruebas a que el ambiente en la plantación (el cual comúnmente es muy diferente al ambiente del potencial de crecimiento donde se hizo la prueba), ha tenido una influencia decisiva en el desempeño de la planta establecida volviendo

impredecibles para estos casos, el comportamiento de la planta en la emisión de nuevas raíces.

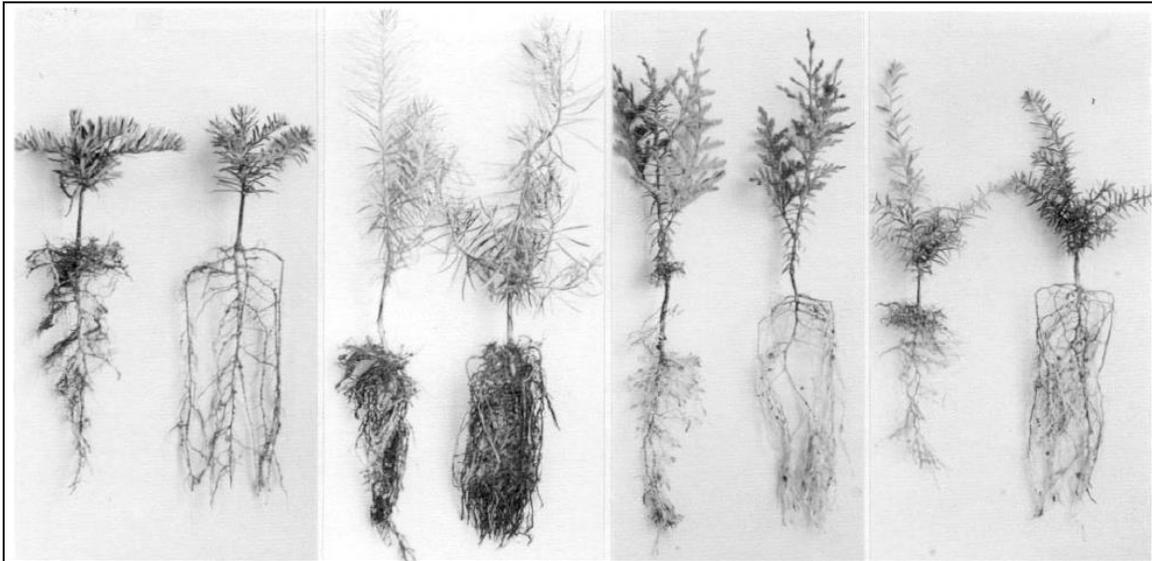


Figura 2.1. “Comparativo de sistema radical en sistemas diferentes de producción. Las imágenes de la izquierda de cada par corresponden a plantas con poda química de raíz, mientras que las de lado derecho no recibieron tratamiento alguno. El primer grupo se observa un sistema radical más fibroso y mucho más balanceado después de la plantación, en comparación con el de las plantas producidas en contenedores no tratados” (tomado de Landis *et al.*, 1990)

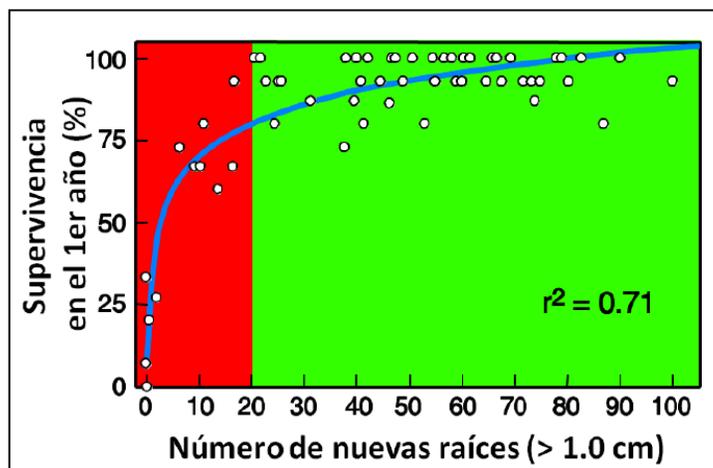


Figura 2.2. Emisión de raíces nuevas (Potencial de Crecimiento de la raíz) y su relación con la supervivencia durante el primer año (Tomado de Landis *et al.*, 2010)

2.5.2. El papel de las raíces en la absorción de agua y nutrientes

Un sistema radical fibroso tiene mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes por la gran cantidad de zonas de crecimiento en raíces primarias que favorecen el establecimiento de la planta. En la actualidad el término fibrosidad ha sido abordado por diferentes enfoques; por una parte, Landis *et al.* (2010) lo definen como el porcentaje de peso seco de las raíces representado por las raíces laterales. Usando otro enfoque, Jacobs *et al.*, (2005) sugieren que la fibrosidad se estima mediante el conteo de las raíces laterales mayores a 2 cm de longitud, lo que orilla a describir la fibrosidad en términos numéricos que engloban las raíces laterales de la planta.

En investigaciones sobre el comportamiento del sistema radical a condiciones específicas del suelo influenciadas por fertilización, se encontró que las raíces tienden a proliferar en las zonas con un alto suministro de nutrientes sin incrementar el crecimiento radicular general en zonas donde no se administraron nutrientes; es decir, al colocar dosis de fertilizante en capas por debajo del sistema radical trasplantado se observó un estímulo en la proliferación de raíz por encima de la capa de fertilizante. La respuesta de la raíz a las fuentes de nutrientes localizadas también puede estar bajo el control hormonal (Jacobs *et al.*, 2005, Olliet *et al.*, 2003). Jacobs *et al.* (2005) sugieren que la penetración de raíces en dosis altas de fertilización se limita probablemente por la acumulación de sales que actúan como inhibidores. Las plantas de especies de coníferas, en particular, son extremadamente sensibles a la salinidad del suelo (Landis *et al.*, 1990).

En resumen, la importancia de la arquitectura de raíz con un sistema radical fibroso permite una mejor absorción de nutrientes y agua. Cuando se presentan malformaciones del sistema radical por un manejo inadecuado de la producción en el vivero, se requiere de una intensa y verificada capacitación para su corrección. Por el lado del tipo de envase. También se considera de primordial importancia el que cada especie esté el tiempo correcto en el envase utilizado.

2.5.3. Importancia del sistema radical en el anclaje de la planta

El establecimiento de plantaciones forestales, a menudo conlleva una serie de procesos para generar una caracterización del sitio de plantación con el fin de identificar factores que puedan condicionar el éxito de su establecimiento. Dentro de estos factores, el viento es un factor ecológico que influye directamente en las plantas, incrementando su transpiración, causando varios tipos de daños mecánicos al romper las ramas, deformar el tronco del árbol o al derribar árboles enteros y como medio de propagación de la planta (Daubenmire, 1986).

Relacionando con la capacidad de anclaje de la planta, la arquitectura de raíz juega un papel importante en este sentido. Después de la plantación, los árboles a menudo requieren un número de años para lograr un buen anclaje con el fin de evitar ser derribados. Watson and Tombleson (2002) señalan que las plantas de pino suelen ser susceptibles a la inestabilidad durante los primeros 5 años a su establecimiento, particularmente en lugares expuestos a ráfagas de viento por tiempo prolongado.

De acuerdo con Daubenmire (1986), el árbol al tener un grado de inclinación de 15° con respecto a su posición vertical, genera importantes distorsiones del fuste en su madurez, ocasionalmente el árbol en edades adultas al exponerse a este ángulo de inclinación puede resultar en la ruptura de las raíces y el fuste por flexión y su posterior vuelco.

En general se supone que los árboles regenerados de manera natural y por siembra directa son menos susceptibles a volcarse por la acción del viento que las plantas establecidas por otros mecanismos. Esta observación es apoyada por la percepción de que la distribución de las raíces laterales suele estar más equilibrada por lo que tiene un mejor anclaje en comparación con el establecimiento de planta con cepellón, sobre todo si tiene deformaciones morfológicas en su sistema radical (Watson and Tombleson, 2002). Para evitar el problema de la deformación de las raíces, los sistemas de producción de planta en

viveros han ido modificándose para producir un sistema radical más compacto y con una mejor distribución de raíces (Figura 2.3.).

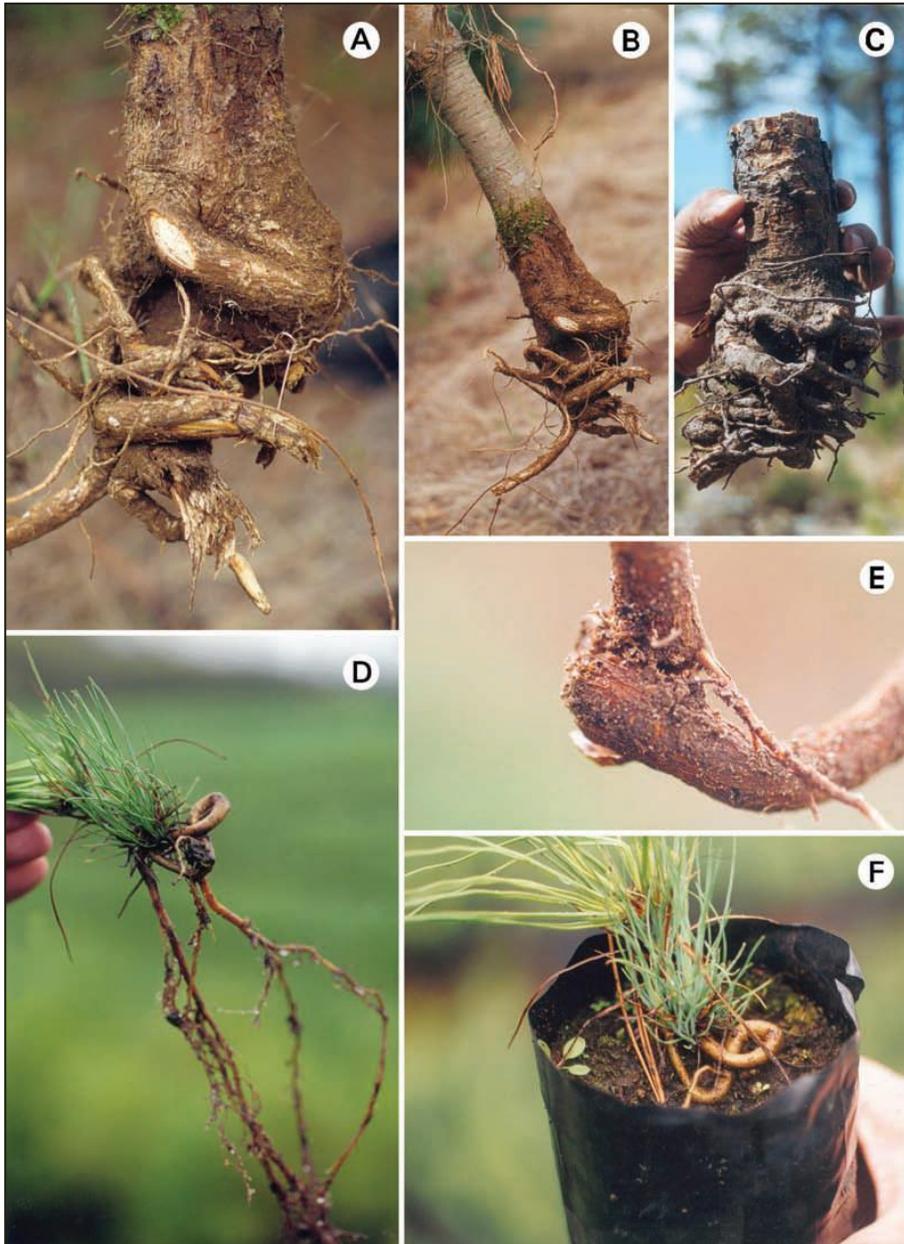


Figura 2.3. “Defectos morfológicos del sistema radical caracterizados por raíz torcida. A, B y C, raíces envolventes como resultado de una permanencia excedida en el envase, árboles que murieron tiempo después de su establecimiento en el sitio de plantación. D, E y F indica daños por trasplante defectuoso” (tomado de Cibrián *et al.*, 2008)

CAPÍTULO III. EL DISEÑO Y COLOR DE ENVASE AFECTAN EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE TRES ESPECIES DE PINO EN LA ETAPA DE VIVERO

3.1. RESUMEN

En el sistema de producción de planta a raíz cubierta, las características del envase son importantes porque afectan la morfología y calidad de planta, especialmente la estructura de la raíz. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del diseño (envase con y sin drenaje lateral) y color del contenedor (negro, transparente y blanco) en el crecimiento y desarrollo de plantas de *P. greggii*, *P. patula* y *P. oaxacana*, en un diseño experimental completamente al azar. La evaluación de la planta se realizó a partir de las variables morfológicas altura y diámetro del tallo, peso seco aéreo y radical, número de raíces vivas y volumen de raíz; también se estimaron los índices de calidad de planta: esbeltez, fibrosidad de la raíz, relación parte aérea/raíz, y de calidad de Dickson. En la comparación de factores el factor color no reporta diferencias significativas, en cambio, el factor drenaje refleja un comportamiento diferente. El envase sin drenaje lateral produjo plantas más grandes en altura y diámetro del tallo, así como en biomasa (de raíz, aérea y total) y volumen de raíz en las tres especies; en cambio, el envase de drenaje lateral ocasionó un número mayor de raíces vivas en *P. greggii* (220.3 vs 167.2), *P. oaxacana* (372.8 vs 246.5) y sin diferencia en *P. patula* (253.8 vs 254.9). Esta variable es importante, pues tiene relación con los meristemos radicales activos de crecimiento, los cuales aseguran una probabilidad mayor de establecimiento de la planta en diferentes condiciones de sitio.

3.2. INTRODUCCIÓN

La demanda actual de planta forestal para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales y reforestaciones está en constante aumento, lo que implica el desarrollo e innovación de nuevos sistemas de producción, con el fin de satisfacer la demanda creciente, reducir el tiempo de permanencia de la planta en vivero, optimizar los insumos de producción y mantener los estándares de calidad de planta.

El concepto de calidad de planta se ha abordado con enfoques diferentes por diversos investigadores; algunos han centrado su importancia en la producción de planta en vivero (Pinto *et al.*, 2011; Ortega *et al.*, 2006). Desde esta perspectiva, la calidad de planta es el conjunto de propiedades morfológicas y fisiológicas que la planta debe tener para lograr su establecimiento exitoso en campo. Por lo tanto, la calidad no es un concepto designado exclusivamente para las características ideales obtenidas en el vivero, dado que sus atributos repercuten directamente en el establecimiento de las plantaciones forestales, en función de las condiciones del sitio de plantación (Grossnickle, 2012; Palacios *et al.*, 2009; Rodríguez y Duryea, 2003).

Dentro de los esquemas de producción en vivero, es común producir planta con cepellón, lo que ha derivado en la aparición de diversos contenedores en el mercado. El diseño del contenedor y el material de fabricación condicionan una serie de variables dentro del cultivo: las dimensiones de la planta, la formación del sistema radical (arquitectura de raíz), el número de plantas a cultivar por unidad de superficie, la cantidad de sustrato a utilizar y las especies a producir, entre otras. En general el volumen y el diseño del envase son las variables de más impacto en el tamaño de la planta en vivero y, por consiguiente, de la supervivencia en campo. Grossnickle, 2012; Jacobs *et al.*, 2005; Prieto *et al.*, 2006).

En México se han probado varios tipos de envase en la producción forestal y aún no se ha encontrado un diseño adecuado, debido a las diferencias en el hábito de crecimiento de cada especie y el esquema de producción; de ahí que el mejor contenedor dependerá de los objetivos del vivero, la especie, y el sistema de producción que se establezca (Prieto *et al.*, 2006). Por otra parte, el color del envase juega un papel importante en las regiones con temperaturas elevadas, en donde el uso de colores que reflejen la radiación solar minimizaría los efectos provocados por la misma.

En este Capítulo, se analiza los estándares de calidad de planta obtenidos en las especies *Pinus greggii* Engelm, *P. patula* Schl. et Cham y *P. oaxacana* Mirov., para la etapa de vivero, cuya producción se realizó en envases individuales de color blanco, negro y transparente; y diseño de drenaje típico y lateral. El objetivo general fue evaluar el impacto del envase en la calidad de planta; para ello, se tomaron datos sobre sus atributos morfológicos y de respuesta (potencial de crecimiento de raíz). La hipótesis general fue que la planta producida en envases con diseño de drenaje lateral tendría un sistema radical fibroso, con un mayor número de raíces vivas, en comparación con aquellos de drenaje típico.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

La planta se produjo en envases individuales de 220 mL, con sustrato compuesto de turba de musgo (50%), corteza de pino compostada (20%), perlita (20%) y vermiculita (10%). Además, se adicionó fertilizante de liberación lenta a ocho y nueve meses (OSMOCOTE PLUS ® formulación 15-9-12), a una dosis de 7 g/L. La permanencia en el envase fue diferente para cada especie, en función del tiempo necesario para que la planta alcanzara el tamaño adecuado que, por sus hábitos de crecimiento, fue de seis meses en *P. greggii* y *P. patula*, y ocho meses para *P. oaxacana*.

El manejo de la planta en vivero incluyó riegos ligeros diarios durante la germinación y la primera etapa de desarrollo (seis semanas); riegos pesados cada dos días, durante la etapa de crecimiento rápido; y riegos ligeros cada tres días, durante el endurecimiento de la planta. Se aplicaron fertilizaciones complementarias con productos solubles (PETERS PROFESIONAL ®), una vez por semana, en el agua de riego. En la etapa de crecimiento rápido se utilizó la formulación de 20-20-20 (N, P y K) y en la etapa de endurecimiento 4-25-35 en dosis de 70 y 40 ppm, respectivamente.

Se establecieron experimentos por separado para cada especie, consistentes en un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial para el diseño de drenaje y color del envase. El diseño incluyó dos niveles, agrupados por envases con drenaje típico (aberturas en el fondo del envase) y envases con drenaje lateral que incluyó las mismas aberturas en el fondo y además en las paredes laterales. El color del envase correspondió a blanco, negro y transparente. La combinación de los dos factores dio un total de seis tipos de envases (tratamientos) utilizados en el experimento (Figura 3.1). La unidad experimental consistió en rejillas de 25 plantas y se usaron cinco repeticiones para cada tipo de envase en las diferentes especies (Anexo 2).

La evaluación de la planta se realizó cuando tenían entre seis (*P. greggii* y *P. patula*) y ocho (*P. oaxacana*) meses después de la fecha de siembra. Se utilizó una muestra de 12 plantas para cada tipo de envase, ubicadas en la parte central de cada unidad experimental sin considerar plantas del borde, para evitar efectos de orilla. Al momento de la evaluación se midió la altura y el diámetro del tallo en el cuello de la raíz. Cada una de las plantas se extrajo del envase con cuidado, para evitar daños a la parte aérea y raíz; posteriormente, se lavó el sustrato con cuidado utilizando agua corriente para evitar la pérdida de raíces en el proceso.



Figura 3.1. Nomenclatura de tratamientos (t) resultantes de la combinación de factores Diseño y color de envase definidos en la producción de planta.

La evaluación de la planta se realizó cuando tenían entre seis (*P. greggii* y *P. patula*) y ocho (*P. oaxacana*) meses después de la fecha de siembra. Se utilizó una muestra de 12 plantas para cada tipo de envase, ubicadas en la parte central de cada unidad experimental sin considerar plantas del bordo, para evitar efectos de orilla. Al momento de la evaluación se midió la altura y el diámetro del tallo en el cuello de la raíz. Cada una de las plantas se extrajo del envase con cuidado, para evitar daños a la parte aérea y raíz; posteriormente, se lavó el sustrato con cuidado utilizando agua corriente para evitar la pérdida de raíces en el proceso.

Una vez preparadas las muestras, se separó la raíz del follaje con un corte a la altura del cuello de la raíz. Se midió el volumen del sistema radical utilizando un método basado en el Principio de Arquímedes (Landis *et al.*, 2010); se eliminó el

exceso de agua con papel absorbente y se empaquetaron por separado ambas partes en bolsas de papel debidamente identificadas. El peso seco de las muestras se determinó después de secarlas en horno a una temperatura de 70 °C durante 72 h. Con los datos obtenidos se calculó el índice de fibrosidad (relación del volumen de raíz entre el peso seco de raíz), el índice de esbeltez (relación entre la altura de la planta y el diámetro), la relación entre pesos seco de la parte aérea y la raíz, y el índice de calidad de Dickson, con la siguiente ecuación:

$$ICD = \frac{\text{peso seco total (g)}}{\frac{\text{altura (cm)}}{\text{diámetro (mm)}} + \frac{\text{peso seco aéreo (g)}}{\text{peso seco radical (g)}}}$$

La medición del potencial de crecimiento radical se realizó a partir de la selección de 15 individuos de las plantas producidas en cada tipo de envase. La prueba consistió en identificar las raíces vivas que la planta contenía al final de la fase de vivero; para ello, se lavó el sustrato de la raíz, se realizó un conteo de raíces vivas mayores a 1 cm de longitud y de color blanco, y se cortaron manualmente del sistema radical. Posteriormente, se trasplantaron a macetas de 10 L que habían sido llenadas con una mezcla de corteza de pino compostada (70%) y perlita (30%). Se establecieron cinco individuos por tipo de envase (sub muestras de cinco plantas con tres repeticiones). Durante el desarrollo de la prueba, las plantas se mantuvieron en condiciones de invernadero con humedad adecuada. La evaluación de la prueba se realizó después de 28 días de su establecimiento y consistió en medir las raíces nuevas emitidas, identificadas por el color blanco y mayores de 1 cm de longitud; se obtuvo la longitud acumulada de raíces nuevas por individuo y el peso seco de estas raíces, como variables que permitieron evaluar la capacidad de la planta para emitir nuevas raíces.

El análisis de los datos se realizó mediante un ANOVA de dos factores (diseño de drenaje y color de plástico) en cada especie. Para contrastar las diferencias en los valores de las variables morfológicas y de crecimiento potencial, se hizo una comparación de medias de Tukey con $\alpha = 0.05$.

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.1. Análisis de Varianza

En el análisis de la varianza se examinaron las especies por separado, dado que entre ellas se presentan características morfológicas divergentes atribuidas a sus hábitos de crecimiento en el vivero.

En la evaluación de *P. greggii* y *P. patula*, se encontraron diferencias significativas en el factor color en la variable diámetro, y para el diseño de drenaje en altura, diámetro y biomasa (aérea y radical). No hubo significancia estadística en la interacción color por diseño, lo que se refleja en el mismo patrón de comportamiento para las variables con diferencias (Cuadro 3.1 y 3.2). En el análisis de varianza de *P. oaxacana*, las diferencias son significativas en el factor diseño de contenedor en todas las variables morfológicas, y en los índices, para ICD. En color de envase, solo hubo diferencias en el ICD. En la interacción de factores (color por diseño), no se encontró un efecto significativo en ninguna variable (Cuadro 3.3).

En la evaluación de variables morfológicas de calidad de planta de vivero, el análisis de la altura inicial de la planta por sí solo, poco informa sobre su calidad, pues diversos estudios no lo correlacionan (Grossnickle, 2012;), o lo hacen de manera negativa, con la supervivencia de la planta en el sitio de establecimiento (Pinto *et al.*, 2011; Domínguez-Lerena *et al.*, 2006). El diámetro en cambio, da una aproximación de la sección transversal de transporte de agua, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa para tolerar altas temperaturas en la superficie del suelo (Pinto *et al.*, 2011; Grossnickle, 2005; Barajas-Rodríguez *et al.*, 2004). Dentro de las variables morfológicas de calidad de planta, las más empleadas son el diámetro y la altura (Luis *et al.*, 2004); sin embargo, es importante conocer otras variables que den mayor información sobre las características de una planta ideal.

Cuadro 3.1. Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para los diferentes factores y variables en las plantas de *Pinus greggii*.

Factor	Altura	Diámetro	Biomasa			Volumen de raíz	Fibrosidad	Índice de esbeltez	Rel. PA/R [§]	ICD [§]
			Aérea	Raíz	Total					
Color	0.226	0.020	0.273	0.466	0.293	0.689	0.369	0.509	0.423	0.301
Diseño	0.027	0.037	0.060	0.026	0.050	0.158	0.196	0.471	0.982	0.072
Color x diseño	0.829	0.695	0.737	0.699	0.766	0.953	0.368	0.402	0.308	0.928

[§] Rel. PA/R = relación parte aérea/raíz; ICD = índice de calidad de Dickson.

Cuadro 3.2. Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para los diferentes factores y variables en las plantas de *Pinus patula*.

Factor	Altura	Diámetro	Biomasa			Volumen raíz	Fibrosidad	Índice de esbeltez	Rel. PA/R [§]	ICD [§]
			aérea	Raíz	total					
Color	0.003	0.051	0.304	0.125	0.245	0.480	0.186	0.822	0.133	0.306
Diseño	>0.001	0.019	>0.001	0.004	>0.001	0.105	0.752	0.013	0.090	0.011
Color*diseño	0.291	0.361	0.294	0.682	0.342	0.729	0.484	0.658	0.435	0.468

[§] Rel. PA/R = relación parte aérea/raíz; ICD = índice de calidad de Dickson.

Cuadro 3.3. Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para los diferentes factores y variables en las plantas de *Pinus oaxacana*.

Factor	Altura	Diámetro	Biomasa			Volumen de raíz	Fibrosidad	Índice de esbeltez	Rel. PA/R [§]	ICD [§]
			Aérea	Raíz	Total					
Color	0.612	0.066	0.289	0.406	0.224	0.560	0.671	0.079	0.996	0.023
Diseño	0.002	0.015	>0.001	>0.001	>0.001	0.002	0.496	0.857	0.698	>0.001
Color x diseño	0.099	0.679	0.985	0.489	0.922	0.938	0.862	0.844	0.598	0.391

[§] Relación PA/R = relación parte aérea/raíz; ICD = índice de calidad de Dickson.

3.4.2. Efecto del color de envase

Dentro del grupo de análisis de *P. patula* y *P. greggii*, las diferencias significativas en el factor color se observan para dos variables: altura y diámetro. Con respecto a la altura, el color blanco y transparente, sin diferencias entre ellos, obtienen los valores más altos (27.88 y 27.57 cm), seguido del envase negro, 26.42 cm. En la evaluación del diámetro, la comparación de colores de envase sigue la misma tendencia que la altura de la planta. Por una parte, se obtienen los valores más altos en los colores blanco y transparente (4.04 y 3.96 mm), mientras que negro es diferente de los anteriores con un valor de 3.80 mm.

En la comparación entre colores de envase para *P. oaxacana*, no hay diferencias significativas en las diferentes variables, y en los índices de calidad, se observan diferencias en el ICD para los colores blanco y negro; el color transparente no reporta diferencias significativas con respecto a blanco y negro. Los valores de ICD en *P. oaxacana*, quedan como sigue: blanco, 1.25; transparente, 1.12 y negro, 1.10.

Las variables restantes, no arrojan diferencias significativas en este factor. Desde esta perspectiva, es indistinto usar un color u otro en la producción de planta forestal. La decisión de utilizar cualquiera de ellos, en todo caso, debe sujetarse a los objetivos del vivero y los requerimientos de las especies a producir (Prieto *et al.*, 2006; Davis y Jacobs, 2005).

Un aspecto de análisis sobre el efecto del color del envase tiene que ver, de manera directa, con la alteración de la temperatura del sustrato, lo que a su vez afecta el desarrollo de la raíz durante la etapa de crecimiento de la planta en el vivero (Landis *et al.*, 1990). Las consecuencias de este fenómeno son críticas en viveros que se ubican en regiones con temperaturas elevadas, en donde las propiedades de absorción y conducción del calor en el envase resultan importantes (Landis *et al.*, 1990). Se ha encontrado que temperaturas elevadas en

el sustrato, además de inhibir el desarrollo de la raíz, pueden provocar la muerte de la planta (Landis *et al.*, 2010), sin embargo, el efecto es variable entre especies y variedades. El monitoreo de las temperaturas durante la producción de planta, se observó un gradiente diferencial de hasta 7°C entre el envase que obtuvo los valores más altos (negro típico) y el de menor temperatura (blanco de aberturas laterales), en una condición ambiental de 36°C.

3.4.3. Efecto del diseño de drenaje

En el diseño de drenaje, se observó una clara diferencia en los envases para los tres escenarios de análisis de las especies evaluadas (Cuadros 3.1, 3.2 y 3.3). En *P. patula* y *P. greggii*, el envase con drenaje típico generó los valores más altos en las variables altura (28.29 cm), diámetro (4.02 mm), biomasa aérea (3.36 g), de raíz (0.77 g) y total (4.12 g), y volumen de raíz (5.2 cm³). El contenedor de aberturas laterales, por su parte, obtiene valores inferiores en estas variables (altura, 26.29 cm; diámetro, 3.85 mm; biomasa aérea, 2.92 g, de raíz, 0.68 g, y total, 3.59 g; y volumen de raíz, 4.7 cm³). En los índices de calidad de planta, las diferencias se observan en el índice de esbeltez (7.05 vs 6.83) e ICD (0.36 vs 0.32), en donde el diseño típico obtiene los valores superiores con respecto al envase de aberturas laterales.

En el análisis de *P. oaxacana*, la tendencia es similar a *P. patula* y *P. greggii*, en la comparación entre diseños de drenaje. Los envases lisos reportan valores superiores, en comparación con aquellos de aberturas laterales, cuyos valores son diferentes en las variables: altura (25.73 y 23.67 cm), diámetro (6.52 y 5.95 mm), biomasa aérea (8.31 y 6.17 g), de raíz (2.17 y 1.57 g) y total (10.48 y 7.73), y en volumen de raíz (11.02 y 7.44 cm³); mientras que en los índices de calidad de planta, las diferencias estadísticas recaen únicamente en ICD (1.34 y 0.97), en donde el contenedor liso obtiene el valor superior.

La calidad de planta, desde el estudio de los estándares morfológicos, da una idea de su capacidad para superar las condiciones adversas del sitio de plantación; no

obstante, dichas variables no son determinantes, al entrar en juego el funcionamiento fisiológico de la planta (Grossnickle, 2012; Landis *et al.*, 2010). Al observarse un desarrollo superior en las variables morfológicas obtenidas en los contenedores con drenaje típico, pudiera ser un motivo de decisión para optar por su uso; sin embargo, es importante analizar la arquitectura de raíz desarrollada en uno u otro diseño. Al respecto, diversos autores concluyen que las aberturas en las paredes del envase mejoran la arquitectura, al inducir una poda lateral de raíz, con lo que se evita el desarrollo de raíces en espiral (Landis *et al.*, 2010; Ortega, *et al.*, 2006; Torrente y Peman, 2004).

Al sobreponer los resultados del análisis individual de las variables en gráficos comparativos para las tres especies, se observa una tendencia en el comportamiento con similitud entre ellas. Por ejemplo, en la Figura 3.2 se observan los resultados con un patrón similar en las variables para ambos envases.

En la variable referente a diámetro del cuello de la raíz, *P. oaxacana*, reportó un crecimiento diferenciado en su desarrollo en los envases con diseño de drenaje típico y de aberturas laterales. En el primero fue superior en 10% con respecto al segundo (Figura 3.2 A). La biomasa total (que incluye la biomasa de raíz y aérea), no presentó diferencias entre *P. greggii* y *P. patula*; en cambio, *P. oaxacana*, el envase típico fue 25% superior al de aberturas laterales (Figura 3.2 B).

En el volumen del sistema radical, las diferencias existentes se observaron en *P. oaxacana* y fueron del 33% (Figura 3.2 C); en *P. greggii* y *P. patula*, no hubo efecto de la interacción. Finalmente, en el ICD, el contenedor liso fue 28% superior al de aberturas laterales, a diferencia de las especies restantes, las cuales no presentaron diferencias en el diseño de drenaje del envase (Figura 3.2 D).

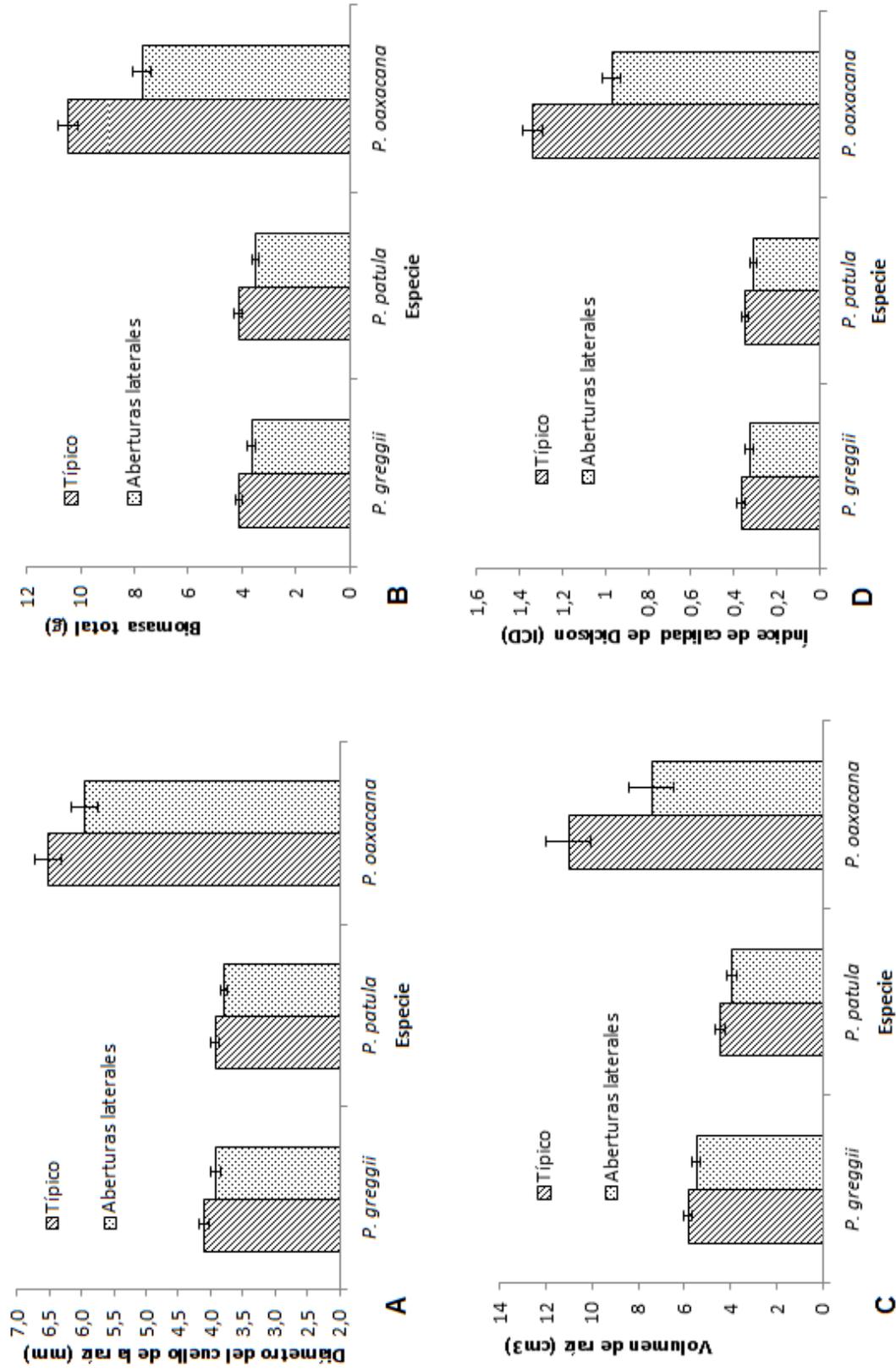


Figura 3.2. Comportamiento de las especies en diferentes variables morfológicas para el factor diseño de drenaje. A, en diámetro del cuello de raíz; B, biomasa total; C, volumen del sistema radical; y D, índice de calidad de Dickson (ICD).

A pesar de que las plantas producidas en los envases con drenaje lateral tienen valores inferiores en comparación con el drenaje típico, los parámetros se encuentran dentro de los estándares de calidad de planta que la Comisión Nacional Forestal define para diversas especies, según la Norma Mexicana PROY-NMX-AA-170-SCFI-2013 que certifica la operación de viveros forestales. Es importante resaltar que al exponer las plantas de ambos diseños de contenedor a una misma condición de manejo, las plantas de los envases con aberturas laterales se encontraron en desventaja pues el diseño de drenaje provoca una desecación mayor que el envase típico. Al respecto, es necesario considerar los niveles de humedad que la planta requiere en este tipo de envases, de manera que se logren los estándares de calidad de planta deseados.

Con respecto a las propiedades físicas de los sustratos, estas no se ven alteradas de manera significativa por los factores de diseño y color del contenedor. La modificación de las propiedades físicas se da por el proceso natural del reacomodo de partículas a lo largo del proceso de producción de planta (Anexo 1).

3.4.4. Potencial de crecimiento radical (PCR)

Para el factor diseño de envase, se observaron diferencias significativas en el número de raíces vivas al inicio de la prueba en las especies *P. greggii* y *P. oaxacana*. Por su parte *P. patula*, no muestra diferencias significativas en este parámetro. Con respecto a las variables restantes de raíces emitidas, longitud acumulada y peso seco, en la evaluación del PCR, no hay diferencias significativas en las tres especies para ambos factores bajo estudio: diseño y color de envase (Cuadro 3.4).

Conocer el PCR es importante porque está relacionado con la capacidad de la planta para que sus raíces crezcan cuando se establecen en un ambiente óptimo (Oliet *et al.*, 2003; Campo *et al.*, 2008). La prueba consiste en evaluar el crecimiento de la raíz como respuesta a su condición fisiológica (Campo, 2008; Landis *et al.*, 1990). El PCR es, desde una perspectiva más amplia, una variable

que da una idea sobre los atributos de desempeño de la planta, porque integra, a la vez, un amplio espectro de rasgos morfológicos y fisiológicos (Landis *et al.*, 2010; Campo, 2008; Gazal *et al.*, 2004). En la mayoría de los casos en que se ha utilizado esta prueba como criterio de calidad de planta, se ha encontrado una correlación de 75% con la supervivencia y desempeño posterior en campo (Landis *et al.*, 2010).

Dado que en la evaluación de la prueba no se observaron diferencias significativas en el PCR, para los factores característicos del envase (Cuadro 3.4.), se concluye que la calidad de planta, desde una perspectiva de análisis de su funcionamiento fisiológico, es apta para sobrevivir en el sitio de plantación. En la evaluación del PCR, al cabo de 28 días, según Campo *et al.*, (2008), los valores tienden a equipararse, por lo que es conveniente definir protocolos en tal sentido para estas especies.

Cuadro 3.4. Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para los diferentes factores y variables del potencial de crecimiento de raíz en las especies *Pinus greggii*, *P. patula* y *P. oaxacana*.

Factor	Número de raíces vivas	Potencial de crecimiento de raíz		
		Raíces emitidas	Longitud acumulada	Peso seco
Especie: <i>P. greggii</i>				
Color	0.0088	0.7583	0.2975	0.2508
Diseño	0.0020	0.6174	0.3933	0.8648
Color x diseño	0.0958	0.6899	0.4850	0.2796
Especie: <i>P. patula</i>				
Color	0.8168	0.5668	0.8187	0.5651
Diseño	0.9567	0.9432	0.9269	0.4324
Color x diseño	0.8734	0.7724	0.6752	0.2681
Especie: <i>P. oaxacana</i>				
Color	0.1216	0.3346	0.4629	0.2639
Diseño	0.0055	0.8502	0.9648	0.6809
Color x diseño	0.8273	0.4344	0.4807	0.5170

En el conteo de raíces vivas, al inicio del PCR, para el efecto del diseño de envase, el contenedor con drenaje lateral reflejó un valor superior con respecto al contenedor típico en las especies *P. greggii* (220.3 y 167.2), y *P. oaxacana* (372.8 y 246.5), mientras que *P. patula*, no arroja diferencias significativas en este parámetro y sus valores son de 253.8 y 254.9 respectivamente. El número de raíces vivas en el sistema radical es importante de conocer, pues tiene relación con los meristemos radicales activos de crecimiento, los cuales aseguran una probabilidad mayor de prendimiento de la planta en diferentes condiciones de sitio (Grossnickle, 2012; Landis *et al.*, 2010; Barajas-Rodríguez *et al.*, 2004).

3.5. CONCLUSIONES

Hubo efecto del factor diseño de drenaje en los estándares morfológicos de calidad de planta. Por una parte, en el envase de drenaje lateral se obtuvo planta con dimensiones menores, porque al establecerse en las mismas condiciones de temperatura y humedad que las plantas producidas en el contenedor típico, las plantas estaban en desventaja pues el contenedor de aberturas se deseca en menor tiempo. No obstante, los índices obtenidos en este envase están dentro de los estándares de calidad.

En el conteo de raíces vivas, las plantas del envase de drenaje lateral presentaron mayor cantidad que las producidas en el envase típico. La importancia de esta variable se relaciona con los meristemos radicales activos de crecimiento, los cuales aseguran una probabilidad mayor de establecimiento de la planta en diferentes condiciones de sitio.

El color del envase influyó solamente en el diámetro del cuello de la raíz en *P. greggii*, mientras que en *P. oaxacana*, se observó en el índice de calidad de Dickson. Es importante considerar el gradiente de diferencias de temperaturas por el color de envase, en viveros localizados en regiones con temperaturas elevadas, y enfocar estudios en las características fisiológicas de la planta, para dilucidar el efecto que se tenga por este factor en la calidad de planta.

CAPITULO IV. ARQUITECTURA DE RAÍZ EN PLANTAS DE VIVERO Y SU EFECTO EN EL DESEMPEÑO DE CAMPO

4.1. RESUMEN

El sistema de producción de planta a raíz cubierta repercute en la estructura del sistema radical, por ello es importante la selección apropiada del tipo de envase. Se evaluó la arquitectura de raíz en la fase de vivero y su repercusión en campo para las especies *Pinus greggii*, *P. patula* y *P. oaxacana* producidas en seis tipos de envases, de colores blanco, negro y transparente, y diseños de envase liso y aberturas laterales. Para ello, se contabilizó en el sistema radical, el número total de raíces laterales de primer orden mayores a 2.5 cm y se clasificó en categorías longitudinales (de uno a cuatro), a cada cinco centímetros, en función a la longitud de la raíz lateral. Los resultados de vivero demostraron que el factor color no altera el número total de raíces laterales de primer orden, pero si en su distribución por categorías longitudinales con la frecuencia de mayor número en el color negro de raíces envolventes (categoría cuatro), en las tres especies. El diseño de envase modifica la arquitectura de raíz, pues el grupo de aberturas laterales tienden a generar más raíces en comparación a los lisos en dos especies (5.41 vs 5.11 en *P. greggii*, 5.49 vs 5.11 en *P. patula*) y su distribución concentra la frecuencia más alta categorías de menor longitud (uno y dos), en comparación al diseño liso con valores más altos en categorías tres y cuatro, para las tres especies. Su efecto en campo se observó con la presencia de raíces envolventes obteniéndose la frecuencia mayor en plantas provenientes de envases lisos (17.3 vs 11.9 en *P. patula* y 14.3 vs 7.0 en *P. oaxacana*) con respecto al diseño de aberturas laterales.

4.2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el tipo de planta forestal de mayor empleo en plantaciones y reforestaciones, se produce en contenedores o envases. Los contenedores actuales, a pesar de la variabilidad amplia, se caracterizan por estar diseñados para impedir deformaciones del sistema radical por el espacio limitado de crecimiento que tienen las plantas en el contenedor, y es común observar la presencia de raíces envolventes o ascendentes lo que modifica la arquitectura del sistema radical (Cibrian *et al.*, 2008). Los envases típicos, por lo general presentan costillas verticales en la pared interna y aberturas en el fondo con la función del drenaje.

A pesar de su diseño, los estudios sobre arquitectura de raíz han cuestionado la efectividad del sistema radical generado en los envases típicos, por la inestabilidad del árbol a través del tiempo en el sitio de plantación (Amoroso *et al.*, 2010; Ortega, *et al.*, 2006; Nicotra, *et al.*, 2002; Watson and Tomblason, 2002). Para evitar estas deformaciones, se ha recurrido a diversas alternativas, como es el uso de productos químicos elaborados a base de cobre, que impregnados en las paredes induce a la poda de raíces (Aldrete *et al.*, 2005); así como el uso de contenedores con diferentes diseños, dentro de los cuales están los de aberturas laterales, cuyo principio se fundamenta en la poda lateral de la raíz al entrar en contacto con el aire (Torrente y Peman, 2004; Ortega *et al.*, 2006).

El objetivo de este estudio consiste en describir la arquitectura de raíz obtenida en envases de dos tipos de diseño de drenaje; por una parte el denominado liso o típico por ser el que mayor empleo tiene en el país, y por otra parte el diseño de aberturas laterales en forma de anillado, para la fase de vivero; y el efecto que las deformaciones del cepellón obtenidas en esta fase, tienen en los árboles en el sitio de plantación a seis meses de su establecimiento, particularmente en la estructura de su sistema radical. Así mismo se estudió el efecto del color de envase en la conformación de la estructura radical, por las diferencias en las temperaturas

alcanzadas de los tres colores estudiados. Las hipótesis fueron: 1) que el tipo de contenedor influye en la arquitectura de la raíz y 2) que el tipo de envase crea raíces con diferente arquitectura que le dan ventaja a plantas al establecerlas en campo.

4.3. MATERIALES Y MÉTODOS

Las plantas de las especies *Pinus greggii*, *P. patula* y *P. oaxacana* utilizadas en la medición de la arquitectura de raíz, se seleccionaron al azar y el muestreo fue destructivo para realizar la evaluación de las variables morfológicas de la fase de vivero. En cada repetición de plantas por tipo de envase, se utilizaron submuestras de cuatro individuos, hasta completar tres submuestras, dando un total de doce plantas por tipo de envase.

Posterior a la medición de variables morfológicas que permitió caracterizar la calidad de planta en vivero de los seis tipos de envases, las plantas seleccionadas para medir la arquitectura de raíz, se identificaron con claves individuales para evitar confusión de plantas de los tratamientos; se tomaron sus datos morfológicos como diámetro en el cuello de la raíz con vernier digital, altura con regla graduada en centímetros y volumen de raíz utilizando un método basado en el Principio de Arquímedes (Landis *et al.*, 2010). Se separó la parte aérea de la raíz, y el follaje se empaquetó por separado en bolsas de papel debidamente identificadas (Anexo 3).

El sistema radical se colocó en medio acuoso con agua corriente para evitar la deshidratación de raíces y mantener en una misma condición de humedad, que no reflejara diferencias en la longitud como causa probable por la desecación. Se identificó el eje principal de la raíz, y siguiendo un orden descendente se fueron seleccionando las raíces laterales de primer orden mayores a 2.5 cm y se tomó su longitud en centímetros con regla graduada en mm (Anexo 3).

Para el análisis de la información se clasificó el total de raíces por planta, en categorías de cinco en cinco centímetros de acuerdo a su longitud. La

denominada categoría uno, abarcó de 2.5 cm a 7.5 cm; categoría dos de 7.6 cm a 12.5 cm; categoría tres de 12.6 cm a 17.5 cm y categoría cuatro que incluyó a las raíces laterales de primer orden superiores a 17.6 cm. Las raíces incluidas en la categoría cuatro se consideraron envolventes por la longitud alcanzada en el espacio reducido del contenedor donde se produjeron las plantas (Anexo 3).

Los valores absolutos del número de raíces obtenidos para las cuatro categorías longitudinales establecidas, se convirtieron en proporción al total de raíces laterales medidas en cada planta, al dividir el valor por categoría longitudinal entre el número total de raíces. El valor de proporción de raíces agrupadas en las categorías longitudinales, se transformó con la función raíz cuadrada del arco-seno, para su análisis estadístico.

La evaluación del desempeño posterior de las plantas producidas en la etapa de vivero, se llevó a cabo con el establecimiento de experimentos separados por especie en plantaciones con un ambiente común de sitio. Para ello, se seleccionaron tres camas de crecimiento de dimensiones 10 m de largo por 1.5 m de ancho y elevadas a 1 m del nivel del suelo que permitió una profundidad del perfil de al menos 70 cm, con una pared montable que permitió ser retirada al momento de la evaluación. Se seleccionaron 144 individuos por especie de la parte central de los experimentos de vivero ubicando las plantas de altura similar por tipo de contenedor, a las que se les tomó su valor de diámetro y altura al inicio de la plantación (Anexo 4).

La ubicación de las plantas en campo, se realizó mediante un diseño experimental de bloques al azar, con tres bloques de ocho plantas por tratamiento. Los seis tratamientos (resultantes de la combinación de factores diseño y color de envase) se aleatorizaron de manera independiente dentro del bloque y se colocaron plantas de bordo para estandarizar las condiciones ambientales en el experimento (Anexo 4).

Las fechas de plantación se establecieron de manera escalonada durante la época de lluvias. *P. greggii* se estableció el día 8 de agosto. *P. patula* se estableció el día dos de septiembre. Finalmente, *P. oaxacana* se estableció el día 11 de septiembre del 2013.

El manejo de la planta durante el experimento en campo, consistió únicamente en evitar la competencia por hierbas con deshierbes periódicos. La evaluación del experimento para la variable arquitectura de raíz, se realizó solamente en el bloque tres de cada especie para diferentes fechas: en *P. greggii* a 167 días, *P. patula* a 150 días y *P. oaxacana* a 164 días, del establecimiento de la plantación.

El proceso de toma de datos se repitió en cada experimento, y consistió en etiquetar las plantas de manera individual, con una clave referente al tipo de envase del que provenía la planta del vivero, y posteriormente se extrajeron de las camas de crecimiento con el sistema radical completo. Se lavó el suelo adherido a las raíces y se evaluó la arquitectura de raíz con los datos siguientes: longitud total del sistema radical, longitud de raíz principal, número total de raíces laterales de primer orden y número de raíces envolventes (que consideró aquellas cuya distribución abarcó más de dos tercios de la circunferencia del sistema radical).

El análisis de los datos se realizó mediante un ANOVA de dos factores (diseño de drenaje y color de envase) en cada especie. Para contrastar las diferencias en los valores de las variables: número total de raíces laterales de primer orden y porcentaje de raíces por categoría longitudinal, se hizo una comparación de medias de Tukey con $\alpha = 0.05$.

4.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.4.1. Arquitectura de raíz en la especie *P. greggii*.

En la evaluación estadística de las plantas en la etapa de vivero para la especie *P. greggii*, se observaron diferencias significativas en los seis tipos de envases (resultante de la combinación de factores color y diseño), en las variables correspondientes a raíces laterales de primer orden y en sus cuatro categorías longitudinales de clasificación (Cuadro 4.1.).

Las diferencias significativas en las variables analizadas se obtuvieron, principalmente, en el factor diseño de contenedor, cuyo comportamiento sigue una tendencia similar en las tres especies estudiadas.

En el caso de *P. greggii* el envase liso fue superior en los valores de categorías longitudinales tres y cuatro; mientras que el contenedor de aberturas laterales concentra una mayor cantidad de raíces en la categoría de menor longitud (uno), se iguala en la categoría dos, y es prácticamente cero en la categoría cuatro, lo que permite observar que no existen raíces envolventes en las plantas producidas en este diseño.

Con respecto al número total de raíces laterales de primer orden, el diseño de aberturas laterales obtiene un valor superior en comparación al contenedor liso; el comportamiento observado para este grupo de envases, es un indicador de la fibrosidad del sistema radical porque presenta un número mayor de raíces de menor longitud, en un mismo volumen de raíz (Cuadro 4.1.).

Cuadro 4.1. Arquitectura de raíz en plantas de vivero de la especie *P. greggii*.

Combinación de factores (tipo de contenedor)		Volumen de raíz (cm ³)	Raíces laterales de primer orden*	Categoría longitudinal de raíces laterales de primer orden**			
Color	Diseño			Uno	Dos	Tres	cuatro
Negro	Liso	6.68 a	5.11 b	0.75 b	0.48 a	0.52 a	0.17 a
Negro	A. L. ***	5.52 a	5.29 ab	0.93 a	0.53 a	0.30 b	0.00 b
Transp.***	Liso	5.58 a	5.12 b	0.85 ab	0.55 a	0.39 ab	0.02 b
Transp.***	A. L. ***	5.36 a	5.38 a	0.87 ab	0.60 a	0.30 b	0.00 b
Blanco	Liso	5.78 a	5.09 b	0.80 b	0.55 a	0.44 a	0.02 b
Blanco	A. L. ***	5.79 a	5.57 a	0.91 a	0.56 a	0.32 b	0.00 b
Negro	Todos los diseños	6.10 a	5.20 a	0.84 a	0.51 a	0.40 a	0.09 a
Transp.***		5.47 a	5.24 a	0.86 a	0.58 a	0.35 a	0.01 b
Blanco		5.78 a	5.33 a	0.85 a	0.56 a	0.38 a	0.01 b
Todos los colores	Liso	6.01 a	5.11 b	0.80 b	0.53 a	0.45 a	0.07 a
	A. L. ***	5.56 a	5.41 a	0.90 a	0.56 a	0.31 b	0.00 b

* Variable transformada por raíz cuadrada del número total de raíces laterales de primer orden.

** Variable transformada por arco seno de la proporción en categorías con respecto al total de raíces laterales de primer orden.

*** Transp.= Transparente; A. L. = Aberturas Laterales

En el análisis individual de los seis tipos de envases, a pesar de que no hay diferencias significativas entre colores con excepción de la categoría cuatro, el efecto del diseño tiene repercusiones directas tanto en el número total de raíces laterales de primer orden, como en la distribución de raíces por categoría. Es importante resaltar que el efecto del color en la categoría cuatro, se observa con la presencia de mayor frecuencia para las raíces envolventes en el envase negro-liso, como una probable consecuencia del calor almacenado en este contenedor.

El estudio de la arquitectura de raíz de en la especie *P. greggii* para su desempeño de campo, se ve reflejado en el factor diseño de contenedor, dónde los envases lisos son superiores en las variables referentes a la longitud total del sistema radical, e inferiores en la longitud de raíz principal, con respecto a los de aberturas laterales (Cuadro 4.2.).

El número total de raíces laterales de primer orden no refleja diferencias significativas en la comparación de diseños para esta especie, a pesar de las diferencias de origen en la fase de vivero y de ser superior en el envase de aberturas laterales, pero en tendencia a equipararse con aquellos de diseño liso. En cambio el factor color es distinto entre los envases de color blanco, con valores superiores a negro y transparente, sin embargo, dichas diferencias no se ven reflejadas en el análisis individual de los tratamientos (Cuadro 4.2.).

Cuadro 4.2. Arquitectura de raíz en el desempeño de las plantas de *P. greggii* en campo.

Combinación de factores (tipo de contenedor)		Longitud total de sistema radical (cm)	Longitud de raíz principal (cm)	Raíces laterales de primer orden
Color	Diseño			
Negro	Liso	69.38 ab	36.56 a	31.88 a
Negro	Aberturas laterales	60.24 ab	45.87 a	41.79 a
Transparente	Liso	71.13 a	34.75 a	30.25 a
Transparente	Aberturas laterales	68.00 ab	48.44 a	29.13 a
Blanco	Liso	67.38 ab	45.00 a	35.50 a
Blanco	Aberturas laterales	57.81 b	48.75 a	42.63 a
Negro		64.81 a	41.22 a	36.83 ab
Transparente	Todos los diseños	69.56 a	41.59 a	29.69 b
Blanco		62.59 a	46.88 a	39.06 a
Todos los colores	Liso	69.29 a	38.77 b	32.54 a
	Aberturas laterales	62.15 b	47.63 a	38.00 a

4.4.2. Arquitectura de raíz en la especie *P. patula*.

El comportamiento de *P. patula*, en la arquitectura de raíz para la fase de vivero, se ve reflejado en ambos factores de estudio (color y diseño de envase). Al igual que *P. greggii*, la categoría de longitud cuatro fue superior en el color negro con respecto a transparente y blanco, dicho efecto se observa de manera notoria en el envase negro-liso con mayor presencia de raíces envolventes, en comparación con los restantes cinco tipos de contenedores.

En el factor diseño las diferencias significativas recaen en todas las variables de estudio. Por una parte, el grupo de contenedores lisos fueron superiores en volumen de raíz, y en las categorías longitudinales tres y cuatro; mientras que aquellos de aberturas laterales reportaron los valores más altos para el número total de raíces laterales de primer orden y en las categorías de menor longitud (uno y dos). Este comportamiento permite concluir que los envases de aberturas laterales generaron una mayor cantidad de raíces laterales finas (diámetros delgados) y de menor longitud, lo que derivó en un volumen menor de sistema radical (Cuadro 4.3.).

Cuadro 4.3. Arquitectura de raíz en plantas de vivero de la especie *P. patula*.

Combinación de factores (Tipo de contenedor)		Volumen de raíz (cm ³)	Raíces laterales de primer orden*	Categoría longitudinal de raíces laterales de primer orden**			
Color	Diseño			Uno	dos	tres	cuatro
Negro	Liso	4.67 a	4.96 b	0.75 b	0.49 ab	0.47 a	0.31 a
Negro	A. L. ***	4.04 b	5.43 a	0.95 a	0.56 a	0.19 b	0.00 c
Transp.***	Liso	5.22 a	5.21 a	0.83 ab	0.50 a	0.46 a	0.07 c
Transp.***	A. L. ***	4.75 a	5.47 a	0.85 a	0.61 a	0.31 b	0.00 c
Blanco	Liso	4.92 a	5.19 a	0.79 b	0.53 a	0.47 a	0.12 b
Blanco	A. L. ***	4.08 ab	5.57 a	0.91 a	0.58 a	0.25 b	0.00 c
Negro	Todos los diseños	4.35 a	5.20 a	0.85 a	0.52 a	0.33 a	0.16 a
Transp.***		4.98 a	5.34 a	0.84 a	0.55 a	0.38 a	0.03 b
Blanco		4.50 a	5.40 a	0.85 a	0.60 a	0.36 a	0.06 b
Todos los colores	Liso	4.93 a	5.11 b	0.79 b	0.51 b	0.47 a	0.17 a
	A. L. ***	4.29 b	5.49 a	0.90 a	0.58 a	0.25 b	0.0 b

* Variable transformada por raíz cuadrada del número total de raíces laterales de primer orden.

** Variable transformada por arco seno de la proporción en categorías con respecto al total de raíces laterales de primer orden.

*** Transp.= Transparente; A. L. = Aberturas Laterales

El efecto de las diferencias estadísticas en el diseño, se observa en la arquitectura de raíz de los seis tipos de envases; en los extremos se ubican los contenedores de aberturas laterales en sus tres colores con una mejor estructura de raíz, sin presencia de raíces envolventes (valores de cero en categoría cuatro); y en un escenario diferente se encuentra el envase negro-liso, pues de los seis tipos, fue

el que menor número de raíces generó con volumen radical más alto. Las raíces de este envase se caracterizaron por ser de mayor longitud y grosor, con propensión a envolverse. Este comportamiento se deriva de las temperaturas elevadas en el envase pues estimula el crecimiento de raíces con los efectos consecuentes en un espacio limitado del cepellón.

El desarrollo posterior de la arquitectura de raíz en plantas de *P. patula* en campo, se ve reflejado en el porcentaje de raíces envolventes. Este comportamiento se mantiene desde la producción de la planta en vivero, dónde el diseño de drenaje liso tuvo un efecto de mayor incidencia en la generación de raíces envolventes, y estas siguen una diferencia marcada en las plantas provenientes de ese grupo de envases, en su contraparte con las plantas producidas en contenedores de aberturas laterales. Las variables restantes no presentaron diferencias significativas en esta especie en la fase de campo (Cuadro 4.4.).

Cuadro 4.4. Arquitectura de raíz en el desempeño de las plantas de *P. patula* en campo

Combinación de factores (tipo de contenedor)		Longitud total de sistema radical (cm)	Longitud de raíz principal (cm)	Raíces laterales de primer orden	% de raíces envolventes
Color	Diseño				
Negro	Liso	59.00 a	35.50 a	24.88 a	17.88 a
Negro	Aberturas laterales	56.75 a	41.13 a	35.88 a	12.30 b
Transparente	Liso	55.75 a	39.13 a	26.88 a	20.03 a
Transparente	Aberturas laterales	54.88 a	34.13 a	33.38 a	12.25 b
Blanco	Liso	59.13 a	51.50 a	33.63 a	14.01 b
Blanco	Aberturas laterales	58.88 a	46.00 a	28.63 a	11.11 b
Negro		57.88 a	38.31 a	30.38 a	15.09 a
Transparente	Todos los diseños	55.31 a	36.63 a	30.13 a	16.14 a
Blanco		59.00 a	48.75 a	31.13 a	12.56 a
Todos los colores	Liso	57.96 a	42.04 a	28.46 a	17.30 a
Todos los colores	Aberturas laterales	56.83 a	40.42 a	32.63 a	11.89 b

4.4.3. Arquitectura de raíz en la especie *P. oaxacana*.

A pesar de existir una diferenciación marcada en los hábitos de crecimiento entre *P. oaxacana* y las especies *P. greggi* y *P. patula*, estas últimas con cierta similitud entre ellas, el comportamiento que *P. oaxacana* obtuvo en el estudio de su arquitectura de raíz, es de una tendencia similar en comparación con estas especies de pino.

Al analizar los efectos de los factores por separado, el color reporta diferencias en las variables: número de raíces laterales de primer orden y en las categorías longitudinales dos y cuatro. En ellas, el color blanco genera una cantidad superior de raíces de primer orden en comparación con el color negro; así mismo la distribución de raíces por categoría longitudinal se ve alterada por el color, dónde los envases negros generaron mayor cantidad de raíces envolventes que los restantes colores blanco y transparente (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.5. Arquitectura de raíz en plantas de vivero de la especie *P. oaxacana*.

Combinación de factores (Tipo de contenedor)		Volumen de raíz (cm ³)	Raíces laterales de primer orden*	Categoría longitudinal de raíces laterales de primer orden**			
Color	Diseño			uno	dos	tres	Cuatro
Negro	Liso	11.09 a	4.98 b	0.71 b	0.45 ab	0.47 a	0.41 a
Negro	A. L. ***	8.38 b	5.31 ab	0.91 a	0.45 ab	0.39 a	0.09 b
Transp.***	Liso	11.12 a	5.26 b	0.75 b	0.57 a	0.47 a	0.13 b
Transp.***	A. L. ***	8.48 ab	5.56 a	0.91 a	0.49 a	0.38 a	0.07 b
Blanco	Liso	12.59 a	5.77 a	0.77 ab	0.49 a	0.44 a	0.28 a
Blanco	A. L. ***	9.29 ab	5.72 a	0.87 a	0.49 a	0.43 a	0.07 b
Negro	Todos los diseños	9.73 a	5.15 b	0.81 a	0.45 b	0.43 a	0.26 a
Transp.***		9.80 a	5.41 ab	0.83 a	0.53 a	0.42 a	0.10 b
Blanco		10.94 a	5.74 a	0.82 a	0.49 ab	0.44 a	0.17 b
Todos los colores	Liso	11.60 a	5.33 a	0.74 b	0.51 a	0.46 a	0.28 a
	A. L. ***	8.71 b	5.53 a	0.90 a	0.48 a	0.40 b	0.08 b

* Variable transformada por raíz cuadrada del número total de raíces laterales de primer orden.

** Variable transformada por arco seno de la proporción en categorías con respecto al total de raíces laterales de primer orden.

*** Transp. = Transparente; A. L. = Aberturas Laterales.

El desarrollo posterior de la arquitectura de raíz en plantas de *P. oaxacana* en campo, se ve reflejado en el porcentaje de raíces envolventes. Este comportamiento se mantiene desde la producción de la planta en vivero, dónde el diseño de drenaje liso tuvo un efecto de mayor incidencia en la generación de raíces envolventes, y estas siguen una diferencia marcada en las plantas provenientes de ese grupo de envases, que las plantas producidas en contenedores de aberturas laterales (Cuadro 4.6.)

Las variables restantes no presentaron diferencias significativas en esta especie en la fase de campo.

Cuadro 4.6. Arquitectura de raíz en el desempeño de las plantas de *P. patula* en campo

Combinación de factores (tipo de contenedor)		Longitud total de sistema radical (cm)	Longitud de raíz principal (cm)	Raíces laterales de primer orden	% de raíces envolventes
Color	Diseño				
Negro	Liso	67.75 a	44.13 a	38.00 a	14.99 a
Negro	Aberturas laterales	68.13 a	49.63 a	50.00 a	6.29 b
Transparente	Liso	65.88 a	45.38 a	30.63 a	16.79 a
Transparente	Aberturas laterales	60.50 a	38.25 a	38.63 a	9.26 ab
Blanco	Liso	63.75 a	52.00 a	37.25 a	11.06 ab
Blanco	Aberturas laterales	66.63 a	39.13 a	38.88 a	5.48 b
Negro		67.94 a	46.88 a	44.00 a	10.64 a
Transparente	Todos los diseños	63.19 a	41.81 a	38.06 a	13.03 a
Blanco		65.19 a	45.56 a	34.63 a	8.27 a
Todos los colores	Liso	65.79 a	47.17 a	35.29 a	14.28 a
	Aberturas laterales	65.08 a	42.33 a	42.50 a	7.01 b

Dado que el diseño del contenedor llega a ser uno de los factores que determinan el sistema radical de la planta, es necesario probar en los viveros aquellos diseños que generen las características necesarias de una arquitectura radical adecuada, considerando las fenología de la especie, el sustrato usado y la siembra

empleada. Aquellos contenedores que generen defectos en la raíz deben ser sustituidos por los viveristas por diseños que disminuyan esta problemática. Si bien, existen prácticas culturales correctivas que mitigan los defectos del sistema radical, las cuales consisten básicamente en la poda de raíz al momento de establecerse la planta en campo, con lo cual se estimula el crecimiento y formación de nuevas raíces, pero dicho problema debe ser erradicado en el sistema de producción de vivero.

En las plantaciones es frecuente encontrar planta con crecimiento lento y enferma como consecuencia de la pobre estructura de raíz, pero es de gran importancia reconocer la relación con patógenos oportunistas, que si bien no afectan la planta que está en buenas condiciones, son capaces de causar la muerte de árboles debilitados.

En resumen, las características de la arquitectura radical resultan importantes para un establecimiento exitoso de plantaciones forestales con planta de cepellón. Se asume que el cepellón debe ser compacto, bien conformado, con un sistema radical fibroso con abundantes raíces laterales. Se debe evitar raíces en espiral, ascendentes y en forma de “J”

Es importante observar los efectos que un sistema radical defectuoso tiene en la planta, los cuales generalmente influyen en un deficiente aprovechamiento de nutrientes y agua en el suelo, y escaso anclaje volviendo a la planta susceptible a derribo por el viento. Aunado a lo anterior, es necesario probar los distintos diseños de contenedores existentes en el mercado, con el fin de identificar aquellos que no generen deformaciones en la arquitectura de la raíz.

4.5. CONCLUSIONES

El diseño y el color, son características del envase que modifican la estructura del sistema radical en plantas producidas a raíz cubierta. Por una parte, en el número de raíces laterales de primer orden el color no alteró los resultados en esta variable, sin embargo en la distribución de raíces en las cuatro categorías longitudinales, el color negro obtuvo los valores más altos en la categoría cuatro, de mayor longitud e indicativa de raíces envolventes. Este comportamiento en el color se dio por las temperaturas de los contenedores negros, que al ser superiores, el desarrollo de raíces se vio estimulado por arriba de los envases transparente y blanco.

El efecto del diseño de drenaje se observó en todas las variables referentes a la arquitectura del sistema radical. El grupo de envases de aberturas laterales mostraron una tendencia a generar mayor cantidad de raíces laterales de primer orden y con mayor proporción en categorías longitudinales uno y dos, de menor longitud. Este comportamiento permitió aceptar la hipótesis contemplada de inicio, dado que se observó el resultado esperado, con la presencia de una mayor cantidad de raíces laterales de primer orden, y de menor longitud.

El efecto de las deformaciones en el cepellón por las características del envase se observaron en la plantación, con la presencia de raíces envolventes que provenían de la fase de vivero. En consecuencia, las raíces de este tipo se presentaron en mayor proporción en las plantas producidas en este grupo de envases y fue menor para las plantas que en el vivero fueron establecidas en los contenedores de aberturas laterales.

CAPITULO V. DESEMPEÑO DE TRES ESPECIES DE PINO EN UN AMBIENTE COMUN DE PLANTACIÓN

5.1. RESUMEN

Se evaluó la respuesta en campo de plantas de las especies *Pinus greggii*, *P. patula* y *P. oaxacana*, producidas durante la etapa de vivero en seis tipos de envases: tres clases de color (negro, transparente y blanco), y dos diseños de drenaje (Típico y aberturas laterales). Las variables que permitieron valorar el desempeño de calidad de planta, fueron el crecimiento relativo en diámetro y altura; la biomasa aérea total y el desglose de ésta en sus principales componentes: ramas de la base, del tallo y de verticilos. Los resultados mostraron diferencias significativas en crecimiento relativo del diámetro para las tres especies, principalmente en el diseño de envases, donde los de aberturas laterales tuvieron un crecimiento mayor en diámetro (1.16 vs 1.07 en *P. greggii*, 0.88 vs 0.74 en *P. patula*, y 1.47 vs 1.19 en *P. oaxacana*), en comparación a los envases típicos. El incremento en altura fue diferente entre diseños en *P. patula*, cuyo valor más alto ocurrió con aberturas laterales (1.01 vs 0.77). La comparación entre colores, las diferencias en diámetro se observaron solamente en *P. greggii* (en transparente 1.19 vs 1.07 en negro); y en altura para *P. patula* (en negro 0.94 vs 0.81 en blanco). Para la biomasa aérea total, en el factor diseño se tienen los valores más altos en envases lisos (31.63 vs 27.24 en *P. greggii*, y 30.08 vs 26.20 en *P. oaxacana*); mientras que en los colores, el blanco reportó los valores superiores, y fueron inferiores en negro (31.02 vs 26.56 en *P. greggii* y 30.55 vs 26.45 en *P. oaxacana*). La distribución de biomasa total en sus componentes fue igual en ambos factores, con el mismo comportamiento para las tres especies.

5.2. INTRODUCCIÓN

El establecimiento de toda plantación forestal o reforestación tiene como primera medida el superar la fase de establecimiento en campo en un periodo de tiempo a corto plazo, y sobre esta etapa crítica, es que se ha definido el concepto de calidad de planta. El periodo de establecimiento es variable en función a la caracterización de sitio, a la calidad de la planta de vivero y a la preparación que se realice en el terreno; sin embargo, se habla de un tiempo básico de dos años para lograr el arraigo de la planta en el sitio de establecimiento (Cortina *et al.*, 2006).

Cortina *et al.* (2006), identifican dos fases dentro del periodo crítico. La primera de ellas, se refiere al periodo en el cual la planta debe recuperarse del estrés que sufre durante el transporte y el establecimiento en el suelo, en donde las raíces vivas del cepellón son las primeras en explorar el suelo con el propósito de asegurar las funciones vitales de absorción de agua y nutrientes (Grossnickle, 2012; Córdoba-Rodríguez *et al.*, 2011; Heiskanen, 2003). La segunda fase que refieren, le sucede al restablecimiento de las funciones fisiológicas de la planta, a partir de la cual se inicia el periodo de crecimiento y desarrollo en función al sitio de plantación y las características de la especie (Cortina *et al.*, 2006; Zedler, 2005; Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo, 2004).

El establecimiento de la planta en campo se ve limitado por diversos factores que, en conjunto, determinan las características a elegir en la planta y la preparación del sitio. Distintos autores refieren a los factores genéticos de la especie (Córdoba-Rodríguez *et al.*, 2011), al igual que la condición ambiental, el manejo de la planta durante el transporte, y sus características morfológicas y fisiológicas, como condicionantes del éxito de la planta en campo (Grossnickle, 2012; Grossnickle, 2004; Navarro y Palacios, 2004; Cortina *et al.*, 2006; Birchler *et al.*, 1998).

En el presente estudio se calificó el desempeño en campo de plantas con diferentes características morfológicas obtenidas en la etapa de producción en vivero, como consecuencia a la selección del tipo de envase, con el propósito de analizar en campo el efecto de la calidad de planta obtenido, después de un año de establecida. Las variables de respuesta seleccionadas como predictores de calidad, se consideraron el incremento relativo en diámetro y altura, la biomasa aérea total y su desglose en los principales componentes: ramas de la base, tallo principal y verticilos.

5.3. MATERIALES Y MÉTODOS

La plantación realizada con el propósito de evaluar el desempeño en el campo de los árboles provenientes del vivero, se estableció en un diseño experimental de bloques al azar y su proceso metodológico se describe en el Capítulo IV. Posterior al análisis de la arquitectura de raíz, los árboles de los dos bloques restantes se midieron al final del periodo de estiaje, al inicio del mes de junio. Las variables evaluadas consistieron en la medición del crecimiento en altura y diámetro del cuello de la raíz, para determinar el crecimiento relativo al final del periodo experimental, y la distribución de la biomasa aérea en sus distintos componentes: ramas basales, tallo principal, ramas de primer verticilo, segundo verticilo y tercer verticilo.

En la fase experimental se incluyó el monitoreo de condiciones de humedad de suelo con la toma de muestras utilizando una barrena de media caña, para ello se distribuyeron al azar diferentes puntos de muestreo en la plantación. En cada punto de muestreo, se recolectó una muestra de suelo de aproximadamente 20 g, se tomó su dato del peso seco en húmedo y posteriormente se secó en estufa a 105 °C durante 48 h, y se pesó en seco (Anexo 5). La información recabada permitió determinar la humedad gravimétrica en porcentaje, con la aplicación de la fórmula:

$$\%hg = \frac{\text{peso de suelo humedo} - \text{peso de suelo seco}}{\text{peso de suelo seco}} \times 100$$

La evaluación de los bloques uno y dos en las tres especies se realizó a los 312 días en *P. greggii*, 325 en *P. patula* y 320 en *P. oaxacana*, de establecida la plantación. Se tomaron los datos de diámetro y altura para evaluar el crecimiento relativo en estas variables con respecto a los valores iniciales de la plantación, y se descompuso la biomasa aérea en sus componentes principales: hojas y tallo del tallo principal, ramas de la base y ramas de verticilos (Anexo 5), tomando como parámetro de medida el valor del peso seco de cada componente.

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante un ANOVA de dos factores (diseño de drenaje y color de plástico) en cada especie. Para contrastar las diferencias en los valores de las variables de crecimiento relativo (en diámetro y altura), y de biomasa aérea total y en sus diferentes componentes; se hizo una comparación de medias de Tukey con $\alpha = 0.05$.

5.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.4.1. Crecimiento relativo y distribución de biomasa aérea en *P. greggii*.

Las variables de crecimiento relativo en diámetro y altura muestran diferencias significativas al analizarse en los factores color y diseño de envase. Para el color de envase el crecimiento en diámetro fue superior en los envases del grupo transparente con respecto al negro, cuyo valor fue inferior en 11%, mientras que el color blanco se ubica en valor de incremento intermedio, sin diferencias con los restantes colores (Cuadro 5.1).

En la comparación entre diseños, se tuvo un incremento de aproximadamente el 10% en el diámetro de las plantas producidas en los envases de diseño de aberturas laterales contra los envases típicos. Estas diferencias, tanto en el diseño

como en el color de envase, se ven reflejadas en el análisis de la variable para los seis tipos de envases; dentro de estos, los que obtuvieron los valores más altos son los envases: transparente de aberturas y típico, blanco y negro de aberturas laterales, y en menor incremento los envases blanco y negro de diseño típico (Cuadro 5.1).

En la evaluación de la biomasa aérea, se observaron diferencias significativas en ambos factores de estudio, por un parte las plantas de los envases blancos generaron un 17% más de biomasa con respecto al valor inferior que pertenece al grupo de contenedores negros. En el diseño de drenaje, el grupo de contenedores típicos es superior en 16% con respecto a los de aberturas laterales. En la comparación entre los seis tipos de envases, los valores extremos correspondieron al negro de aberturas laterales con un valor inferior en 32% si se compara con las plantas producidas en el contenedor transparente liso (Cuadro 5.1.)

El crecimiento relativo en altura no arrojó diferencias significativas en el color y diseño de envase, por lo que el incremento fue igual en los seis tipos de envases. Este comportamiento fue similar en la variable de distribución de biomasa en sus componentes, sin diferencias significativas al analizar los envases en su conjunto (Cuadro 5.1.)

5.4.2. Crecimiento relativo y distribución de biomasa aérea en *P. patula*.

Las variables de crecimiento relativo en diámetro y altura muestran diferencias significativas en los dos factores de estudio. La influencia del color en el crecimiento de las plantas se observa en el incremento en altura, dónde los valores extremos se tienen con los envases negros que crecieron en 16% más con respecto a los blancos. Las variables restantes no tuvieron efecto por el color de contenedor (Cuadro 5.2.).

Cuadro 5.1. Crecimiento relativo en diámetro y altura, biomasa total aérea y desglose en sus componentes principales, del desempeño en campo de plantas de *P. greggii*.

Factores combinados (tipo de envase)	Crecimiento relativo	Biomasa aérea total (g)	Desglose en proporción de la biomasa total aérea											
			Tallo principal		Ramas basales		1 ^{er} verticilo ²		2 ^o verticilo ²		3 ^{er} verticilo ²			
Color	Diseño	Diám. ¹ (mm)	Altura (cm)	hojas	tallo	Hojas	tallo	hojas	tallo	Hojas	Tallo	hojas	tallo	
Negro	Liso	1.01 b	1.22 a	30.23 a	0.40 a	0.23 a	0.22 a	0.09 a	0.04 b	0.01 a	0.0064 a	0.0023 a	0.00000 a	
Negro	A. L. ⁴	1.13 ab	1.09 a	22.88 b	0.42 a	0.23 a	0.19 a	0.07 a	0.06 ab	0.02 a	0.0001 a	0.0002 a	0.00005 a	
Transp. ³	Liso	1.16 a	1.11 a	34.05 a	0.39 a	0.23 a	0.20 a	0.08 a	0.07 ab	0.03 a	0.0044 a	0.0017 a	0.00038 a	
Transp. ³	A. L. ⁴	1.21 a	1.32 a	27.66 ab	0.41 a	0.25 a	0.22 a	0.08 a	0.03 b	0.01 a	0.0043 a	0.0020 a	0.00026 a	
Blanco	Liso	1.05 b	1.01 a	30.68 a	0.38 a	0.23 a	0.19 a	0.07 a	0.09 a	0.03 a	0.0023 a	0.0012 a	0.00000 a	
Blanco	A. L. ⁴	1.15 a	1.12 a	31.36 a	0.40 a	0.25 a	0.18 a	0.07 a	0.07 ab	0.02 a	0.0034 a	0.0019 a	0.00005 a	
Negro	Todos los diseños	1.07 b	1.16 a	26.56 b	0.41 a	0.23 a	0.21 a	0.08 a	0.05 b	0.02 a	0.0033 a	0.0013 a	0.00002 a	
Transp. ³	los diseños	1.19 a	1.22 a	30.86 a	0.40 a	0.24 a	0.21 a	0.08 a	0.05 b	0.02 a	0.0044 a	0.0019 a	0.00032 a	
Blanco	Todos los colores	1.10 ab	1.07 a	31.02 a	0.39 a	0.24 a	0.19 a	0.07 a	0.08 a	0.03 a	0.0029 a	0.0016 a	0.00002 a	
Todos los colores	A. L. ⁴	1.07 b	1.11 a	31.63 a	0.39 a	0.23 a	0.20 a	0.08 a	0.07 a	0.02 a	0.0040 a	0.0020 a	0.00013 a	
		1.16 a	1.19 a	27.24 b	0.42 a	0.24 a	0.20 a	0.07 a	0.05 a	0.02 a	0.0030 a	0.0010 a	0.00009 a	

² 1^{er} verticilo = primer verticilo, 2^o verticilo = segundo verticilo, y 3^{er} verticilo = tercer verticilo

¹ Diám. = Diámetro del cuello de la raíz

² 1^{er} verticilo = primer verticilo, 2^o verticilo = segundo verticilo, y 3^{er} verticilo = tercer verticilo

³ Transp. = Color transparente

⁴A. L. = Diseño de envase de aberturas laterales

En la comparación entre diseños de contenedores, las plantas producidas en los envases de aberturas laterales tuvieron un incremento superior a aquellas provenientes de envases típicos, en las variables de crecimiento relativo. Para el diámetro, se tuvo un incremento superior en 20% mientras que en altura, la diferencia entre diseños es de 31%. En este sentido, los incrementos en diámetro más altos se tienen principalmente en los envases negro, transparente y blanco de aberturas laterales, con respecto a los de diseño típico, y este comportamiento es igual en el incremento en altura (Cuadro 5.2.).

En el análisis de la biomasa aérea total, no existen diferencias significativas en los factores analizados por separado o en su conjunto. Este comportamiento es igual en la distribución de biomasa en sus componentes, sin diferencias significativas entre factores (Cuadro 5.2.)

5.4.3. Crecimiento relativo y distribución de biomasa aérea en *P. oaxacana*.

El comportamiento que se deriva de las variables evaluadas para el desempeño en campo de *P. oaxacana*, se observa un patrón similar a *P. greggii*, pues el crecimiento en altura no arroja diferencias significativas en ninguno de los factores estudiados, mientras que para el diámetro, las diferencias existentes son influidas por el diseño de envase, pues entre estos, el incremento fue 24% superior en el grupo de aberturas laterales. Esta tendencia se refleja en la combinación de factores, ya que en los seis tipos de envases, el negro, transparente y blanco de aberturas, obtuvieron los valores de incremento en diámetro, por arriba de los envases lisos (Cuadro 5.3.).

En la evaluación de la biomasa aérea, se observaron diferencias significativas en ambos factores de estudio, por un parte las plantas de los envases blancos generaron el 16% más de biomasa con respecto al valor inferior que pertenece al grupo de contenedores negros y transparentes. En el diseño de drenaje, el grupo de contenedores típicos es superior en 15% con respecto a los de aberturas

laterales. En la comparación entre los seis tipos de envases, los valores extremos se observan en el negro de aberturas laterales con un valor inferior en 33% con respecto a las plantas producidas en el contenedor blanco liso (Cuadro 5.3.)

Cuadro 5.2. Crecimiento relativo en diámetro y altura, biomasa total aérea y su desglose en sus componentes principales, del desempeño en campo de plantas de *P. patula*.

Factores combinados (tipo de envase)	Crecimiento relativo	Biomasa aérea total (g)	Desglose en proporción de la biomasa total aérea														
			Tallo principal			Ramas basales			1 ^{er} verticilo ²			2 ^o verticilo ²			3 ^{er} verticilo ²		
			Diám ¹ (mm)	Altura (cm)	hojas	Tallo	hojas	tallo	hojas	tallo	hojas	tallo	hojas	tallo	hojas	tallo	hojas
Negro Liso	0.74 b	0.78 b	19.49 a	0.44 a	0.23 a	0.11 a	0.04 a	0.11 a	0.03 a	0.11 a	0.03 a	0.026 a	0.007 a	0.002 a	0.001 a	0.001 a	0.001 a
Negro A. L ⁴ .	0.94 a	1.09 a	19.22 a	0.44 a	0.26 a	0.09 a	0.03 a	0.12 a	0.03 a	0.12 a	0.03 a	0.022 a	0.007 a	0.003 a	0.001 a	0.001 a	0.001 a
Transp ³ . Liso	0.79 ab	0.75 b	21.91 a	0.46 a	0.26 a	0.08 a	0.03 a	0.12 a	0.03 a	0.12 a	0.03 a	0.016 a	0.008 a	0.000 a	0.000 a	0.000 a	0.000 a
Transp ³ . A. L ⁴ .	0.87 a	1.05 a	19.89 a	0.45 a	0.26 a	0.09 a	0.03 a	0.13 a	0.03 a	0.13 a	0.03 a	0.014 a	0.005 a	0.002 a	0.001 a	0.001 a	0.001 a
Blanco Liso	0.66 b	0.75 b	22.54 a	0.41 a	0.25 a	0.09 a	0.03 a	0.15 a	0.04 a	0.15 a	0.04 a	0.013 a	0.009 a	0.000 a	0.001 a	0.001 a	0.001 a
Blanco A. L ⁴ .	0.81 a	0.87 b	21.25 a	0.43 a	0.23 a	0.11 a	0.03 a	0.14 a	0.04 a	0.14 a	0.04 a	0.016 a	0.007 a	0.002 a	0.001 a	0.001 a	0.001 a
Negro Todos los diseños	0.84 a	0.94 a	19.36 a	0.44 a	0.24 a	0.10 a	0.03 a	0.12 a	0.03 a	0.12 a	0.03 a	0.024 a	0.007 a	0.002 a	0.001 a	0.001 a	0.001 a
Transp ³ . Los diseños	0.86 a	0.90 a	20.90 a	0.46 a	0.26 a	0.08 a	0.03 a	0.13 a	0.03 a	0.13 a	0.03 a	0.015 a	0.006 a	0.001 a	0.001 a	0.001 a	0.001 a
Blanco Todos los colores	0.74 a	0.81 b	21.89 a	0.42 a	0.24 a	0.10 a	0.03 a	0.15 a	0.04 a	0.15 a	0.04 a	0.015 a	0.008 a	0.001 a	0.001 a	0.001 a	0.001 a
Liso A. L ⁴ .	0.74 b	0.77 b	21.62 a	0.44 a	0.25 a	0.10 a	0.03 a	0.13 a	0.03 a	0.13 a	0.03 a	0.019 a	0.008 a	0.001 a	0.001 a	0.001 a	0.001 a
A. L ⁴ .	0.88 a	1.01 a	20.08 a	0.44 a	0.25 a	0.10 a	0.03 a	0.13 a	0.03 a	0.13 a	0.03 a	0.018 a	0.006 a	0.002 a	0.001 a	0.001 a	0.001 a

¹ Diám. = Diámetro del cuello de la raíz

² 1^{er} verticilo = primer verticilo, 2^o verticilo = segundo verticilo, y 3^{er} verticilo = tercer verticilo

³ Transp. = Color transparente

⁴A. L. = Diseño de envase de aberturas laterales

Cuadro 5.3. Crecimiento relativo en diámetro y altura, biomasa total aérea y desglose en sus componentes principales, del desempeño en campo de plantas de *P. oaxacana*.

Factores combinados (tipo de envase)			Crecimiento relativo		Biomasa aérea total (g)	Desglose en proporción de la biomasa total aérea					
			Diám. ¹ (mm)	Altura (cm)		Tallo principal		Ramas basales		Primer verticilo	
Color	Diseño					hojas	tallo	hojas	tallo	hojas	tallo
Negro	Liso		1.17 b	0.76 a	27.86 b	0.63 a	0.28 a	0.07 a	0.02 a	0.004 a	0.002 b
Negro	A. L. ³		1.43 a	0.80 a	25.04 b	0.62 a	0.30 a	0.06 a	0.01 a	0.005 a	0.003 b
Transp. ²	Liso		1.25 b	0.71 a	29.09 ab	0.62 a	0.27 a	0.08 a	0.01 a	0.014 a	0.005 ab
Transp. ²	A. L. ³		1.42 a	0.76 a	25.74 b	0.63 a	0.26 a	0.07 a	0.01 a	0.022 a	0.010 a
Blanco	Liso		1.16 b	0.82 a	33.28 a	0.64 a	0.29 a	0.05 a	0.01 a	0.005 a	0.003 b
Blanco	A. L. ³		1.56 a	0.84 a	27.82 b	0.62 a	0.27 a	0.08 a	0.02 a	0.013 a	0.006 ab
Negro	Todos los diseños		1.30 a	0.78 a	26.45 b	0.63 a	0.29 a	0.07 a	0.02 a	0.004 a	0.003 b
Transp. ²			1.33 a	0.73 a	27.42 b	0.63 a	0.27 a	0.07 a	0.01 a	0.018 a	0.008 a
Blanco			1.36 a	0.83 a	30.55 a	0.63 a	0.28 a	0.07 a	0.01 a	0.009 a	0.005 ab
Todos los colores	Liso		1.19 b	0.76 a	30.08 a	0.63 a	0.28 a	0.07 a	0.01 a	0.008 a	0.004 a
	A. L. ³		1.47 a	0.80 a	26.20 b	0.62 a	0.27 a	0.07 a	0.01 a	0.014 a	0.006 a

¹ Diám. = Diámetro del cuello de la raíz

² Transp. = Color transparente

³ A. L. = Diseño de envase de aberturas laterales

Las condiciones de humedad en el suelo, de acuerdo con el monitoreo de humedad, revelaron un constante estrés por sequía (Ortiz y Ortiz, 1990), dado que la humedad gravimétrica se mantuvo por debajo de 15% durante los meses de estiaje, de diciembre a mayo (Figura 5.1.).

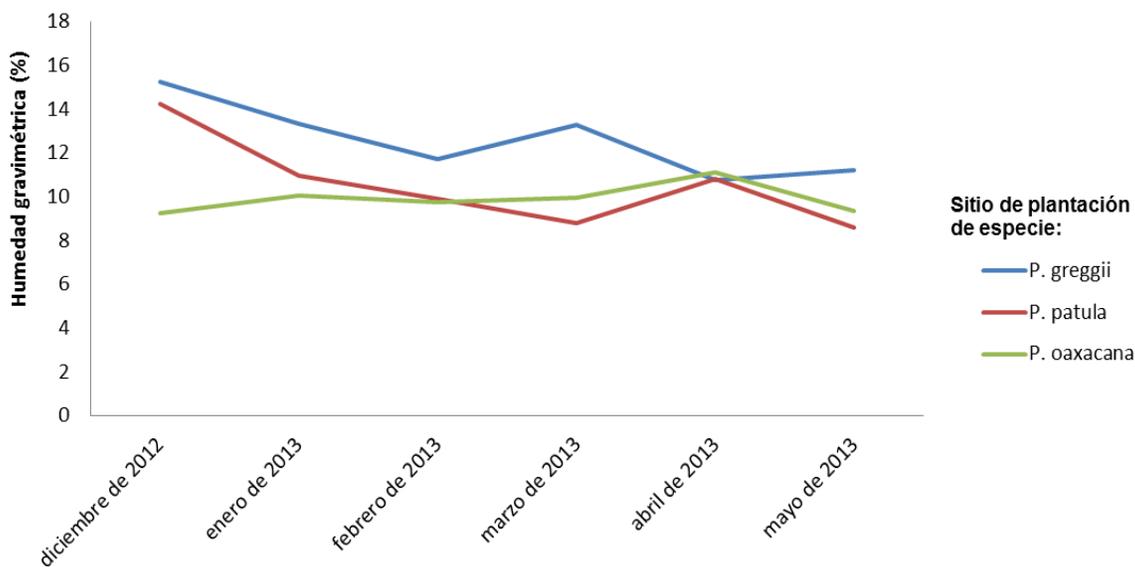


Figura 5.1. Promedios mensuales de humedad gravimétrica en el suelo para los sitios de plantación de tres especies de pino

Los estudios realizados para evaluar el desempeño de las plantas producidas en contenedores son numerosos y buscan responder, en términos generales, de manera afirmativa a la pregunta sobre la existencia de una relación positiva entre la calidad de la planta y su comportamiento en el campo (Córdoba-Rodríguez *et al.*, 2011; Rodríguez y Duryea, 2003). En muchos casos esto ha permitido el desarrollo de estándares de calidad morfológicos y fisiológicos para numerosas especies en condiciones de sitio muy diferentes (Pinto *et al.*, 2011; Cortina *et al.*, 2006; Villar 2003).

El caso particular del desempeño en campo de plantas producidas a raíz cubierta en el agrupamiento de contenedores por el factor diseño, permitió contrastar las

diferencias en los estándares morfológicos que se obtuvieron en el vivero, que de ser inferiores en las plantas producidas en envases de aberturas laterales (Capítulo III), ya en el sitio de plantación se alcanzaron incrementos mayores principalmente en el diámetro del cuello de la raíz en las tres especies analizadas, y en la altura para *P. patula*, mientras que en *P. greggii* y *P. oaxacana*, el incremento en altura fue igual en términos de significancia estadística. Por lo general se habla de plantas que al tener estándares bajos de calidad, estarían destinadas a desarrollarse en menor proporción, o en casos extremos a perecer (Clark *et al.*, 2010; Cortina *et al.*, 2006; Aphalo y Rikala, 2003); sin embargo, es importante resaltar que aún en las diferencias en los estándares de calidad al inicio de la plantación, los parámetros obtenidos estuvieron dentro de los límites permitidos en la normatividad mexicana que regula la producción de planta en vivero (PROY-NMX-AA-170-SCFI-2013).

En términos generales, para comprender el establecimiento de planta en campo es necesario conocer las características de la especie y su dependencia al ambiente, así como su desempeño durante la fase de establecimiento y la capacidad del árbol para sobrevivir en situaciones de estrés determinadas por las condiciones ambientales del sitio (Córdoba-Rodríguez *et al.*, 2011; Heiskanen, 2004).

Los estudios del desempeño de la calidad de planta en campo, ponen en evidencia la complejidad del problema debido a las interacciones múltiples entre los atributos de calidad de planta y los factores ambientales que condicionan su establecimiento (Grossnickle 2012, Cortina *et al.*, 2006), lo que hace que las indicaciones sobre la importancia de cada uno de los factores considerados individualmente pueden ser contradictorios o funcionar sólo en casos específicos (Zedler, 2005; South, 2000). De ahí que es importante dar especial énfasis a la caracterización de sitio de plantación, así como las labores culturales de preparación del terreno, frente a los términos de calidad de planta, los cuales solo tienen mayor influencia cuando se mantienen constantes los factores ambientales

(South, 2000), lo cual es impráctico de llevarse a cabo en plantaciones forestales o reforestaciones de gran escala.

5.5. CONCLUSIONES.

La evaluación de variables que permitieron valorar la calidad de la planta obtenida en el vivero a través de su desempeño en campo, se observó principalmente en el crecimiento relativo del diámetro y altura. Por un parte, el efecto del diseño del envase se observó en el diámetro, dónde el incremento fue en mayor proporción para las plantas que se produjeron en el grupo de envases de aberturas laterales en las tres especies del estudio; y en la altura el efecto se observó en *P. patula*, con un incremento superior en el mismo grupo de contenedores, con respecto al diseño de drenaje típico.

El efecto del color del contenedor en el desempeño de la plantación se dio en diámetro para *P. greggii*, cuyos valores fueron superiores en envases transparentes, e inferiores en negros; y en la altura en *P. patula*, con el negro que obtuvo los mayores incrementos, en comparación a los colores restantes; mientras que en *P. oaxacana* no se observó efecto alguno por el color del envase. El comportamiento observado en el factor color, al ser de manera diferenciada en las tres especies, es un indicador de que su efecto debe medirse en otras variables de interés que permitan valorarlo, y en este sentido, se encontró en el estudio de la arquitectura de raíz, pero su relación en el desempeño en campo a través del estudio fisiológico de la planta no se ha realizado.

CAPÍTULO VI. LITERATURA CITADA

Aldrete, A., J.G. Mexal, y J. López U. 2005. Variación entre procedencias y respuesta a la poda química en plántulas de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 39: 563-574.

Amoroso, G., P. Frangi, R. Piattii, F. Ferrini, A. Fini, and M. Faoro. 2010. Effect of container design on plant growth and root deformation of littleleaf linden and field elm. *HortScience* 45(12): 1824-1829.

Aphalo, P. and R. Rikala. 2003. Field performance of silver-birch planting stock grown at different spacing and in containers of different volume. *New Forests* 25: 93–108.

Barajas-Rodríguez, J. E., A. Aldrete, J. J. Vargas-Hernández, y J. López-Upton. 2004. La poda química en vivero incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38: 545-553.

Birchler, T., R. W. Rose, A. Royo y M. Pardos. 1998. La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Investigación Agraria. Sistema y Recursos Forestales* 7 (1-2): 109-121.

Campo G., A. D., J. Hermoso M. de, M. Jordá R., y R. Granero P. 2008. Variabilidad del potencial de crecimiento radical en *Quercus ilex*, *Pinus pinaster* y *P. nigra* según las condiciones de realización del test. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 28: 225-230.

Cano P., A. 1998. Tamaño y calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm., en dos sistemas de producción en vivero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 80 p.

Cibrián-Tovar, D., S. García-Díaz y B. Don Juan-Macías. 2008. Identificación y manejo de plagas y enfermedades en viveros forestales. L. Arango Caballero (ed.). Comisión Nacional Forestal-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (CONAFOR-SEMARNAT). México. 144 p.

Clark, S. L., C. J. Schweitzer, S. E. Schlarbaum, L. D. Dimov, and F. V. Hebard. 2010. Nursery quality and first-year response of american chestnut (*Castanea dentata*) seedlings planted in the southeastern United States. *Tree Planters' Notes* 53(2):13-21.

Córdoba-Rodríguez, D., J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton y A. Muñoz-Orozco. 2011. Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia* 45:439-506.

Cortina, J., J. L. Peñuelas, J. Puértolas, R. Savé y A. Vilagrosa. 2006. Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos. Estado actual de conocimientos. Ed. Organismo Autónomo Parques Nacionales-Ministerio de Medio Ambiente. España. 193 p.

Davis, A. S., and D. F. Jacobs. 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests* 30: 295-311.

Domínguez-Lerena, S., N. Herrero S., I. Carrasco M., L. Ocaña B., J. L. Peñuelas R., and J. G. Mexal. 2006. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management* 221: 63-71.

Daubenmire, R. F. 1986. *Ecología Vegetal. Tratado de autoecología de plantas.* Editorial LIMUSA. Tercera edición. 450 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. 1er Simposio Sobre el Pino Piñonero. Valladolid, España. 1: 203-209.

Duryea, M.L. (ed.). 1985. Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Test. Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, Oregon. USA. 143 p.

Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el Género *Pinus* en México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México. 306 p.

Gazal, R. M., C. A. Blanche, y W. M. Carandang. 2004. Root growth potential and seedling morphological attributes of narra (*Pterocarpus indicus* Willd.) transplants. Forest Ecology and Management 195: 259-266.

Grossnickle, S. C. 2012. Why seedlings survive: influence of plant attributes. New Forests 43: 711-738.

Grossnickle, S. C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. New Forests 30: 273-294.

Gutiérrez A., M. 1989. Administrar para la calidad. Conceptos administrativos del control total de la calidad. Noriega-Limusa, México. 273 p.

Heiskanen, J. 2004. Effects of pre- and post-planting shading on growth of container Norway spruce seedlings. New Forests 27: 101-114.

Hernandez-Apaolaza, L., A. Gasco, M. Gasco J. and M. Guerrero F. 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. Bioresour Technol 96: 125-131 p.

Jacobs, D. F., K. F. Salifu and J. R. Seifert. 2005. Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. *New Forests* 30: 235–251.

Landis, T. D., R. K. Dumroese y D. L. Haase. 2010. Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor. Volumen 7. Preparación de la Planta, Almacenamiento y Plantación. Manual Agrícola 674. Washington, D.C.: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal. 244 p.

Landis, T.D., R.W. Tinus, S.E. Mc Donald, and J.P. Barnett. 1990. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 2. Containers and growing media. Agric. Handbook 674. USDA Forest Service. Washington, DC. U.S.A. 88 p.

Luis D., V. C., J. Climent M., J. Peters, E. Pérez M., J. Puértolas S., D. Morales M., M. S. Jiménez P., y L. Gil S. 2004. Evaluación de la calidad de plántulas de *Pinus canariensis* cultivadas con diferentes métodos en la supervivencia y crecimiento en campo. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 17: 63-67.

Martínez, M. 1948. Los Pinos Mexicanos. 2ª edición. Editorial Botas. México. 361 p.

Morales R., M. 1997. Apuntes Metodológicos para el Estudio de Raíces en Plantaciones Forestales y Bosques Naturales. Simposio Internacional Posibilidades de Manejo Forestal Sostenible en América Tropical. Turrialba, Costa Rica. 11 p.

Navarro, R. M. y G. Palacios. 2004. Efecto de la calidad de planta, el procedimiento de preparación y la fecha de plantación en la supervivencia de una repoblación de *Pinus pinea* L. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 17: 199-204.

Nicotra, A. B., N. Babicka and M. Westoby. 2002. Seedling root anatomy and morphology: an examination of ecological differentiation with rainfall using phylogenetically independent contrasts. *Oecologia* 130: 136-145.

Oliet, J., R. Planelles, F. Artero, E. Martínez M., L. Álvarez L., R. Alejano y M. Lopez A. 2003. El potencial de crecimiento radical en planta de vivero de *Pinus halepensis* Mill. Influencia en la fertilización. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 12(1): 51-60.

Ortega, U., J. Majada, A. Mena-Petite, J. Sánchez-Zavala, N. Rodríguez-Iturrizar, K. Txarterina, J. Azpitarte, and M. Duñabeitia. 2006. Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. *New Forests* 31: 97-112.

Ortiz V., B. y C. A. Ortiz. 1990. Edafología. 7a edición. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Chapingo, México. 374 p.

Palacios, G., R. M. Navarro C., A. del Campo, and M. Toral. 2009. Site preparation, stock quality and planting date effect on early establishment of Holm oak (*Quercus ilex* L.) seedlings. *Ecological Engineering* 35: 38-46.

Patiño V., F. 1973. Floración, fructificación, recolección de conos y algunos aspectos de las semillas de pinos mexicanos. *Bosques y Fauna* 10 (4): 20-30.

Patiño V., F. y J. Marín C. 1993. Viveros Forestales. Planeación, establecimiento y producción de planta. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Sureste. Mérida, Yucatán, México. 159 p.

Peñuelas R., J.L. 2001. El Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo": Diez años buscando la calidad de planta forestal para las actuaciones en ámbito

mediterráneo. Ponencia invitada. III Congreso Forestal Español. Granada, España. 20 p.

Pinto, R. J., J. D. Marshall, R. K. Dumroese, A. S. Davis, and D. R. Cobos. 2011. Establishment and growth of container seedlings for reforestation: A function of stocktype and edaphic conditions. *Forest Ecology and Management* 261: 1876-1884.

Perry, P. J. 1991. *The Pines of Mexico and Central America*. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.

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. INIFAP. Publicación Especial No. 28. 53 p.

Prieto R., J. A., M. Soto G., y J. C. Hernández D. 2006. Efecto del tamaño de envase en el crecimiento de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Revista Ciencia Forestal en México* 32: 23-38.

Ramírez-Contreras, A., y D. A. Rodríguez-Trejo. 2004. Efecto de la calidad de la planta, exposición y micrositio en una plantación de *Quercus rugosa*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 10(1): 5-11.

Ramirez-Herrera, C. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta Botánica Mexicana* 72: 1-16.

Rodríguez-Trejo, D. A., y M. L. Duryea. 2003. Indicadores de calidad de planta en *Pinus palustris* Mill. *Agrociencia* 37: 299-307.

Sánchez-Córdova, T., A. Aldrete, V. M. Cetina-Alcalá y J. López-Upton. 2008. Caracterización de medio de crecimiento compuesto por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques* 14:41-49

South, D. B. (2000). Planting morphologically improved pine seedlings to increase survival and growth. *Forestry and Wildlife Research Series N.º 1*. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University, Alabama. 14 p.

Torrente S., I., y J. Peman G. 2004. Influencia de los contenedores abiertos lateralmente en la morfología aérea y radicular en plántulas de *Pinus pinea* y *Quercus coccifera*. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 17: 239-243.

Vargas T., P. 2007. Característica física, química y biológica de polvo de coco y tezontle como sustratos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco, México. 93 p.

Velasco H., E. I. Miranda V., R. Nieto A., H. Villegas R. 2004. Evaluación de sustratos y variedades en la producción protegida de jitomate. *Revista Chapingo, serie Horticultura* 10 (2): 238-245.

Velázquez M., A., G. Angeles, P., T. Llanderal O., A. R. Román J. y V. Reyes H. 2004. Monografía de *Pinus patula*. Comisión Nacional Forestal. Colegio de Postgraduados. México. 124 p.

Villar S., P. 2003. Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. Capítulo 4. *In: Rey-Benayas, J.M., P. T. Espigares y J. M. Ibarra (eds.) Restauración de Ecosistemas Mediterráneos*. Universidad de Alcalá – Asociación Española de Ecología Terrestre. España. 66-80 p.

Watson, A. J. and J. D. Tombleson. 2002. Toppling in juvenile pines: A comparison of the root system characteristics of direct-sown seedlings, and bare-root seedlings and cuttings. *Plant and Soil* 239: 187–196.

Zedler, J. B. 2005. *Ecological restoration: guidance from theory*. San Francisco Estuary and Watershed Science. USA. 31 p.

ANEXOS

Anexo 1. Resultado de los análisis físicos de la mezcla de sustrato empleada en la producción de planta de vivero.

DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Porosidad

Los valores de porosidad en sus diferentes componentes (volumen total, porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de humedad) obtenidos para la mezcla de sustrato utilizada en la producción de planta experimental, al inicio del montaje de experimento (con y sin fertilizante de liberación controlada) y al final de la fase de vivero (por tipo de contenedor), se observan en el Cuadro A-1.

Cuadro A-1. Valores de volumen total de poros; porosidad total, de aireación y de retención de humedad en una mezcla de sustratos

Mezcla de sustrato en su condición inicial, y modificada en el proceso de producción por el contenedor usado	Porosidad (%)		
	Total	De aireación	Retención de humedad
Inicial sin fertilizante (T1)	93.3	21.5	71.7
Inicial con fertilizante (T2)	91.0	26.9	64.1
Negro-liso (T3)	80.7	22.6	58.0
Negro Aberturas laterales (T4)	74.4	13.6	60.7
Transparente Liso (T5)	76.7	10.3	66.5
Transparente Aberturas laterales (T6)	79.2	15.6	63.6
Blanco liso (T7)	73.2	10.5	62.8
Blanco Aberturas laterales (T8)	74.5	16.8	57.7

Porosidad Total

La porosidad total de la mezcla de sustrato de las diferentes condiciones analizadas tiene un comportamiento diferenciado al inicio del proceso de producción (T1 y T2) con respecto al final de la producción de planta en vivero (T3 a T8). Es importante mencionar, que los tratamientos con mayor porosidad son el T1, T2, que refieren a la mezcla antes de la producción de planta; en cambio, los tratamientos tres a ocho, sufrieron una disminución aproximada entre el 15 y 20% lo que indica un reacomodo de partículas a lo largo del proceso de producción de planta, por lo que la porosidad, es una característica física que se ve alterada (Figura A-1.1)

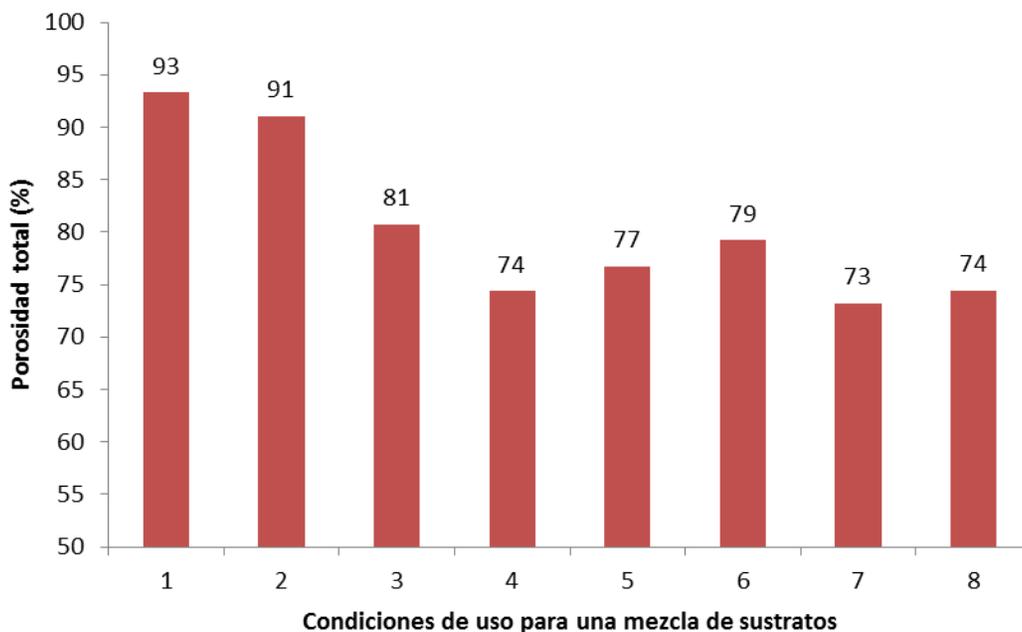


Figura A-1.1. Porcentaje de porosidad total de sustrato en diferentes contenedores.

Porosidad de aireación

La Porosidad de aireación en los tratamientos de sustrato uno, dos y tres, son similares entre sí (Cuadro A-1); los tratamientos restantes, tienen una disminución

similar en la porosidad de aireación, como consecuencia a la disminución del espacio poroso total por el reacomodo de partículas. Es importante mencionar que los tratamientos T4 a T8, por su similitud en el parámetro de porosidad, no hay un efecto significativo por el uso de contenedores con diseño de drenaje y color diferente en la porosidad del sustrato, por lo que esta propiedad se altera de manera indistinta al tratamiento (Figura A-1.2)

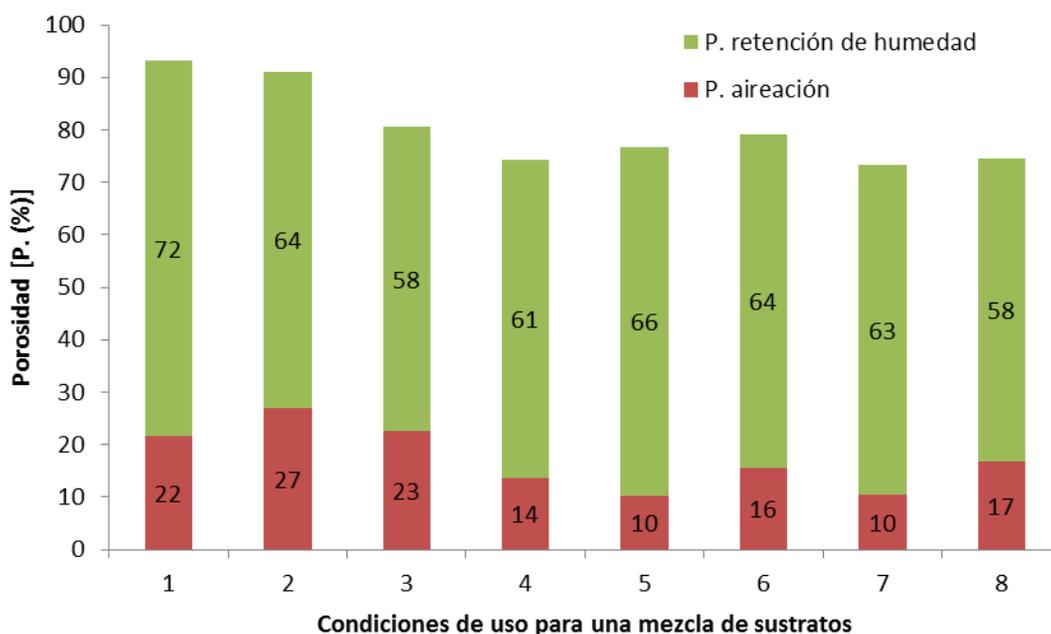


Figura A-1.2. Porosidad total en sus componentes: porosidad de retención de humedad (microporos) y de aireación (macroporos) en una mezcla de sustrato sometida a ocho distintas condiciones de uso

Es importante mencionar que los macroporos son los que se vacían de agua después de que el sustrato ha drenado, permitiendo la aireación de las raíces; el intervalo óptimo de macroporos es de 10 a 30%. Se menciona que valores de 10% pueden causar problemas de oxigenación en las raíces de las plantas ya que las éstas tienden acumularse en las paredes de los contenedores. Es necesario destacar que la mezcla sometida a las ocho condiciones de uso, se encuentra en niveles óptimos en la porosidad de aireación, en particular cuando la mezcla no se ha sometido a ningún uso para la producción de planta (T1 y T2); sin embargo, a

partir de T3 a T8, los valores disminuyen considerablemente siendo cercanos al valor mínimo, como sucede en T5 y T7. De los contenedores utilizados en la producción de planta, el envase negro con drenaje típico (T3) es el que altera, en menor proporción, la porosidad del sustrato, al final de la fase de vivero.

Porosidad de retención de humedad

En la Figura A-1.2. se observan los valores de porosidad de retención de humedad, mismos que mantienen una proporción elevada en el sustrato previo a su empleo en la producción de planta (T1). Con respecto a las condiciones tres a ocho, se observa una disminución de 15 % en promedio, lo que sugiere un reacomodo de partículas durante el proceso de producción de planta en el contenedor. De los envases utilizados, el que reporta un efecto mayor es el blanco de aberturas laterales (disminuyendo un 20% el contenido de microporos), con respecto al valor más elevado (T1) de la mezcla de sustrato. En el mismo sentido, el envase transparente con drenaje típico (T5), reporta el efecto menor (8%) en la alteración de la porosidad. Dentro de los contenedores con valores extremos se ubican los demás envases experimentados (Cuadro A-1).

En general se reporta que altos niveles de porosidad (mayores al 80%) favorecen el crecimiento de las raíces, lo que también repercute en forma positiva sobre el desarrollo de la parte aérea de las plantas. También una porosidad elevada de microporos permite una mayor retención de agua en el sustrato, lo cual tiene efectos positivos en el manejo de las plantas al reducir la frecuencia de riegos en el vivero. En este sentido, la mezcla de sustratos utilizada mantiene un valor superior al 80%, por lo que la producción de planta con este sustrato, no supone problemas por el efecto de la porosidad.

Al final de la fase de producción de planta en vivero, se observa una disminución en la porosidad del sustrato en los seis contenedores, con porcentajes que llevan a la porosidad por abajo del valor aceptado; sin embargo, dicho efecto no supone

una problemática para la planta en el contenedor, toda vez que la permanencia de la planta en el envase ha llegado a su fin.

Densidad aparente.

En la producción de planta forestal de contenedor, se considera que una densidad aparente baja es conveniente por la facilidad de manejo para transporte y manipulación de la planta. En la evaluación de esta propiedad física, se observa valores bajos, particularmente en los reportados en la mezcla inicial (T1 y T2), los cuales corresponden a la mezcla de sustrato previa al uso en los contenedores; en parte, se le atribuye a la porosidad mayor que existe en estos tratamientos lo que reduce la densidad aparente.

Por otra parte, a lo largo del proceso de producción de planta, el reacomodo de partículas en la mezcla, reduce la porosidad del sustrato y eleva ligeramente la densidad aparente (Figura A-1.3.), excepción especial de los envases negro liso y blanco de aberturas laterales (T3 y T8), sin incremento en su densidad aparente, con respecto a la mezcla inicial.

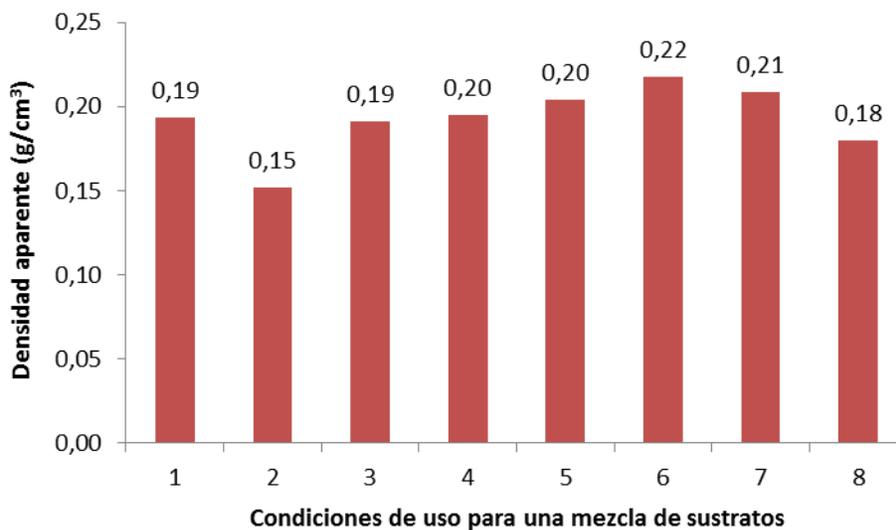


Figura A-1.3. Densidad aparente de ocho tratamientos en una mezcla de sustrato.

Granulometría.

El resultado del análisis granulométrico de las ocho condiciones de uso de la mezcla de sustratos, en la Figura 4 se observa la concentración de partículas, en mayor proporción, en el tamíz de 1 a 1.2 mm. La muestra compuesta hace referencia al análisis conjunto de la mezcla al final de la etapa de vivero, donde se observa una disminución del tamaño de partículas (cuyos valores tienden a ser mayores en los tamices más pequeños), por lo que las partículas y agregados en el sustrato, sufren un reacomodo durante el proceso de producción de planta y las partículas tienden a fracturarse, lo que explica la concentración, ligeramente mayor, de partículas de menor tamaño, con respecto al sustrato previo a su uso (Figura A.1.4.)

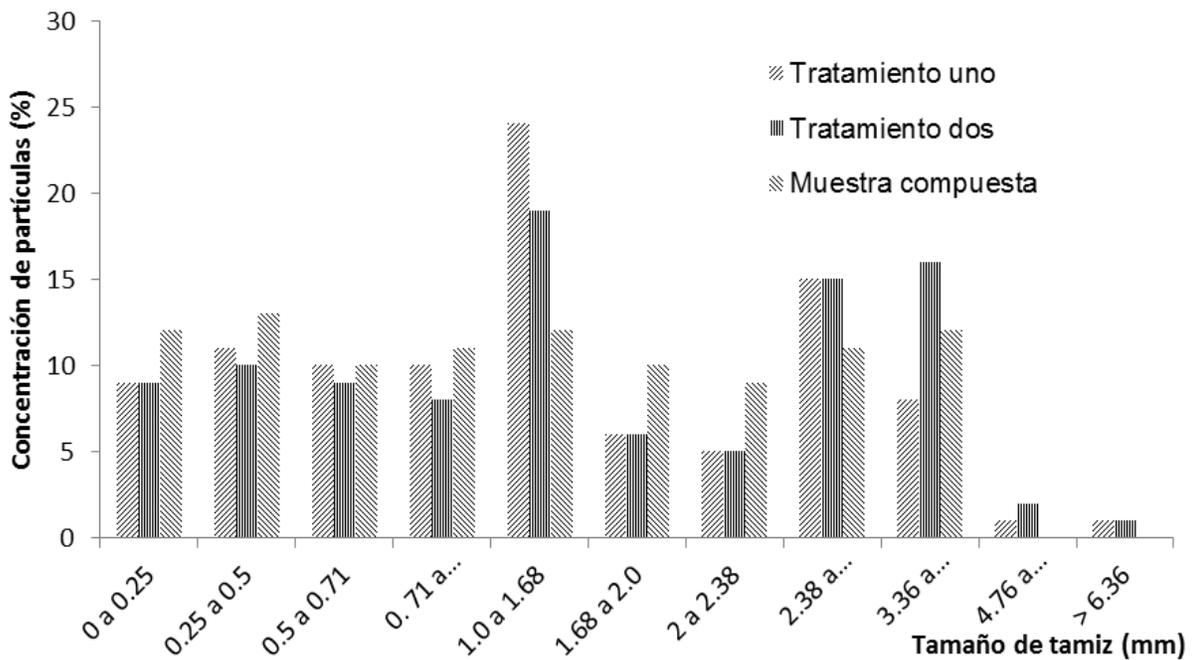


Figura A-1.4. Concentración de partículas en diferentes tamices, de la mezcla de sustratos.

Anexo 2.

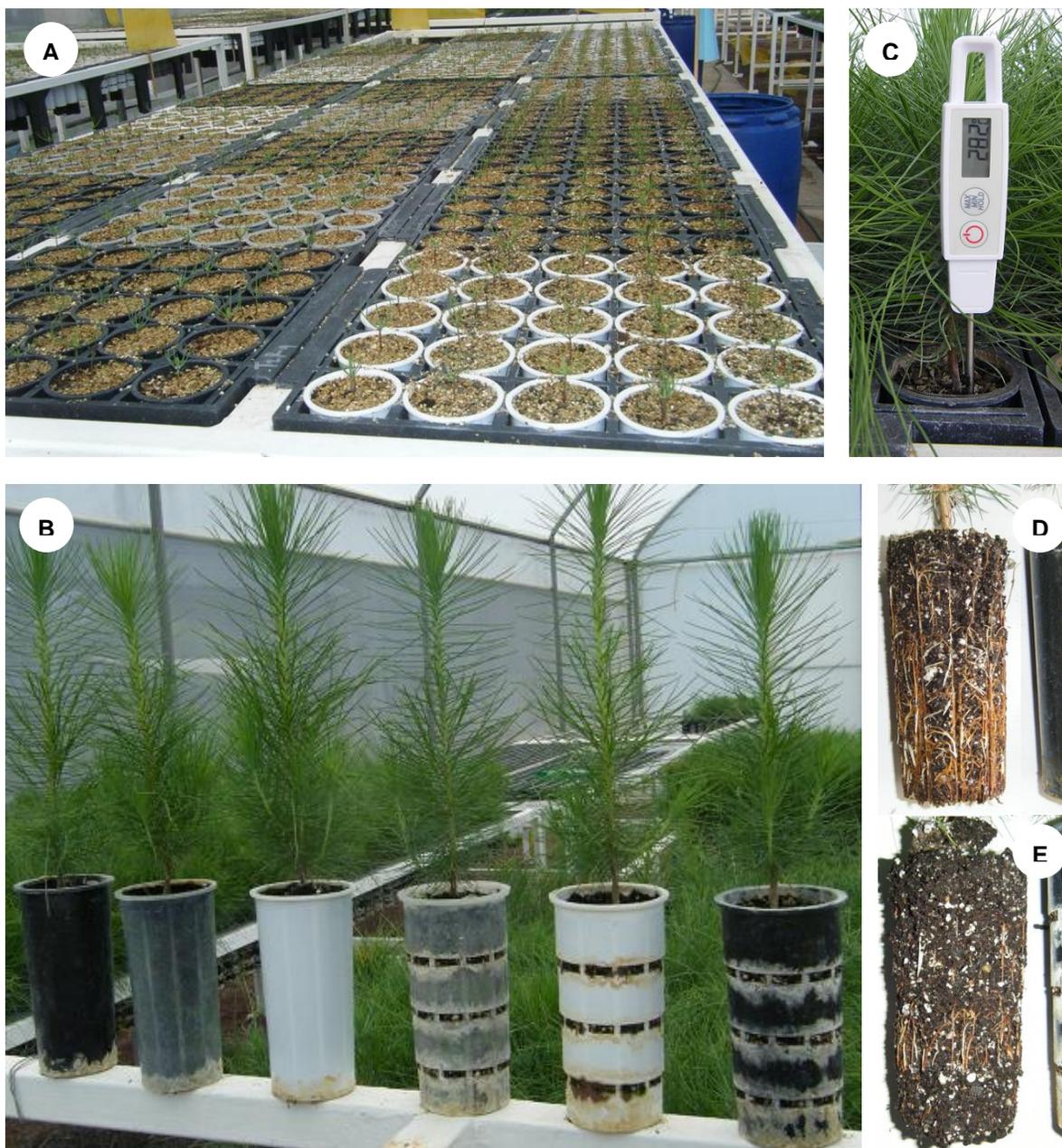


Figura A-2: **A.** Siembra en contenedores de experimento para una especie en diseño experimental completamente al azar. **B.** Contenedores usados en los experimentos, agrupados por los factores color (negro, transparente y blanco) y diseño (liso o típico y aberturas laterales). **C.** Monitoreo de temperaturas alcanzadas en los envases, con el uso de termómetro de vástago. **D** y **E.** Aspecto general de cepellón después de seis meses de su permanencia en el envase liso (D), y en aberturas laterales (E).

Anexo 3.

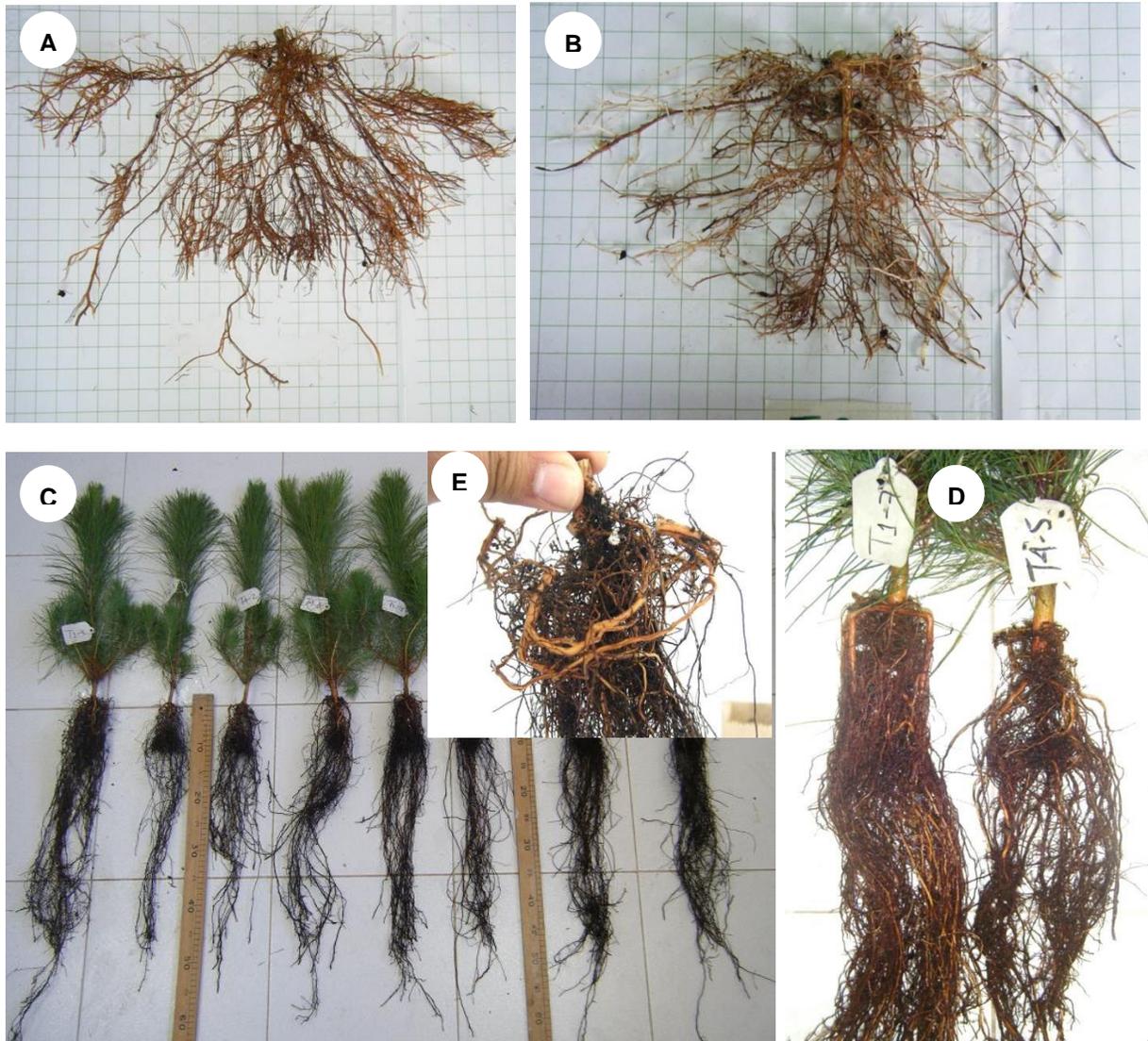


Figura A-3: **A** y **B**. Comparación en plantas de vivero de dos sistemas radicales producidos en los diseños de envases liso en A, y aberturas laterales en B; las raíces largas que se observan en A son del tipo envolventes del eje principal. **C**. Extracción de plantas completas del sitio de plantación para la evaluación de la arquitectura de raíz. **D**. Comparación de dos sistemas radicales de plantas que en el vivero se produjeron en envases lisos (planta izquierda) y aberturas laterales (derecha), en ambos casos se observa el efecto del envase en la estructura del sistema radical del árbol en la plantación. **E**. Raíces laterales envolventes características de envases lisos, en árboles a seis meses de su establecimiento en plantación.

Anexo 4.

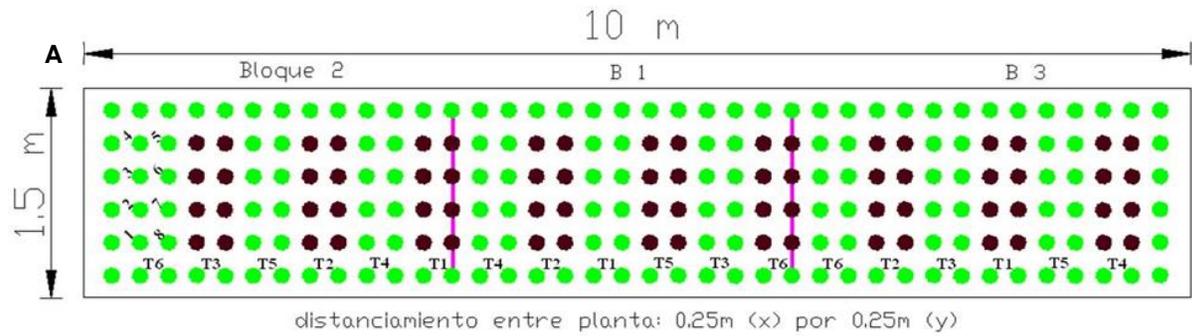


Figura A-4: **A.** Esquema de establecimiento de planta por tratamientos en diseño experimental de bloques al azar. **B.** Apertura de cepas. **C.** Detalle del cepellón de planta. **D.** Panorámica de plantación al final de su establecimiento.

Anexo 5.



Figura A-5: **A.** Plantación de *P. greggii* a un año de su establecimiento en campo. **B.** Mortalidad de planta por estrés hídrico. **C.** Muestreo de suelo para determinar humedad gravimétrica. **D.** Etiquetado de plantas y preparación de muestras para evaluación de crecimiento relativo en diámetro y altura, y biomasa aérea, al final de la etapa de plantación. **E.** Desglose de la biomasa aérea en sus principales componentes: ramillas basales y del tallo, y ramas de verticilos.