

Universidad de Guadalajara

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias



“EFECTO DE CONTENEDOR EN LA CALIDAD DE PLANTA DE *Pinus hartwegii* Lindl., PARA REFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL NEVADO DE COLIMA”.

TESIS PROFESIONAL
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LIC. EN BIOLOGÍA

PRESENTA

Nancy Díaz Echavarría

Director: Dr. Eduardo Salcedo Pérez

Asesor: Dr. Efrén Hernández Álvarez

Asesor: Dr. Ramón Rodríguez Macías

Zapopan, Jalisco a 7 de Octubre de 2013



Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Coordinación de Carrera de la Licenciatura en Biología

COORD-BIO-060/2012

C. NANCY DÍAZ ECHAVARRÍA
PRESENTE

Manifestamos a usted, que con esta fecha, ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de **TESIS E INFORMES** opción: **Tesis**, con el título **"EFECTO DE CONTENEDOR EN LA CALIDAD DE PLANTA DE *Pinus hartwegii* Lindl., PARA REFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL NEVADO DE COLIMA"**, para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos, que ha sido aceptado como director(a) de dicho trabajo al **Dr. Eduardo Salcedo Pérez** y asesores al **Dr. Efrén Hernández Álvarez**, y **Dr. Ramón Rodríguez Macías**.

Sin más por el momento, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"

Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jal., 29 de marzo, del 2012.


DRA. TERESA DE JESÚS ACEVES ESQUIVIAS
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN


M.C. GLORIA PARADA BARRERA
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México. C.P. 45110. AP 39-82. Tels. (01-33) 37771150, 36820374, ext. 3254. Fax. 37771159

Dra. Georgina Adriana Quiroz Rocha.
 Presidente del Comité de Titulación.
 Licenciatura en Biología.
 CUCBA.

Presente

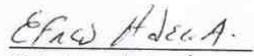
Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad de Tesis e Informes, opción Tesis, con el título: **"EFECTO DE CONTENEDOR EN LA CALIDAD DE PLANTA DE *Pinus hartwegii* Lindl., PARA REFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL NEVADO DE COLIMA"**, que realizó la pasante Nancy Díaz Echavarría, con número de código 302181452, consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

Atentamente
 Las Agujas, Zapopan, Jalisco, a 9 de julio de 2013.



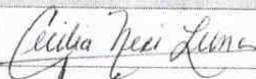
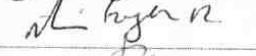
Eduardo Salcedo Pérez
 Director de tesis



Efrén Hernández Álvarez
 Asesor



Ramón Rodríguez Macías
 Asesor

Nombre completo de los Sinodales asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobado	Fecha de aprobación
Dra. Cecilia Neri Luna		12/09/2013
Dr. Agustín Gallegos Rodríguez		11/08/2013
Dr. Francisco Zamora Natera Supl.		09-Julio-2013
Dr. Ramón Rodríguez Macías		09-Julio-2013

----- Agradecimientos -----

A la Universidad de Guadalajara por la oportunidad de estudiar y desarrollarme en la máxima casa de estudios del estado.

Al Dr. Eduardo Salcedo Pérez, por su preocupación, por llevarme de la mano (literalmente) a la culminación de mis estudios de licenciatura, y por darme el impulso que necesitaba para continuar con mi siguiente reto.

A la M. C. Rosario Marilú Bernaola Paucar, por su valiosa aportación este trabajo, sin la cual no se hubiera realizado.

A los Dres. Cecilia Nerí Luna, Ramón Rodríguez Macías, Francisco Zamora Natera, Efrén Hernández Álvarez y Agustín Gallegos Rodríguez por la asesoría brindada en la revisión de la tesis y por su inestimable ayuda para terminar la licenciatura.

Al Patronato del Parque Nacional Nevdo de Colima, en especial al Biol. José Villa Castillo, por las facilidades otorgadas para la realización de esta investigación.

A los Dres. Ricardo Manríquez González, Juan Carlos Meza Contreras, Hilda Palacios Juárez, Guillermo Ochoa Ruíz, Ricardo González Cruz, Teófilo Escoto García, Antonio Vázquez García, Mario Ruíz López, Pedro García López y demás personas que me han apoyado en lo que he necesitado. Gracias por sus consejos y por los buenos momentos que hemos pasado.

Al equipo Topo: M. C. Irma Delgado, M. C. David Sánchez y Biol. Isidro Zapata. Todos los trabajos, los viajes y las aventuras son recuerdos que no se olvidan. A la M. C. Alina Ypushima, por su constante motivación para terminar la tesis y por los gratos momentos compartidos. A la Q.F.B. Lourdes Arvízu, por su disposición para ayudarme. Gracias amigos por todo su apoyo.

A toda mi familia, en especial a mi papá, a Gaby, Omar, Erika, Nora y Juan por hacerme sentir que lo que hago es valioso, que soy importante y por no dejarme caer.

----- Dedicatorias -----

A mis papás, Hermílo Díaz Del Ángel y María Elena Echavarría Hernández⁺, que sin su cariño y comprensión tal vez no estaría donde estoy ni sería quien soy.

A ti papá, por inculcarme el amor al estudio.

A usted, Dr. Eduardo Salcedo, por que gracias a sus enseñanzas he podido ampliar mi visión del mundo y por su apoyo incondicional para concluir esta etapa de mi vida, lo cual me llena de gran satisfacción.

Contenido

ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Descripción de la especie.....	3
2.2. Reforestaciones con fines de restauración ambiental.....	4
2.3. Sistemas de producción de planta forestal.....	6
2.4. Importancia del volumen del contenedor.....	6
2.5. Concepto de calidad de planta.....	9
2.5.1. Criterios morfológicos.....	10
2.5.2. Criterios fisiológicos.....	11
3. JUSTIFICACIÓN.....	13
4. OBJETIVOS.....	14
4.1. Objetivo general.....	14
4.2. Objetivos específicos.....	14
5. HIPÓTESIS.....	14
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
6.1. Localización y descripción de los viveros de estudio.....	15
6.2. Materiales físicos y biológicos.....	15
6.3. Diseño experimental.....	18
6.3.1. Tratamientos.....	18
6.4. Selección de plantas y evaluación de las variables de crecimiento.....	19
6.5. Índices de calidad.....	20
6.7. Análisis estadístico.....	21
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22

7.1. Efecto del volumen de contenedor en las variables de crecimiento.....	22
7.1.1. Altura total.....	22
7.1.2. Diámetro	24
7.1.3. Volumen aéreo.....	26
7.1.4. Volumen de raíz	27
7.2. Índices de calidad de planta.....	30
8. CONCLUSIONES	34
9. RECOMENDACIONES	35
10. LITERATURA CITADA.....	36
11. Anexo 1	1
12. Anexo 2.....	1

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características de los contenedores.-----	16
Cuadro 2. Propiedades físicas del sustrato (corteza de pino).-----	17
Cuadro 3. Descripción de los tratamientos.-----	19
Cuadro 4. Índices de calidad de planta en <i>Pinus hartwegii</i> .-----	31
Cuadro 5. Valores determinados para calificar la calidad de planta con crecimiento normal en viveros forestales de clima templado en Michoacán.-----	32
Cuadro 6. Cociente Volumen de contenedor / volumen de raíz (VC/VR).-----	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Pinus hartwegii</i> Lindl.-----	4
Figura 2. Diagrama de flujo para la implementación del sistema de doble trasplante.-----	8
Figura 3. A) Contenedor de charola con capacidad de 0,160 L en vivero Masvi. B) Comparación de contenedores de 1 y 5 L. C) Vista interior del contenedor de 5 L.----	16
Figura 4. Efecto del volumen de contenedor sobre la altura de las plantas.-----	24
Figura 5. Efecto del volumen de contenedor sobre el diámetro de las plantas.-----	26
Figura 6. Efecto del volumen de contenedor sobre el volumen aéreo de las plantas.---	27
Figura 7. Efecto del volumen de contenedor sobre el volumen de raíz de las plantas.-	30

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del volumen del contenedor sobre los parámetros de calidad en planta en *Pinus hartwegii*; los cuales son tratados bajo el sistema de doble trasplante que se lleva a cabo en el Parque Nacional Nevado de Colima. La calidad de planta se valoró midiendo la altura, diámetro del cuello de la raíz, volumen de la biomasa aérea y de raíz, además, se aplicaron los índices de Dickson, de robustez y relación parte aérea/raíz. Se evaluaron cinco tratamientos con tres repeticiones de cinco unidades experimentales y los datos fueron analizados mediante un ANOVA y comparación de medias por Least Significant Difference. Los resultados indican que el volumen del contenedor influyó sobre las características morfológicas y por lo tanto, en los índices de calidad de las plantas de *P. hartwegii*, donde los contenedores de 1 L (T2) y 5 L (T3 y T4), proveen plantas más grandes y de mayor calidad. Por lo que el volumen del contenedor es el factor más importante que afecta la calidad de planta, ya que controla la cantidad y la longitud de raíces que ésta puede producir en un determinado tiempo, esto es importante porque una vez establecidas las plantas en el terreno, dependen de las características y función de sus raíces para la absorción de agua y nutrimentos, por lo anterior, el trasplante a contenedores de mayor tamaño pueden ser una alternativa interesante para lugares con gran necesidad de éxito en sobrevivencia e incluso para plantaciones de tipo comercial.

1. INTRODUCCIÓN

Las áreas forestales de México (bosques, selvas, zonas áridas, manglares, etcétera) juegan un papel muy importante en el balance ecológico del planeta, además de brindar numerosos bienes y servicios a la sociedad mexicana. Dichas áreas ocupan 138 millones de hectáreas, lo que representa el 70.4% del territorio nacional (PND, 2009).

Pese a su importancia, los recursos forestales del país han sido objeto de grandes impactos por causas diversas, pero las más perjudiciales son de tipo antropogénico. Dichos efectos negativos, ocasionan que cada vez haya mayores áreas deforestadas, donde en el mejor de los casos, se debe a aprovechamientos maderables intensos.

Una de las estrategias del Gobierno Federal para la conservación y restauración de los recursos forestales de México ha sido el impulso de la reforestación, la conservación y restauración de suelos forestales (PND, 2009).

Cuando se inicia la planificación de un programa de reforestación, se deben considerar diversos factores, entre los que destacan: 1) las condiciones edáficas y climáticas del sitio por reforestar; 2) la especie a utilizar y su procedencia; 3) el sistema de producción de plantas. Esta información es de suma importancia para cumplir los objetivos de reforestación. En este sentido, contar con planta forestal de calidad, permite acrecentar la probabilidad de éxito (Pineda-Ojeda *et al.*, 2004; Bernaola, 2012).

El concepto de calidad de planta ha tomado cada vez mayor importancia dentro del quehacer forestal, sobretodo en la producción de vivero, debido a que se requiere que la planta reúna características morfológicas y fisiológicas sobresalientes que aumenten la sobrevivencia y establecimiento en campo de las plantaciones. La calidad de planta se puede definir como la capacidad de una planta forestal para alcanzar las expectativas de supervivencia y crecimiento en una condición particular, según los objetivos e intereses de reforestación o de producción (Duryea, 1985).

Para producir planta adecuada al sitio de reforestación, no sólo se requiere atender el proceso de producción, sino también el proceso intermedio de aclimatación para lograr un desarrollo adecuado de la especie para las condiciones del sitio por reforestar (Salcedo *et al.*, 2012); en este sentido, el tamaño del contenedor es de suma importancia, ya que

define el espacio de crecimiento de las plantas. El volumen del contenedor influye en el crecimiento del sistema radical, a través del cual las plantas absorben el agua y los nutrimentos. En el caso de *Pinus hartwegii*, que se establece en altitudes superiores a 3,000 m s. n. m.; es deseable producir árboles más resistentes a factores adversos, como las heladas, para asegurar su supervivencia con miras a aprovechar espacios difíciles, debido a su localización geográfica.

Por lo tanto, el propósito de esta investigación fue evaluar el efecto que tiene el tamaño del contenedor en las propiedades morfológicas de *Pinus hartwegii* dentro del sistema de doble trasplante que se lleva a cabo en el Parque Nacional Volcán Nevado de Colima.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción de la especie

Pinus hartwegii Lindl. (*P. hartwegii*, Figura 1) es una especie comúnmente conocida como ocote, pino de las alturas o de las altas montañas, se encuentra confinado en los picos y montañas más altas de México, siendo más frecuente en la Sierra Nevada. La especie se ubica entre los 16°20' a 25°03'N y 92°20' a 103°55'O. La altitud en la que se encuentra en su hábitat natural varía entre los 3000 y 4000 m s. n. m. Es frecuente encontrar este pino en masas puras o asociado con *Pinus rudis* Lindl., *P. montezumae* Lamb., *P. ayacahuite* var. *veitchi* Shaw., *P. pseudostrobus* Lindl., *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. y *Alnus firmifolia* Ferm. (Musálem y Solís, 2000).

El pino de las altas montañas es un árbol de 15 a 30 m de altura, de corteza agrietada, color pardo rojizo, con ramas extendidas y colocadas irregularmente, las ramillas son muy ásperas, con las bases de las brácteas muy largas y fuertes. El número de hojas en la forma típica es de 3, aunque también aparece 5 como cifra constante; miden de 8 a 16.5 cm de largo, color verde claro, medianamente gruesas y carinadas con los bordes aserrados, siendo los dienteclillos muy pequeños y próximos. Las yemas son largamente ovoides, agudas, de color moreno rojizo. Los conos son ovoides, acuminados, levemente encorvados y algunas veces extendidos, por lo común de 8 a 10 cm de largo, pero la cifra varía de 7 a 14 cm y presentan promedio de 3.73 cm de diámetro y son de color rojizo muy oscuro. Las semillas son negras, pequeñas de 5 a 7 mm de largo con ala café oscuro de 15 mm de largo por 5 mm de ancho (Musálem y Solís, 2000).

P. hartwegii se desarrolla en climas templados, subhúmedos, mesotermos, con lluvias deficientes en invierno. Las precipitaciones oscilan entre 700 a 1,800 mm, pero los mejores rodales se encuentran entre 1000 a 1,200 mm anuales. La temperatura media es de 12°C, con extremas máximas de 38°C y mínimas de -12°C. Habita tanto en terrenos planos como ondulados y escarpados, creciendo sobre suelos profundos ricos en materia orgánica, buen drenaje, textura franca y migajón arenosa (Musálem y Solís, 2000).

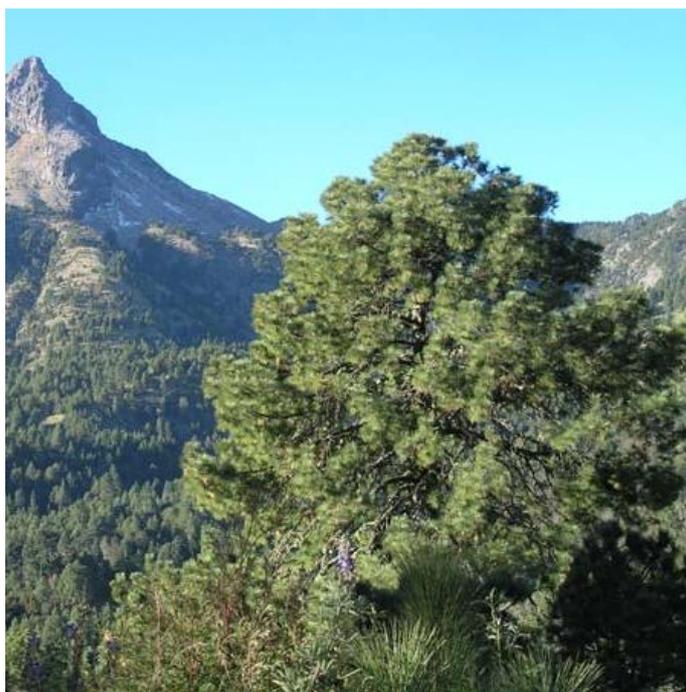


Figura 1. *Pinus hartwegii* Lindl. (Tomado de The Gymnosperm Database, 2013).

2.2. Reforestaciones con fines de restauración ambiental.

México se caracteriza por tener una amplia superficie forestal que ocupa 138 millones ha, lo que representa el 70.4% del territorio nacional (PND, 2009). Sin embargo, se han impactado de manera importante las áreas naturales provocando la deforestación y por consiguiente la pérdida de los recursos naturales.

La deforestación es un fenómeno que se ha manifestado gradualmente y se ha agudizado en los últimos años, trayendo como consecuencia una reducción notable en la superficie de las selvas de México y el mundo (Sánchez y Rebollar, 1999).

En el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 se plantea que la deforestación neta anual de los ecosistemas arbolados (bosques y selvas) en México para el periodo 1990-2000, fue de 348 mil ha al año (0.5%), mientras que para el periodo 2000-2005 la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) estimó una proyección de 260 mil ha por año (0.4%) (PND, 2009).

La velocidad de remoción del arbolado en los bosques, debida a la extracción o a cambios en el uso del suelo, excede la capacidad de repoblación natural en la mayoría de los sitios forestales. Los programas de reforestación, ahora reconocidos como “proceso integral de reforestación” (CONAFOR, 2010) han sido la respuesta a este problema, de modo que en la actualidad se cuenta ya con algunas técnicas y procedimientos estandarizados para la producción de plantas en los viveros de México (Román *et al.*, 2001).

Durante el 2009, la reforestación en México cubrió 213,174 ha de las cuales 176,904 son con fines de restauración y 36,270 corresponden a plantaciones comerciales, en las 32 entidades federativas del país, lo que significó 0.11% en relación a la superficie del territorio nacional y 1.33%, con respecto a la superficie forestal con procesos de deterioro. Esto es, se logró el establecimiento de 181.2 millones de plantas de diversas especies (PND, 2009). Sin embargo, la supervivencia es el asunto clave para lograr el éxito de éstos programas, lo cual depende en gran medida de la calidad de planta, misma que hasta hace algunos años no se consideraba un aspecto crítico en los sistemas de producción de los viveros, que deben garantizar dicho factor. Por ello, es necesario que se tengan siempre en cuenta los atributos morfológicos y fisiológicos que deben tener las plantas al salir del vivero. (Duryea, 1985; Prieto-Ruiz *et al.*, 2007).

El buen desarrollo en el vivero, tomando en cuenta propiedades morfológicas y fisiológicas, son algunos indicadores técnicos que permiten conocer la calidad de la planta. Si ésta es deficiente, la supervivencia y/o el crecimiento disminuye, lo que implica más tiempo para lograr que las reforestaciones prosperen y en consecuencia los costos de plantación aumentan (Landis, 2002).

Algunos estudios reportan un porcentaje de mortandad del 50% en coníferas, para áreas de suelos considerados degradados en la región central de México (Sierra y Rodríguez, 1996, citado por Pineda-Ojeda *et al.*, 2004). Entre las causas asociadas al alto porcentaje de mortandad están: 1) las inadecuadas prácticas de cultivo durante la producción de planta en vivero; 2) la baja calidad; 3) la falta de adaptabilidad antes de ser llevadas a campo; 4) la falta de seguimiento y atención silvícola durante los primeros años después de su establecimiento (Ritchie, 2002).

2.3. Sistemas de producción de planta forestal.

En México, la mayor parte de la producción de especies forestales en vivero o invernadero se realiza para suministrar las plántulas requeridas en trabajos de reforestación y para que comunidades con aprovechamientos forestales cumplan los compromisos de plantación (Mexal, 1996); debido a esto, se ha optado por producir plántulas a un menor costo. Sin embargo, el éxito de los trabajos de reforestación está restringido a sitios que presentan bajas o moderadas condiciones de estrés o donde se puede proteger a las plántulas contra las adversidades ambientales (Owston, 1990).

Las especies forestales tradicionalmente han sido divididas en dos diferentes tipos de producción: 1) plántulas a raíz desnuda, que se cultivan en suelo de la región y a campo abierto; y 2) plántulas en contenedor, donde la planta se produce en contenedores con sustrato artificial, en invernadero o a cielo abierto (Landis y Scholtes, 2003). Debido a que el volumen del sustrato es relativamente pequeño, las raíces se aglutinan conformando un cepellón uniforme (Landis *et al.*, 2002).

Respecto a la producción en contenedor, hasta principios de 1990 prevaleció el sistema tradicional, caracterizado por producir plantas en condiciones ambientales de intemperie, en bolsas de polietileno con volúmenes de 300 a 800 cm³; mientras que a partir de la década de 1995 a 2005, se ha desarrollado el cultivo en envase rígido, que considera condiciones controladas como es un invernadero y volúmenes de 50 a 250 cm³ (Prieto *et al.*, 2004).

Una de las razones por las cuales el sistema de producción de planta en envase es el más utilizado se debe a las pocas restricciones técnicas que existen para lograrlo adecuadamente en la mayoría de las especies forestales (Prieto y Sánchez, 1991).

2.4. Importancia del volumen del contenedor

Dentro de los sistemas de producción, el contenedor es uno de los principales factores que influye en la calidad final de la planta. El diseño y el material del que está fabricado condiciona algunas variables como la dimensión de la planta, la formación del sistema radical, el número de plantas a cultivar por superficie, la cantidad de sustrato a utilizar, el

número de cultivos, el desembolso económico, etc. Pero además condiciona el establecimiento de la planta en campo (Domínguez, 2000).

El volumen del contenedor es la característica más importante que afecta la calidad, ya que controla la cantidad y la longitud de raíces que una planta puede producir; de igual manera, limita la humedad y las reservas de nutrimentos que las plantas podrán tomar una vez trasplantadas al lugar definitivo (Ritchie *et al.*, 2010). Además, la profundidad es también destacable para el desarrollo del sistema radical. Esta elección es importante, ya que existen especies que tienden a tener grandes crecimientos y por tanto exigen envases de mayor dimensión (Montoya y Cámara, 1996).

En general, cuanto más grande es el envase, mayor es el tamaño de la planta que se puede producir (Krause, 2005). Por ejemplo, Prieto *et al.* (2004) cultivaron *Pinus cooperi* Blanco en envases con diferente volumen, de 80 y 170 cm³, encontrando que las plantas producidas en los contenedores de 170 cm³ fueron estadísticamente superiores a las de 80 cm³ en altura, diámetro y producción de fitomasa a los 8 meses de edad. Estos datos resaltan la importancia que tiene el volumen en el crecimiento de las plantas.

Sin embargo, los viveros forestales tratan de producir planta de la mayor calidad de la forma más eficiente posible, desde un punto de vista económico. En este sentido, el envase ideal de cualquier viverista es aquel que produzca plantas aceptables y con la densidad de crecimiento más alta, en una duración de tiempo lo más corta posible y que sean aptas a la zona de plantación (Birchler *et al.*, 1998; Krause, 2005).

No obstante, cuando las plantas producidas en el sistema de contenedores, después de un año de crecimiento en vivero, son demasiado pequeñas y no satisfacen las características morfológicas (altura, diámetro, etc.) para llevarse al campo, se pueden trasplantar a contenedores más grandes (Pineda-Ojeda *et al.*, 2004). Los sistemas de trasplante contenedor-contenedor mejoran la constitución morfológica, obteniendo plantas más grandes con un sistema radical más fibroso y follaje más vigoroso, lo que incrementa el porcentaje de supervivencia y crecimiento en campo (Hahn, 1984; Dumroese *et al.*, 1998), aunque esto implica mayor tiempo, inversión económica y espacio dentro del vivero (Owston, 1990).

Una aportación relevante es la que hacen Salcedo *et al.* (2012) con su propuesta del sistema de reforestación llamado “Doble trasplante”, cuyo principal propósito es lograr mejores resultados en los programas de reforestación en sitios que presenten condiciones edáficas y ambientales adversas, tratando de garantizar una mayor supervivencia de los árboles en campo (Figura 2). Esta metodología comprende seis etapas definidas:

- 1) Producción de planta en viveros intensivos tecnificados.
- 2) Acondicionamiento de la planta en un vivero volante (primer trasplante).
- 3) Preparación del sitio por reforestar.
- 4) Establecimiento de los árboles en campo (segundo trasplante).
- 5) Seguimiento y mantenimiento de la reforestación.
- 6) Evaluación de los resultados del proceso.

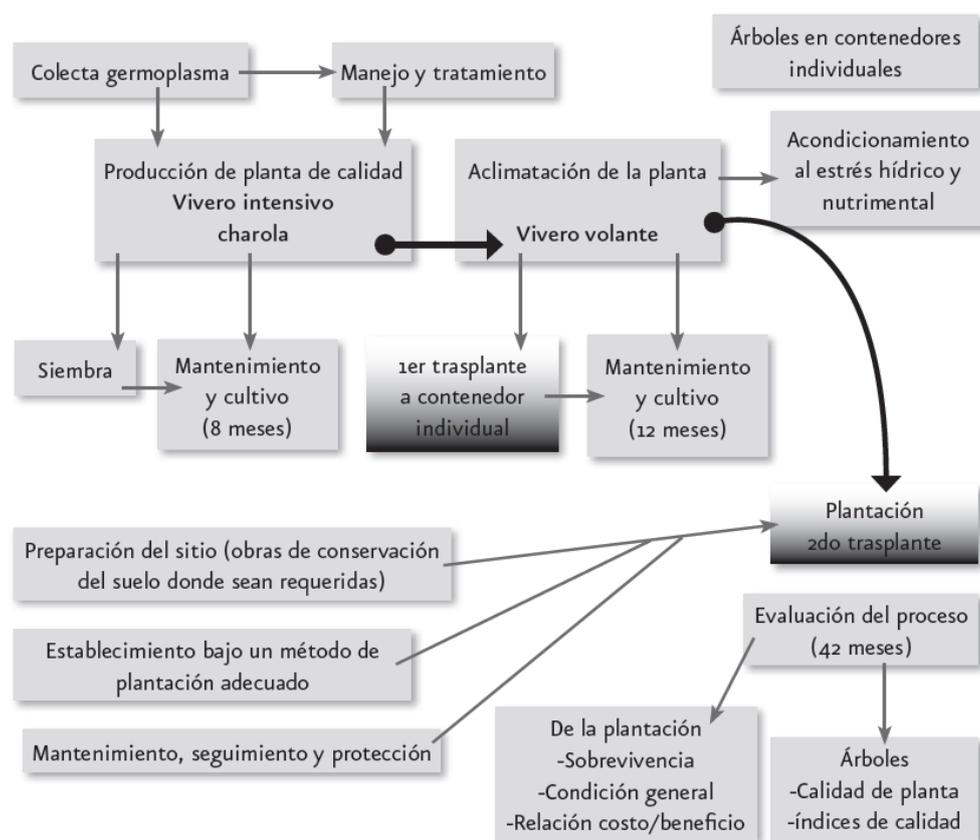


Figura 2. Diagrama de flujo para la implementación del sistema de doble trasplante (Tomado de Salcedo *et al.*, 2012).

Uno de los puntos claves de este sistema, es sin duda la necesidad de aclimatar las plantas que serán utilizadas en el programa de reforestación para lograr un mejor desarrollo. Esta acción constituye el paso de la plántula producida en charolas a contenedores individuales donde serán cultivadas en un vivero volante cercano a los sitios de plantación. En la elección del contenedor, se debe considerar la forma y tamaño adecuados para la especie en cuestión; además, en sitios con precipitaciones menores a 800 mm al año y poca humedad ambiental, el volumen debe ser máximo de 2 L, puesto que en la época seca es posible que no se cubra la demanda hídrica para árboles de mayor tamaño. En sitios con condiciones de alta precipitación se podrán utilizar contenedores de más capacidad (Salcedo *et al.*, 2012).

El doble trasplante ofrece una buena alternativa para los lugares que presentan condiciones desfavorables y en donde las plantas que se utilizan comúnmente para reforestación no tienen mayor probabilidad de supervivencia. Por lo tanto, cabe mencionar que “resulta más provechoso producir menos árboles que sean sanos y vigorosos en lugar de muchos árboles de mala calidad” (Wightman y Santiago, 2003).

2.5. Concepto de calidad de planta

El concepto de calidad de planta ha adquirido cada vez mayor importancia en México ante las bajas tasas de supervivencia registradas en los programas de reforestación. La palabra calidad designa el conjunto de atributos o propiedades de un objeto que nos permiten emitir un juicio de valor acerca de él, son las características requeridas para su óptimo uso por los consumidores. En este sentido, podemos definir la calidad de planta en función de su capacidad para establecerse y prosperar en el lugar definitivo de plantación; esto es, las plantas deben reunir las características morfológicas y fisiológicas adecuadas para sobrevivir y crecer satisfactoriamente bajo las condiciones ambientales del sitio en que será plantado (Duryea, 1985; Alarcón, 1999; Mexal y Landis, 1990).

La calidad de planta es el resultado de la interacción entre la genética propia, influenciada por las prácticas culturales (Duryea, 1985). Por lo tanto, la fase de vivero resulta esencial por ser el único lugar donde se puede realizar un control sobre las variables morfológicas y fisiológicas de la planta para hacerla más resistente y vigorosa (Peñuelas y Ocaña, 1996).

Existen diferentes parámetros que se utilizan como estimadores de la calidad de planta, entre los que se encuentran la supervivencia en campo, los criterios morfológicos y los fisiológicos. Además, los índices de calidad han sido propuestos para poder contar con parámetros englobadores de calificación de una plantación forestal, que conduzcan fácilmente a una interpretación de su calidad y se pueda comparar con respecto a otras plantaciones, regiones del país, especies, etcétera (Murillo, 2000).

2.5.1. Criterios morfológicos

Altura. Prieto *et al.* (1999) la definen como un indicador de la superficie fotosintética así como de su área de transpiración. Sin embargo, si la planta es muy alta y el tallo no está lignificado tendrá problemas con el viento y la lluvia. Se ha establecido que para coníferas no cespitosas, la altura fluctúa entre 12 a 25 cm (CONAFOR, 2009).

Diámetro del tallo. Nos da una aproximación de la resistencia mecánica y se asocia al desarrollo del sistema radical. Un diámetro superior indica mayor transporte de agua, nutrientes y de sustancias derivadas de la fotosíntesis. También, el diámetro de las plantas coníferas está relacionado con la cantidad de sustancias de reserva, por lo que esta variable representa un buen parámetro de predicción de la supervivencia y el desarrollo en campo. (Thompson, 1985; Prieto *et al.*, 1999).

Sistema radical. Cuando se presenta un sistema radical mayor, se puede relacionar con la supervivencia y el vigor de las plantas tras la plantación ya que es un indicador del estado fisiológico actual y además se optimiza la capacidad de absorber agua y nutrientes (Ritchie y Tanaka, 1990; Wenny *et al.*, 1998).

Relación parte aérea/raíz. Se obtiene mediante la división entre el peso seco de la parte aérea y el peso seco de la raíz, es decir, la producción de biomasa, que es importante debido a que refleja el desarrollo de la planta en vivero (Sáenz *et al.*, 2010). Respecto a este índice, una relación igual a uno significa que la biomasa aérea es igual a la subterránea; pero si el valor es menor a uno, entonces la biomasa subterránea es mayor que la aérea; al contrario, si el valor es mayor a uno, la biomasa aérea es mayor que la subterránea (Rodríguez, 2008). Una buena relación debe fluctuar entre 1.5 y 2.5, ya que valores mayores indican desproporción y la existencia de un sistema radical insuficiente

para proveer de agua y minerales a la parte aérea de la planta; particularmente cuando la precipitación es escasa en los sitios de plantación (Thompson, 1985).

Además, tiene una perspectiva de balance hídrico, es decir, cierta cantidad de área foliar necesita cierta cantidad de raíces para obtener agua del suelo y así compensar la transpiración (Bernier *et al.*, 1997, citado por Maldonado, 2010).

Índice de robustez. Es la relación altura/diámetro y se obtiene al dividir la medida de la altura (en cm) entre el diámetro (en mm). Este coeficiente, también llamado de esbeltez, estima el grado de resistencia de las plantas a factores ambientales adversos. En coníferas, el valor para este índice debe ser menor a seis, pues se hace referencia a que valores menores indican plantas más bajas y gruesas, y superiores a seis indican tallos elongados con diámetros delgados (Prieto *et al.*, 2003; Rodríguez, 2008).

Índice de calidad de Dickson. Éste índice relaciona los dos anteriores con el peso seco total y se obtiene con la siguiente ecuación:

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

Cuanto más alto es el valor de este índice mejor es la calidad, ya que se trata de plantas con mejor balance en sus dimensiones de la parte aérea y radical (Dickson *et al.*, 1960, citado por Maldonado, 2010). Esto es útil al inferir sobre la supervivencia que las plantas tendrán en campo, pues interaccionan varias características morfológicas, generando un indicador muy conveniente del comportamiento en campo a largo plazo (Maldonado, 2010).

2.5.2. Criterios fisiológicos

La fisiología de la planta depende de las condiciones bajo las cuales fue cultivada y tiene relación directa con su comportamiento en el sitio de reforestación. (Alarcón, 1999). La ventaja de los atributos fisiológicos es que proporcionan una medida real del vigor y la resistencia de la planta. Por lo tanto, estas cualidades deben considerarse como complemento a las morfológicas (Mattsson, 1997, citado por Maldonado, 2010).

Estado hídrico. El manejo del riego es una herramienta básica en el vivero, ya que el contenido de agua influye directamente en la germinación, tamaño de la planta y relación parte aérea/raíz; además, existen numerosos periodos en los que las plantas son especialmente sensibles al estrés hídrico. En términos generales, se considera que cuando el follaje tiene contenidos relativos de agua menores de 80%, la planta se encuentra en condiciones de estrés hídrico. (Duryea y Landis, 1984; Prieto-Ruiz *et al.*, 2007; Maldonado, 2010).

Contenido de carbohidratos. Los carbohidratos son productos derivados de la fotosíntesis. La sacarosa (carbohidratos metabólicamente activos) y el almidón (reserva) son los más importantes para evaluar la calidad de planta. En las coníferas, la formación de las nuevas raíces durante las primeras etapas en campo se produce principalmente a partir de los azúcares formados en el momento y utilizan en menor medida los de reserva. Sin embargo, en climas fríos, donde la fotosíntesis se inhibe, las plántulas dependen de la reserva de los carbohidratos para mantener su metabolismo. La falta de reservas en dichas situaciones puede afectar negativamente el desarrollo de las plantaciones (Duryea, 1985; Marshall, 1985; Alarcón, 1999; Maldonado, 2010).

Contenido de nutrimentos. Todos los elementos esenciales son imprescindibles para el mantenimiento de las estructuras y las funciones vitales de las plantas. Cada especie tiene sus requerimientos especiales que le permitirán un crecimiento y vigor óptimos. Sin embargo, dichos requerimientos no son constantes sino que cambian conforme la etapa de desarrollo de planta. La fertilización es una de las técnicas más utilizadas en los viveros forestales, y dado que los macronutrimentos primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) constituyen el 75% de la concentración de nutrimentos de un tejido vegetal, los programas de fertilización están más enfocados en el suministro de dichos elementos. Las plantas que reciben una fertilización elevada y por tanto, presentan una concentración o un contenido (concentración x masa) de nutrimentos minerales elevado en los tejidos, suelen sobrevivir y crecer más después de la plantación que las poco fertilizadas y con un estado nutricional pobre (Oliet *et al.*, 2006; Maldonado, 2010).

Otros autores mencionan además el potencial de crecimiento de la raíz, resistencia al frío y transpiración, como parte de los criterios fisiológicos.

3. JUSTIFICACIÓN

Las técnicas de producción de planta forestal han cambiado drásticamente, teniendo por objetivos lograr una gran producción de individuos con características morfológicas y de calidad uniformes y que los costos de producción sean los menores. Esto ha generado sistemas de producción de planta forestal sumamente eficientes, pero que no toman en cuenta las características edáficas y climáticas de los sitios por reforestar, que en México muchas veces resultan adversas para las plantas producidas. Por ello, es imprescindible que dichos individuos pasen por un proceso de adaptación y aclimatación antes de su establecimiento en el lugar definitivo; esto se puede lograr trasplantando las plantas a contenedores de mayor tamaño y cultivándolas en un sitio cercano al de reforestación.

El volumen del contenedor tiene gran influencia sobre las características morfológicas finales de las plantas, en especial en el desarrollo del sistema de raíz, por lo tanto, evaluar el efecto que tendrá el tamaño de los contenedores sobre el crecimiento de las plantas en el vivero volante (transición) antes de plantarse en campo, es de suma importancia.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del volumen del contenedor sobre el crecimiento y calidad de planta de *Pinus hartwegii* Lindl.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de 3 diferentes volúmenes de contenedor sobre algunas variables de crecimiento en *Pinus hartwegii* Lindl.
- Valorar la influencia del volumen del contenedor sobre los índices de calidad de planta en cada caso evaluado.

5. HIPÓTESIS

Al cultivar las plantas en contenedores de mayor volumen, éstas tendrán mayor crecimiento y por tanto mejores índices de calidad.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización y descripción de los viveros de estudio

El trabajo de investigación se realizó con plantas producidas en el Vivero Forestal “Masvi”, situado en la localidad de San Andrés, municipio de Gómez Farias y cercano a Ciudad Guzmán, Jalisco, a 1527 m s. n. m. y se ubica en las coordenadas 19.814717°N, 103.482772°O; 19.813053°N, 103.482640°O (©Google Earth, 2013). El clima es semiseco, con invierno y primavera secos y cálidos, sin cambio térmico invernal bien definido. La temperatura media anual es de 20°C, con máximo de 27°C y mínima de 12.1°C. El régimen de lluvias se registra en junio y julio, contando con una precipitación media de los 694.4 mm. El promedio anual de días con heladas es de 10, los vientos son variables y generalmente sin intensidad (Gob. Municipal de Zapotlán El Grande, 2013).

Además, se utilizaron plantas llevadas del vivero de producción “Masvi” al vivero volante “Pico del Águila”, para ser cultivadas e inducir su aclimatación; este vivero está ubicado dentro del Parque Nacional Volcán Nevado de Colima a 3389 m s. n. m. Las coordenadas geográficas que encuadran al Parque son: 19° 27'15" y 19° 35'09"N y 103° 34'38" y 103° 39'04"O y se localiza en la región sur del estado de Jalisco a 108 km de Guadalajara rumbo a Ciudad Guzmán (Bernaola, 2012).

El parque presenta 3 tipos de clima: frío, tropical y templado. Su temperatura media oscila en los meses de enero y febrero de 5 a 7 °C; durante el verano la temperatura media va desde 16 a 34°C y en el invierno, entre -2 y 5 °C (Bernaola, 2012).

6.2. Materiales físicos y biológicos

Material físico. En el presente trabajo se utilizaron tres tipos de contenedores (Figura 3), cuyas características se describen en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Características de los contenedores.

Contenedor	Cavidades	Volumen (L)	Material	Dimensiones
Charola	70	0.165	Poliestireno	70 x 30 x 12 cm
Contenedor 1	1	1	Polipropileno	18.5 cm largo 10.7 cm diám. sup. 8.2 cm diám. inf. 118 mm espesor de las paredes
Contenedor 2	1	5	Polipropileno	45 cm largo 17.8 cm diám. sup. 14.5 cm diám. inf. 152 mm de espesor de las paredes

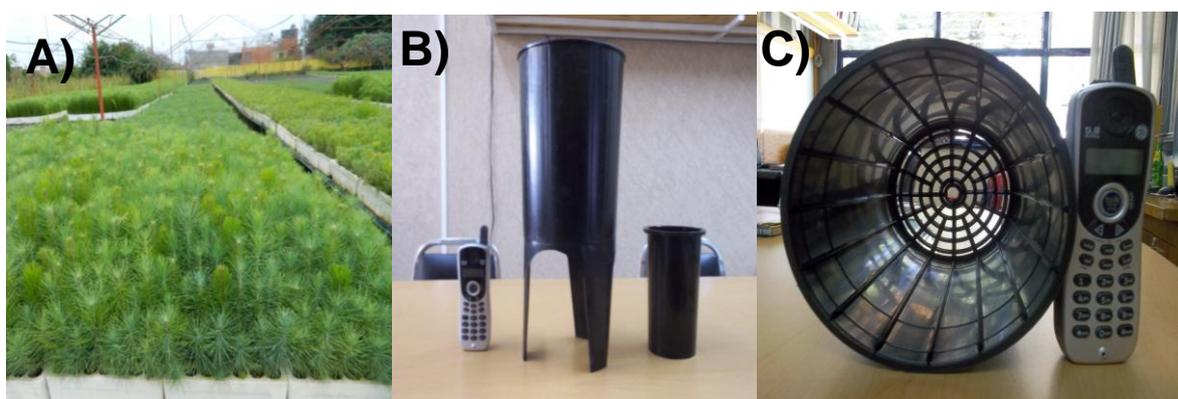


Figura 3. A) Contenedor de charola con capacidad de 0.165 L en vivero Masvi. B) Comparación de contenedores de 1 y 5 L. C) Vista interior del contenedor de 5 L.

El sustrato utilizado para la germinación en el vivero de producción así como el usado para el cultivo de las plantas en el vivero volante, es a base de corteza de pino compostada, producido en el vivero Masvi, cuyas características se describen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Propiedades físicas del sustrato (corteza de pino).

Característica	Valor
Porosidad total (%)	58.97
Porosidad de aireación (%)	18.10
Porosidad de retención de humedad (%)	40.87
Granulometría (mm)	4.70
Densidad aparente (g/ cm ³)	0.25

Fuente: Laboratorio Agrícola - Ciudad Guzmán – 2011 (Tomado de Bernaola, 2012)

Material biológico

La especie en estudio fue *Pinus hartwegii* Lindl. Las semillas se colectaron en el Parque Nacional Nevado de Colima, lugar donde esta especie crece naturalmente. Se tomaron semillas de individuos adultos, vigorosos y con las mejores condiciones. Dicha especie es de importancia para sitios templados, dado que se localiza en el límite superior del rango de distribución del género *Pinus*; es de las pocas especies de coníferas que se desarrollan en las mayores elevaciones sobre el nivel del mar, cumpliendo funciones de protección a otros recursos asociados.

Manejo en vivero de producción y condiciones de cultivo en vivero volante

Para prevenir y controlar posibles patógenos presentes en el sustrato se desinfectó con el fungicida de amplio espectro BUSAN 30 WB (TCMTB-tiacinometiltiobenzotrazol).

Para el trasplante se seleccionaron plantas vigorosas, libres de plagas y enfermedades, estas son colocadas en contenedores de 1 y 5 L, dando un riego hasta llegar al punto de saturación después del trasplante. Al tercer y quinto día después del trasplante se hizo una aplicación de enraizador (RAIZONE PLUS); la dosis utilizada fue de 40 g disueltos en 25 L de agua, distribuidos homogéneamente en todas las plantas.

La periodicidad del riego fue cada 2 días con ayuda de una manguera de 1 pulgada, teniendo un gasto de 1.13 L por un tiempo de 1 h aproximadamente dependiendo de las condiciones climáticas.

La fertilización se llevó a cabo 2 veces por semana, los fertilizantes se aplicaron con aspersor de motor con capacidad de 25 L, los cuales son asperjados en una superficie de 527 m², los litros utilizados en la aplicación es de 10 L disolviendo cada uno de los fertilizantes simples, que son: Nitrato de magnesio (40 g); Nitrato de calcio (40 g); Fosfato monopotásico (50 g); Nitropotasio (50 g); Urea (40 g); Gro-green (40 g); Multi-micro (haifa) 10 g micronutrients 1 vez por semana.

6.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental Completo al azar.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1,2,3,\dots, t \\ j = 1,2,3,\dots, n \end{array}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento i.

ε_{ij} = Error aleatorio, donde $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

Análisis de la Varianza para el modelo fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_t$$

Ha: al menos un efecto de un tratamiento es diferente de los demás.

6.3.1. Tratamientos

En el presente trabajo se evaluaron cinco tratamientos, los cuales se describen en el cuadro 3. Se tomaron 3 repeticiones con 5 unidades experimentales cada una (U. E. = 1 planta), dando un total de 15 plantas por tratamiento.

Cuadro 3. Descripción de los Tratamientos.

Clave	Tratamiento	Capacidad (L)	Edad (meses)	Ubicación (vivero)
T0	Charola (control)	0,160	8	Masvi
T1	Charola	0,160	20	Masvi
T2	Contenedor individual	1	20	Volante
T3	Contenedor individual	5	20	Volante
T4	Contenedor individual	5	32	Volante

Sobre las características particulares de los tratamientos, cabe aclarar que:

Las plantas de **T0**, son las más acercadas a las consideradas adecuadas para ser llevadas a campo y establecer las reforestaciones, que regularmente se hace a los 12 meses.

T1 son plantas que se conservaron en el contenedor de charola por más tiempo del indicado para su trasplante y permanecieron 12 meses más en el vivero; únicamente con riego de mantenimiento.

T2 y **T3** son plantas que fueron trasplantadas a contenedores de 1 y 5 L, respectivamente y cultivadas durante 12 meses en el vivero volante “Pico del Águila”, cerca de la zona de reforestación para su aclimatación.

T4 son plantas que también se trasplantaron a contenedores de 5 L pero fueron mantenidas en el vivero volante por 12 meses más (32 meses).

6.4. Selección de plantas y evaluación de las variables de crecimiento

El muestreo de las plantas del vivero “Pico del Águila” (T2,T3 y T4) se llevó a cabo en el mes de Julio de 2011, mientras que las del vivero “Masvi” (T0 y T1) se colectaron en el mes de octubre del mismo año.

Las plantas del vivero “Pico del Águila” se eligieron aleatoriamente y se trasladaron a las instalaciones del Departamento de Madera, Celulosa y Papel (DMCyP), sin sacarlas de su contenedor. Los individuos del vivero Masvi, también se seleccionaron al azar, se

extrajeron de su contenedor (Charola) con todo el cepellón y se colocaron en bolsas de plástico, previamente etiquetadas, para ser llevadas y evaluadas en el DMCyP.

En condiciones de laboratorio, se procedió de la misma manera con todas las plantas: Primero, se eliminó la mayor parte del sustrato, se lavo la raíz con agua potable y se enjuagaron con agua destilada; se dejaron escurrir y se colocaron sobre papel periódico. En seguida se registró el peso fresco de cada planta con una balanza, la altura se midió con una cinta métrica y el diámetro con un vernier digital. Después, se procedió a separar la parte aérea de las raíces, cortando la planta por el cuello de la raíz, luego se pesó cada parte por separado y se procedió a cuantificar el volumen de cada sección por desplazamiento de agua, de acuerdo a la metodología expuesta en Harrington *et al.* (1994). A continuación, las plantas se colocaron en bolsas de papel bien identificadas y se sometieron a secado en una estufa a 75°C por 72 horas hasta peso constante para valorar el peso seco de cada parte de la planta.

6.5. Índices de calidad

Una vez obtenidos los datos de las variables anteriores, se calcularon los índices de calidad a continuación descritos:

Relación parte aérea/raíz

Se obtiene mediante la división entre el peso seco de la parte aérea y el peso seco de la raíz e indica si existe una proporción adecuada entre dichas partes.

Índice de robustez

Es la relación altura/diámetro y estima el grado de resistencia de las plantas a factores ambientales adversos. Se evaluó a partir de la división de la altura (en cm) entre el diámetro (en mm) de cada uno de los tratamientos.

Índice de Dickson

Implica la interacción del peso seco total con índice de robustez y la relación parte aérea/raíz. Este índice se calculó con los datos obtenidos de cada uno de los tratamientos, bajo la siguiente ecuación:

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

6.7. Análisis estadístico

Los datos generados a partir de la evaluación de las plantas, se capturaron y organizaron en el Programa Excel de Microsoft y fueron analizados estadísticamente con el programa Statgraphics Centurion ®. Para el análisis estadístico se utilizó un Análisis de varianza unifactorial (ANOVA) con respecto al volumen de contenedor. Se hizo además una comparación de medias a través de Least Significant Difference (LSD) para identificar cuáles medias son diferentes estadísticamente de otras.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El volumen de contenedor es una característica que indiscutiblemente influye en el crecimiento y calidad de la planta forestal, esto ha quedado de manifiesto por diversos autores que han expuesto la relevancia de éste factor en la producción de planta forestal (Domínguez, 2000; Prieto-Ruiz *et al.*, 2004; Peralta, 2007; Ritchie *et al.*, 2010).

En la presente investigación, el volumen del contenedor influyó significativamente sobre las características morfológicas y por lo tanto, en los índices de calidad de las plantas de *P. hartwegii*, dando como resultado que los contenedores de 1 y 5 L proporcionaron plantas más grandes y con mejores índices de calidad, lo cual concuerda con lo afirmado por Landis *et al.* (1990), quienes refieren que el volumen del contenedor es el factor más importante que afecta la calidad de planta, ya que controla la cantidad y la longitud de raíces que ésta puede producir en un determinado tiempo.

Además, los resultados coinciden con lo reportado por Pineda-Ojeda *et al.* (2004) quienes al evaluar la calidad de planta de *Pinus greggii* en tres sistemas, encontraron que las plantas del sistema contenedor-raíz desnuda tuvieron los mejores resultados en todas las variables evaluadas, es decir, se obtuvieron plantas más grandes, esto debido sobre todo a que al trasplantarlas de un contenedor a una cama de crecimiento, cuentan con mayor espacio y no hay restricción para su desarrollo; lo mismo aplica para las plantas cultivadas en envases de mayor volumen, como lo mencionan Barnett y McGilvray (1997, citado por Rodríguez-Trejo y Duryea, 2003).

7.1. Efecto del volumen de contenedor en las variables de crecimiento

7.1.1. Altura total

El volumen del contenedor mostró efecto sobre la altura total y hubo diferencia significativa entre los tratamientos para esta variable ($P < 0,05$) y la comparación de medias identificó tres grupos. Los resultados muestran que los tratamientos con mayor altura fueron T3 y T4, mientras que el T0 obtuvo el menor valor (Figura 4).

Las diferencias entre grupos de medias se deben principalmente al volumen del contenedor y en segunda instancia a la edad de las plantas; así, T0, al ser cultivadas en

contenedores con un volumen de 0.165 L y tener tan sólo 8 meses de edad, están en aparente desventaja ante los demás tratamientos, ya que están fuera del rango establecido por CONAFOR (2009), que va de 12 a 25 cm para coníferas no cespitosas. En este análisis se consideró importante incluir estas plantas, pese a su edad, ya que en algunos viveros, son las que se consideran aptas para el trasplante directo a campo.

Respecto a T1 y T2, resulta interesante observar que a pesar de los 0.840 L de diferencia entre un contenedor y otro, los valores de altura para ambos son similares, es decir, el contenedor de 0.165 L no restringió el crecimiento en altura. Esto puede ser debido a que en el vivero Masvi se le siguió dando riego y fertilización foliar, aunque no de manera regular como las otras plantas en producción. Aun así, los dos tratamientos están en el rango de 12 a 25 cm (CONAFOR, 2009).

Los resultados de estos dos tratamientos concuerdan con lo obtenido por Prieto *et al.* (2004) quienes realizaron una evaluación del crecimiento de *Pinus cooperi* en dos tamaños de contenedor (80 y 170 cm³) y en tres fases de crecimiento: 1) establecimiento; 2) crecimiento rápido y 3) preacondicionamiento. Estos investigadores encontraron que en las fases de establecimiento y crecimiento rápido, el efecto del tamaño del envase no fue significativo en las variables evaluadas (altura, diámetro, biomasa seca aérea, radical y total), con excepción del peso seco de la raíz en la fase de crecimiento rápido; no obstante, en la fase de preacondicionamiento las plantas producidas en el contenedor de 170 cm³ mostraron diferencia estadística en todas las variables.

Los tratamientos T3 y T4, también se encontraron dentro del rango señalado por CONAFOR (2009). Es importante recalcar que pese a que las plantas tenían un año de diferencia entre sí (T3= 20 meses, T4= 32 meses), resultaron similares estadísticamente, por lo que se puede inferir que la edad es un factor que pierde importancia y que lo que condiciona el crecimiento de los árboles en este caso es el volumen del contenedor. En la práctica, este dato es relevante, puesto que se deduce la desventaja de cultivar hasta los 32 meses (lo que implica mayores costos por mantenimiento) para al final obtener plantas con una altura igual a las de 20 meses.

Investigaciones realizadas con más de 25 modelos de contenedores en diferentes especies, indicaron que el volumen del contenedor fue la variable que mostró mayor

correlación con la altura de la planta y la supervivencia en campo (Domínguez, 1997). Sin embargo, la altura por sí sola no es un indicador de calidad, pero al relacionarse con el diámetro y otras variables, adquiere mayor importancia (Soriano, 2011).

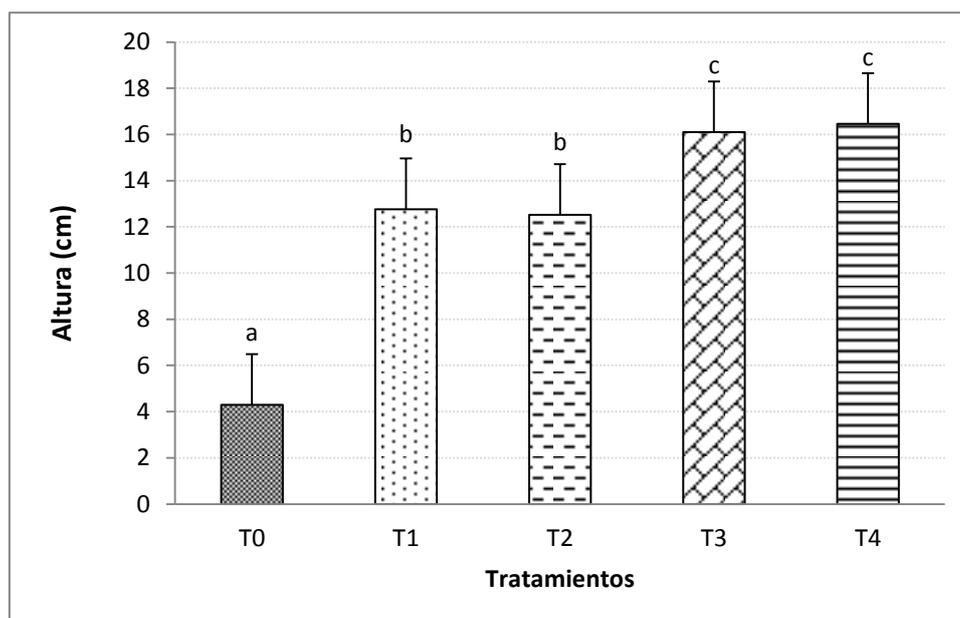


Figura 4. Efecto del volumen del contenedor sobre la altura de las plantas. T0: 0.165 L, 8 meses; T1: 0.165 L, 20 meses; T2: 1 L, 20 meses; T3: 5 L, 20 meses; T4: 5 L, 32 meses. Cada barra corresponde a la media \pm ee (n=15). Letras distintas denotan diferencia significativa ($P < 0.05$, LSD).

7.1.2. Diámetro

Como puede observarse en la Figura 5, existe diferencia entre los tratamientos ($P < 0.05$), mientras que la prueba LSD definió cuatro grupos, donde T3 presentó similitud con T2 y T4.

Las diferencias entre grupos de medias, al igual que en la altura, se deben tanto al volumen del contenedor como a la edad. En la Figura 5 se observa que T0 y T4 alcanzaron

el menor y el mayor promedio en diámetro, respectivamente, lo cual es lógico debido a las diferencias en edad, mientras que en T1, T2 y T3 puede verse claramente el efecto que tiene el volumen de contenedor sobre esta variable, pues aunque T3 tuvo similitud con T2 y T4, se nota un incremento de diámetro conforme el volumen aumenta. Cabe mencionar que en T1, T2 y T3 las plantas contaban con la misma edad.

En esta investigación, los resultados fueron superiores a los obtenidos por Ortega *et al.* (2003) quienes evaluaron la germinación y crecimiento inicial de *P. hartwegii*; en general, el diámetro alcanzado por las plantas a los 7 meses no rebasó los 2 mm de diámetro, en tanto que en el presente trabajo, el tratamiento con el promedio más bajo registró 5.16 mm. No obstante, Benavides *et al.* (2011) encontraron cifras muy similares a las logradas en este estudio, con rangos desde 5.99 hasta 10.58 mm de diámetro en plantas de la misma especie y con 13 meses de edad.

Cleary *et al.*, (1978, citados por Pineda-Ojeda, 2004) mencionan que las plantas con diámetros superiores tienden a desarrollar sistemas radicales grandes, además de ser plantas con mejor soporte y mayor aislamiento contra temperaturas extremas por lo que sufren menor daño por calor o sequía. Mexal y Landis (1990) propusieron que para que exista una supervivencia mayor al 80%, la planta debe tener entre 5 a 6 mm de diámetro; sin embargo, debe adecuarse al hábito de crecimiento de cada especie. En la presente investigación, hasta el tratamiento con menor diámetro en promedio se encuentra dentro de lo propuesto por los autores mencionados.

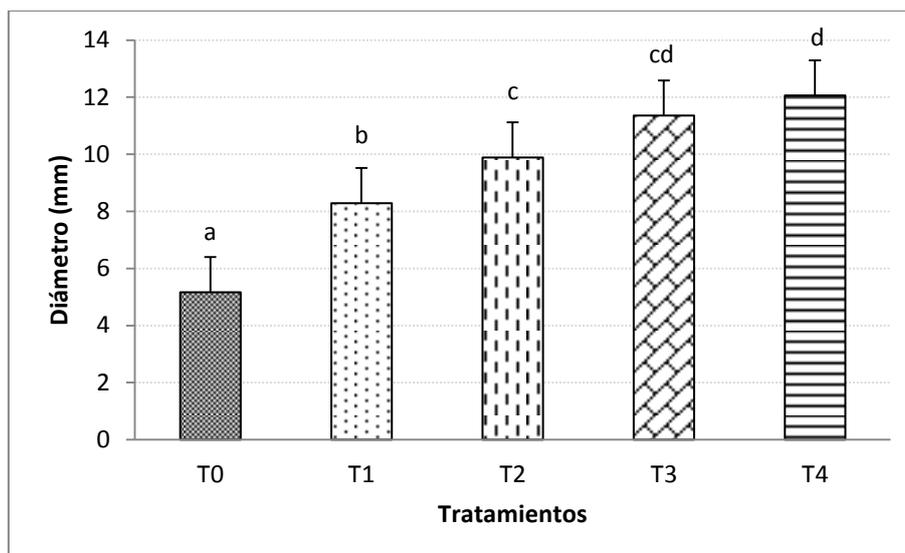


Figura 5. Efecto del volumen del contenedor sobre el diámetro de las plantas. T0: 0.165 L, 8 meses; T1: 0.165 L, 20 meses; T2: 1 L, 20 meses; T3: 5 L, 20 meses; T4: 5 L, 32 meses. Cada barra corresponde a la media \pm ee (n=15). Letras distintas denotan diferencia significativa ($P < 0.05$, LSD).

7.1.3. Volumen aéreo

Respecto a esta variable, el análisis de varianza mostró que hay diferencia significativa entre los tratamientos, lo que se observa claramente en la Figura 6. La comparación de medias distingue cuatro grupos, donde T3 y T4 resultan similares.

T0 presenta el menor promedio, seguido de T1 y T2, tratamientos que en altura resultaron estadísticamente similares, e incluso T2 tuvo una media ligeramente menor a T1; sin embargo, la diferencia entre éstos radica en el volumen aéreo, ya que las plantas de T2 tuvieron mayor densidad de follaje y diámetro. Canell *et al.* (1978, citados por Pineda-Ojeda, 2004) refieren que un ideotipo competitivo debe presentar una buena altura y densidad de follaje, copa amplia y un elevado número de ramillas, características obtenidas en las plantas de T2, que fueron cultivadas en contenedores de 1 L.

El siguiente grupo está conformado por T3 y T4, que son iguales estadísticamente y de cuyos resultados se puede inferir que el volumen del contenedor es un factor más determinante que la edad, ya que la diferencia se dio entre los tratamientos con

contenedores de 0.165, 1 y 5 L, en cambio, en T3 y T4, de 5 L cada uno, a pesar de diferir con un año, el crecimiento tanto en volumen aéreo, como en altura y diámetro es similar (Figura 6).

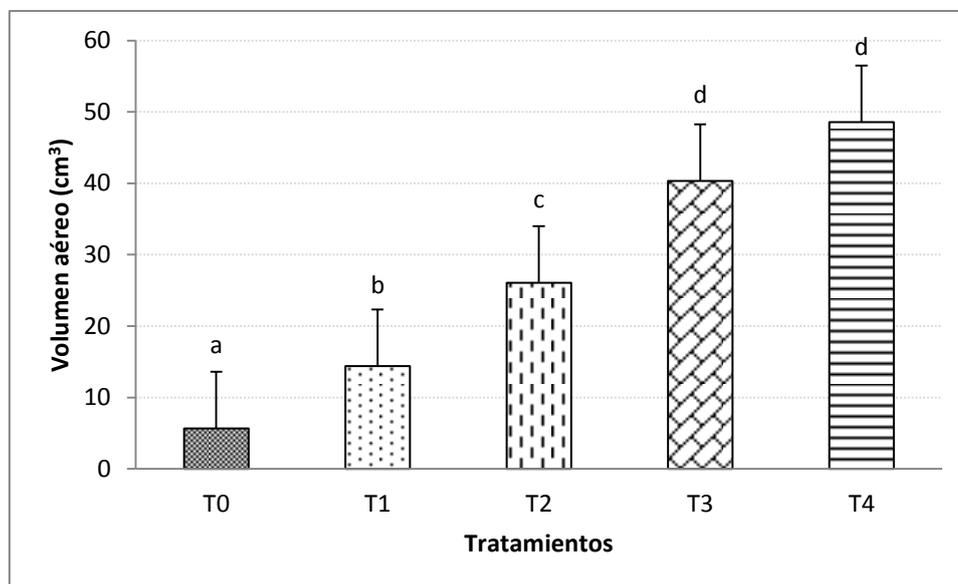


Figura 6. Efecto del contenedor sobre volumen aéreo de las plantas. T0: 0.165 L, 8 meses; T1: 0.165 L, 20 meses; T2: 1 L, 20 meses; T3: 5 L, 20 meses; T4: 5 L, 32 meses. Cada barra corresponde a la media \pm ee (n=15). Letras distintas denotan diferencia significativa ($P < 0.05$, LSD).

7.1.4. Volumen de raíz

El análisis de varianza para el volumen de raíz mostró que hay diferencias entre los tratamientos y la prueba de medias los agrupa en cuatro, que se describen a continuación y se presentan en la Figura 7.

T1 resultó afín tanto a T0 como a T2, lo que se explica por el hecho de que las plantas de T1 tenían más edad que las de T0, esto implica que crecieran más, sin embargo, al estar confinadas a un contenedor pequeño, la raíz no tuvo oportunidad de desarrollarse en toda su extensión.

Asimismo, la similitud estadística de T2 con T3 probablemente se debe a que las plantas tenían la misma edad, y por lo tanto tenían un crecimiento semejante, aún cuando había 4 L de diferencia entre un contenedor y otro. Sin embargo, la desproporción entre el volumen aéreo y el de raíz de T3 podría percibirse como una desventaja que puede generar problemas de establecimiento al momento de la plantación, sobre todo en áreas con calidad de suelo y precipitación bajas. No obstante, respecto a esta especie en particular, las reforestaciones usualmente se realizan en lugares mejor conservados, dadas las altitudes donde se desarrolla, por lo que aún con la desproporción que presentan las plantas de T3, podrían funcionar bien en este tipo de lugares.

T4, a pesar de que en las variables altura, diámetro y volumen aéreo, fue muy similar a T3, la diferencia fundamental está en el volumen de raíz, donde obtuvo el mejor promedio entre todos los tratamientos, doblando el valor de T3. Es ahí donde podría verse la ventaja de cultivar hasta 32 meses.

Algunos autores sugieren que aquellas plantas con mayor volumen de raíz al momento de la plantación, presentan mayores tasas de supervivencia y crecimiento inicial en altura y diámetro que aquellas con un volumen menor; siempre y cuando el sistema radical esté desarrollado de manera adecuada, con una distribución uniforme de raíces secundarias y con espacio suficiente (Rodríguez, 2008). Esto se explica por el hecho de que inmediatamente después de establecidas las plantas en el terreno, dependen de las características y función de sus raíces para la absorción de agua y nutrientes; si la raíz está bien desarrollada, explorará una extensa área del suelo, con lo cual se aumentan las posibilidades de supervivencia (Wenny *et al.* 1998), así como la posibilidad de establecer relaciones simbióticas mutualistas con microorganismos del suelo, como es el caso de micorrizas o bacterias fijadoras de nitrógeno que elevan la tolerancia de las plantas al estrés biótico y abiótico (Neri-Luna y Villarreal-Ruiz, 2012).

Muñoz *et al.* (2011) comentan que el volumen aéreo de las plantas debe estar en balance con el de las raíces, a fin de obtener una planta de mayor calidad, por esto, es preciso tomar en cuenta que un área de transpiración demasiado grande puede conducir a estrés hídrico en sitios secos, antes de que el sistema radical se establezca. En dichos ambientes se requerirán riegos de auxilio o bien proteger la raíz temporalmente para evitar la total desecación.

Con base en lo obtenido en esta investigación, es importante resaltar que plantas cultivadas principalmente en charolas, por un año más, como fue el caso de T1, pueden seguir vivas e incrementar sus variables morfológicas como altura (Figura 4) y volumen aéreo (Figura 6) hasta tres veces más los valores de T0, dando la apariencia de ser aptas para llevarlas a campo; sin embargo, debido a que la raíz continuó creciendo en esta misma proporción (Figura 7) pero en el mismo volumen de contenedor (0.165 L) se generó compactación de la misma. Esto se verá reflejado al momento de un trasplante a un contenedor de mayor volumen o plantación en campo, pues mientras se continúe proporcionando agua y nutrimentos seguirán creciendo, pero en cierto tiempo morirán por no ser autosuficientes para cubrir su demanda hídrica y nutrimental debido al pobre desarrollo del sistema radical. Lo anterior se ratifica por el estudio realizado por Sáenz *et al.* (2010), quienes evaluaron la calidad de planta producida en viveros forestales de clima templado en Michoacán y encontraron que cierto porcentaje de las plantas de mantenimiento, es decir, las que no alcanzaron las dimensiones requeridas para ser plantadas y se quedaron en el vivero hasta la siguiente temporada de plantación, morfológicamente tuvieron una calidad aceptable, mientras que las del ciclo de producción anual obtuvieron muy buenos resultados; contrastando con las características fisiológicas, donde las plantas de mantenimiento resultaron con deficiencias nutrimentales, mientras que las del ciclo anual fueron superiores.

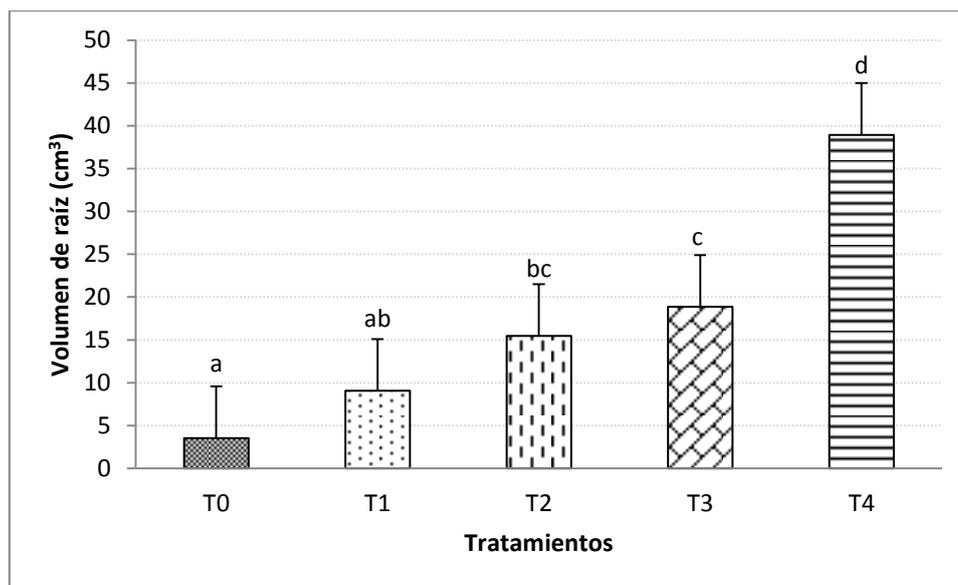


Figura 7. Efecto del contenedor sobre el volumen de raíz de las plantas. T0: 0.165 L, 8 meses; T1: 0.165 L, 20 meses; T2: 1 L, 20 meses; T3: 5 L, 20 meses; T4: 5 L, 32 meses. Cada barra corresponde a la media \pm ee (n=15). Letras distintas denotan diferencia significativa ($P < 0.05$, LSD).

7.2. Índices de calidad de planta

Los índices de calidad son la combinación de parámetros morfológicos o fisiológicos que describen atributos de la planta como el balance y la esbeltez, representando valores más cercanos a predecir el rendimiento de la planta en campo, comparado con lo que pudiera determinar cualquier parámetro individual (Thompson, 1985).

De la confrontación entre los resultados obtenidos en esta investigación para los índices de calidad (Cuadro 4), con los valores propuestos por Sáenz *et al.* (2010) en el Cuadro 5, se determinó que la mayoría de los tratamientos se encuentran en la categoría de alta calidad para todos los índices, excepto T3 en la relación parte aérea/raíz, donde se cataloga con calidad media; esto se evidencia en las Figuras 6 y 7, donde se nota una gran diferencia entre el volumen aéreo y el de raíz y como se había mencionado, esto puede generar problemas de establecimiento al momento de la plantación. T1 por su parte, está muy cerca del límite inferior en esta relación, aunque estadísticamente es igual a T0, T2 y T4.

En cuanto al índice de robustez, todos los tratamientos están por debajo de seis, que es el valor establecido como de mayor calidad. Cabe resaltar que el mejor tratamiento para este índice resultó ser T0, lo que indica que eran plantas bajas y con tallo grueso, esta característica les otorga resistencia mecánica, sin embargo, hay que considerar que la altura estaba fuera del rango señalado por CONAFOR (2009), lo que podría causar problemas para competir con la vegetación herbácea y arbustiva.

Respecto al índice de Dickson, el mejor tratamiento fue T4, superando al resto, sobre todo a T0. Esto habla de que las plantas de T4 tienen un buen balance entre su parte aérea y radical, además de una buena producción de biomasa, lo cual les dará ventaja una vez establecidas en campo. No obstante, T4 podría tener un inconveniente, mantener a las plantas por casi 3 años elevaría su precio al consumidor.

Cuadro 4. Índices de calidad de planta en *Pinus hatwegii*. T0: 0.165 L, 8 meses; T1: 0.165 L, 20 meses; T2: 1 L, 20 meses; T3: 5 L, 20 meses; T4: 5 L, 32 meses. Letras distintas denotan diferencia significativa (n=15, P<0.05, LSD).

Tratamiento	Rel. Parte aérea/raíz	Robustez	Dickson
T0	1,72 a±0.11	0,90 a±0.11	0,98 a±0.48
T1	1,53 a±0.11	1,57 b±0.11	2,36 b±0.48
T2	1,63 a±0.11	1,30 b±0.11	3,47 b±0.48
T3	2,11 b±0.11	1,42 b±0.11	3,67 b±0.48
T4	1,65 a±0.12	1,41 b±0.12	6,36 c±0.50

Cuadro 5. Valores determinados para calificar la calidad de planta con crecimiento normal en viveros forestales de clima templado en Michoacán (Modificado de Sáenz *et al.*, 2010).

Índice	Calidad y rango		
	Alta	Media	Baja
Relación parte aérea/raíz	1.5 - 2	2 – 2.5	> 2.5
Robustez	< 6	6-8	> 8
Dickson	> 0.5	0.2 – 0.5	< 0.2

Con los resultados que se generaron en el presente trabajo fue posible determinar una proporción que resultó un buen indicador de la calidad de planta de *P. hartwegii*. Éste consiste en la relación entre el volumen del contenedor (VC) y el volumen de la raíz (VR), para el cual se definieron límites entre 60 y 120, que indican que la raíz tiene una adecuada distribución en el contenedor (Cuadro 6). Estos valores se establecieron porque son aproximados a los alcanzados por T2 y T4, respectivamente, tratamientos que presentaron el mejor desarrollo del sistema radical, además que en los índices anteriores obtuvieron buenos resultados.

Cuadro 6. Cociente Volumen de contenedor/Volumen de raíz (VC/VR). T0: 0.165 L, 8 meses; T1: 0.165 L, 20 meses; T2: 1 L, 20 meses; T3: 5 L, 20 meses; T4: 5 L, 32 meses. Letras distintas denotan diferencia significativa (n=15, P<0.05, LSD).

Tratamiento	VC (ml)	VR (cm ³)	Valor VC/VR
T0	165	3.5	47.1 a±17.38
T1	165	9	18.3 a±17.38
T2	1000	15.5	64.5 a±17.38
T3	5000	19	263.1 c±17.38
T4	5000	39	120.2 b±17.99

Considerando lo anterior, es importante recalcar que el volumen o peso seco de la raíz no son los únicos factores a considerar para la valoración del sistema radical, existen otras

condiciones como las deformaciones que puede sufrir la raíz debido al contenedor. En este aspecto, Rodríguez (2008) menciona que el mejor sistema radical lo constituye una raíz principal bien conformada, sin deformaciones, abundancia de raíces laterales uniformemente repartidas y de raíces finas o fibrosas, las cuales son potenciales para establecer simbiosis con hongos micorrícicos, que aumentan la superficie de la raíz para absorber agua y nutrientes. En esta investigación, T0 presentó una raíz fibrosa y sin enrollamiento, en tanto que T1 presentó enrollamiento de la raíz y pudrición debido al contenedor tan pequeño donde se mantuvo durante más tiempo del indicado para su trasplante; las plantas de T2 también fueron adecuadas en cuanto a la distribución en el contenedor, es decir, tenían el espacio suficiente para crecer sin tanto desperdicio de sustrato. En T3 por el contrario, las raíces no alcanzaron a cubrir la gran cantidad de sustrato, las plantas eran pequeñas para el contenedor tan grande. En T4, las plantas también presentaron una distribución adecuada de las raíces en el sustrato.

Los resultados generados en el presente trabajo ayudarán a tener un mejor manejo en vivero para esta y otras especies de pinos y a la vez facilitará la toma de decisiones de viveristas y en los programas de reforestación, dado el enfoque integral que se está tomando respecto a dichos programas (CONAFOR, 2010). Sin embargo, hay que tomar en cuenta que las variables morfológicas y los valores de los índices de calidad, a pesar de ser un buen estimador de la calidad de planta, no garantizan totalmente que la supervivencia será alta y que el desarrollo en campo será mejor, ya que existen otras variables no consideradas en esta investigación que también pueden influir, tales como el estado fitosanitario, grado de lignificación y madurez, así como el estado nutricional de las plantas, deformaciones en el sistema de raíz e interacciones bióticas.

8. CONCLUSIONES

- El volumen de contenedor tuvo un marcado efecto sobre las variables de crecimiento en *Pinus hartwegii*, el cual pudo determinarse de manera cuantitativa para altura, diámetro y volumen, tanto aéreo como de raíz.
- En todas las variables de crecimiento se observó un incremento conforme se aumentó el volumen de contenedor, pero a la vez se demostró que no siempre los incrementos en altura, diámetro y volumen aéreo y de raíz resultan ser adecuados garantizar la calidad que permita mayor supervivencia en campo a largo plazo.
- Las plantas de T0, a pesar de ser las consideradas listas para trasplante directo a campo, presentaron resultados muy inferiores al resto de los tratamientos, esto podría causar problemas en el establecimiento en el sitio de plantación.
- En el caso de T1, se demostró que las plantas pueden mantenerse en el mismo contenedor hasta por un ciclo más y seguir incrementando sus variables morfológicas, siempre y cuando sigan recibiendo riego y fertilización en el vivero; pero esto no significa que su calidad, en apariencia alta, garantice la supervivencia al trasplante y en campo.
- T2 y T4 registraron valores muy aceptables en los tres índices de calidad, lo que puede atribuirse no solo a un mayor volumen de contenedor, sino también a que estas plantas presentaron un mejor desarrollo de raíz con relación a dicho volumen.
- La desproporción entre el volumen aéreo y el de raíz de T3 podría percibirse como una desventaja que puede generar problemas de establecimiento al momento de la plantación, sobre todo en áreas con calidad de suelo y precipitación bajas.
- Considerando que el cociente Volumen de contenedor/volumen de raíz (VC/VR) también resultó ser un adecuado parámetro para la calidad de planta, se puede concluir que valores entre 60 y 120 ml/cm³ de raíz son apropiados para esta especie, por lo tanto las charolas evaluadas en esta investigación (0,165 L) resultan ser insuficientes para un buen desarrollo de *P. hartwegii*.

9. RECOMENDACIONES

Las decisiones que se tomen con relación a la calidad de planta no se deben basar en valores de una sola variable de evaluación, ni con un solo índice; sino que se debe buscar siempre la interacción de estos factores y el análisis de los diferentes componentes que influyen en la calidad de planta (criterios morfológicos, fisiológicos e índices de calidad).

Es deseable que todas las evaluaciones de calidad planta forestal se realicen no solamente en el vivero, sino que se continúen una vez llevadas a campo, lo cual permitirá obtener datos más precisos sobre el efecto que tiene el volumen de contenedor o cualquier otro factor de estudio sobre la supervivencia y el adecuado establecimiento de la plantación.

Se sugiere que plantas cultivadas en contenedores de 5 L durante más de dos años son adecuadas para plantaciones comerciales y para repoblación asistida en la ciudad, no solo por presentar las mejores características morfológicas; sino también por su precio de venta al consumidor.

Dada la importancia que se reconoció para el índice generado de VC/VR en el presente trabajo de manera práctica, se recomienda incluirlo en las evaluaciones de calidad para otras especies de coníferas bajo criterios sistemáticos, con la finalidad de encontrar si también muestran límites similares a los encontrados para *Pinus hartwegii* y para los volúmenes de contenedor evaluados.

10. LITERATURA CITADA

- Alarcón B., M. 1999. Crecimiento inicial y calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm. bajo diferentes condiciones de fertilidad en invernadero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. De México. 107 p.
- Benavides M., H. M., M. O. Gazca G., S. F. López L., F. Camacho M., D. Y. Fernández G., M. P. de la Garza López de L., F. Nepamuceno M. 2011. Crecimiento inicial en plántulas de 12 procedencias de *Pinus hartwegii* Lindl. bajo condiciones de vivero. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 2 (5): 73-90.
- Bernaola P., R. M. 2012. Evaluación del sistema de doble trasplante de *Pinus hartwegii* para restauración de suelos en el Parque Nacional Volcán Nevado de Colima. Tesis de Maestría. DMCyP-CUCEI, Universidad de Guadalajara. 99 p.
- Bernier, P. K., M. S. Lomhamedi and D. G. Symposium. 1997. Shoot: root ratio is of limited use in evaluating the quality of container conifer stock. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service-Quebec, Sainte-Foy, Quebec, and British Columbia Ministry of Forest, Kalamalka Research Station, Vernon, BC, Canada. 115p
- Birchler T., R. W. Rose, A. Royo y M. Pardos. 1998. La planta ideal. Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol 7 (1 y 2): 109-121.
- CONAFOR. 2009. Criterios técnicos para la producción de especies forestales de ciclo corto (rápido crecimiento), con fines de restauración. Comisión Nacional Forestal. México. 9 p.
- CONAFOR. 2010. Prácticas de reforestación. Manual básico. Comisión Nacional Forestal. Jalisco, México. 64 p.
- Domínguez L., S. 1997. La importancia del envase en la producción de plantas forestales. *Quercus* 134: 34-37.
- Domínguez L., S. 2000. Influencia de distintos tipos de contenedores en el desarrollo en contenedores de *Pinus halapensis* y *Quercus ilex*. Reunión de

- coordinación 1+D. Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo", Ministerio de Medio Ambiente, Guadalajara. España. 10 p.
- Dumroese, R. K., T. D. Landis and D. L. Wenny. 1998. Raising forest tree seedling at home: Simple methods for growin conifers of the Pacific Northwest from seed. Contribution number 860. Idaho Forest Wildlife and Range Experiment Station. USA. 54 p.
- Duryea, M. L. 1985. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. *In*: Evaluating seedling quality: Principles, procedures and predictive abilities of major test. M. L. Duryea (ed.). Forest Research Laboratory. Oregon, USA. p 1-4.
- Duryea, M. L. and T. D. Landis. 1984. Forest Nursery Manual. Production of bareroot seedling. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. Oregon State University. Corvallis, Oregon. 143 p.
- Gobierno Municipal de Zapotlán El Grande, Jalisco. 2012-2015. <http://www.ciudadguzman.gob.mx> Fecha de consulta: Marzo de 2013.
- ©Google Earth. 2013. US Dept of State Geographer. Fecha de consulta: Febrero 2013.
- ©Google Earth. 2013. US Dept of State Geographer. Fecha de consulta: Febrero 2013.
- Hahn, P. F. 1984. Plug + 1 seedling production. *In*: Forest Nursery Manual. Production of bareroot seedling. M. L. Duryea y T. D. Landis (eds.). Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. Oregon State University. Corvallis, Oregon. Pp: 161-181.
- Harrington L., J. G. Mexal, D. Fisher. 1994. Volume displacement provides a quick and accurate way to quantify new root produccion. Tree planters Notes, 3: 121-124 p.
- Krause F., R. W. 2005. Efecto de la dosis de fertilizantes soluble a base de N, P, K sobre el crecimiento en vivero de plantas de *Nothofagus oblicua* (Mirb.) Oesrt, producidas en contenedor tipo speedling. Tesis. Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile.

- Landis T. D. y J. R. Scholtes. 2003. A history of transplanting. *In*: Riley L. E., R. K. Dumroese, T. D. Landis (coord.). National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations—2002. Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp 89–97.
- Landis, T. D. 2002. The target seedling concept. A tool for better communication between nurseries and their customers. *In*: Riley, L. E., R. K. Dumroese, and T. D. Landis (tech. Coords.) National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 2002. Proceedings. RMRS-P-28. Ogden, UT. USDA. Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Pp: 31-36.
- Landis, T. D., R.W. Tinus, S. E. McDonald, J. P. Barnett. 1990. Containers and Growing Media, Vol. 2, The Container Tree. Nursery Manual. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 88p.
- Maldonado B., K. R. 2010. Sustratos alternativos para la producción de *Pinus greggii* Engelm. en vivero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 115 p.
- Marshall, J. D. 1985. Carbohydrate status as measure of seedling quality. *In*: Proceedings Evaluating seedling Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of major Test. Duryea M. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. Pp 49-58.
- Mexal J. G. y T. D. Landis. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. *In*: Target seedling symposium: proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations. Roseburg, Oregon. USDA, Forest Service. 286 p.
- Mexal, J. 1996. Forest nursery activities in Mexico. *In*: National Proceedings, Forest and Conservation Nursery Association. Landis, T. D. and D. B. South, (coords.). USDA, Forest Service. Pacific Northwest Research Station. Portland, Oregon. Pp. 228-232.
- Montoya O., J. M. y M. A. Cámara O. 1996. La planta y el vivero forestal. Mundi-Prensa. Barcelona, España. 127 p.
- Muñoz F., H. J., J. J. García M., V. M. Coria Á., G. Orozco G. y Y. Y. Muñoz V. 2011. Características morfológicas de plántulas de dos especies forestales

- tropicales propagadas en contenedores biodegradables y charolas styroblock. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(8): 21-33.
- Murillo, O. 2000. Índices de calidad para la reforestación en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 24(2):41-48.
- Musálem S., M. A. y M. A. Solís P. 2000. Monografía de *Pinus hartwegii*. SAGAR. INIFAP. CIRCE. Campo experimental Valle de México. Libro técnico No. 3, Chapingo, Estado de México. 96 p.
- Neri-Luna, C., L. Villarreal-Ruíz. 2012. Simbiosis micorrícica: Un análisis de su relevante función ecosistémica y en la revisión de servicios ambientales. *In: Huerta M., F. M., y L. P. Castro F. (comp.). Interacciones ecológicas. Primera edición. Universidad de Guadalajara. pp. 37-61.*
- Oliet, J. A., A. Valdecantos, J. Puértolas, R. Trubat. 2006. Influencia del estado nutricional y el contenido de carbohidratos en el establecimiento de las plantaciones. pp 89-117. *In: Cortina, J., J. L. Peñuelas, J. Puértolas, R. Savé, A. Vilagrosa (eds.). 2006. Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos. Estado actual de conocimientos. Organismo Autónomo Parques Nacionales Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España.*
- Ortega M., A., L. Mendizábal H., J. Alba L., A. Apraicio R. 2003. Germinación y crecimiento inicial de *Pinus hartwegii* Lindl. de siete poblaciones del Estado de México. *Foresta Veracruzana* 5(002): 29-34.
- Owston, P. W. 1990. Target seedling specifications: Are stock type designations useful?. *In: Proceedings, Western Forest Nursery Association. Rose, R., S J. Campbell, T. D. Landis (eds.) Gen. Tech. Rep. RM-200 Colorado. U.S.A. USDA Forest Service Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. pp 9-16.*
- Peñuelas J. L. y L. Ocaña. 1996. Cultivo de once especies mediterráneas en vivero: implicaciones prácticas. *Revista Ecología* 15: 213-223.
- Peralta C., A. 2007. Efecto del tipo de envase en la calidad y costo de producción de *Pinus patula* Scheide ex Schlechtendal & Chamisso var. *patula* en vivero.

- Tesis Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. 97 p.
- Pineda-Ojeda., T., V. M. Cetina-Alcalá, J. A. Vera-Castillo, C. T. Cervantes-Martínez, A. K. Gardezi. 2004. El trasplante contenedor-contenedor (1+1) y contenedor-raíz desnuda (P+1) en la producción de planta de *Pinus greggii* Engelm. *Agrociencia* 38 (006): 679-686.
- Prieto R., J. A. y A. Sánchez V. 1991. Guía básica de la reforestación. SARH-UACH. Chapingo, Edo. deMéx. 75 p.
- Prieto R., J. A., G. Vera C., E. Merlín B. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto técnico 12. INIFAP. SAGAR. Durango, Dgo., México. 23 p.
- Prieto R., J. Á.; P. A. Domínguez C.; J. de J. Návar C.; E. H. Cornejo O. 2004. Factores que influyen en la producción de planta de *Pinus cooperi* Blanco en viveros. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente* 10: 001. pp. 63-70.
- Prieto, R. J. A., G. Vera C. y E. Merlín B. 2003. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico Núm. 12. Primera reimpresión. Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAPSAGARPA. Durango, Dgo. México. 24 p.
- Prieto-Ruíz, J. A., P. A. Domínguez-Calleros, E. H. Cornejo-Oviedo, J. J. Návar-Cháidez. 2007. Efecto del envase y del riego en vivero en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. *Madera y Bosques* 13 (1): 79-97.
- Programa Nacional de Desarrollo.2009. Tercer Informe Ejecutivo.
- Ritchie, G. A. 2002. Root physiology and phenology: the key to transplanting success. *In: National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations.* Riley L. E., R. Dumroese K., and T. D. Landis (coords). USDA Forest Service.
- Ritchie, G. A. and Y. Tanaka. 1990. Root growth potential and the target seedling. *In: Target seedling symposium: proceedings combined meeting of the Western*

- Forest Nursery Associations. USDA. Forest Service. Roseburg. Oregon Forest Service. Pp 37-52.
- Ritchie, G. A., T. D. Landis, R. K. Dumroese and D. L. Haase. 2010. Assessing plant quality. *In*: Landis, T. D., D. K. Dumroese, D. L. Haase (eds.). The Container Tree Nursery Manual. Volume 7, Seedling Processing, Storage and Outplanting. Agric. Handbk. 679. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture Forest Service. 200 p.
- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Universidad Autónoma Chapingo. Mundi Prensa México. 156 p.
- Rodríguez-Trejo, D. A., M. L. Duryea. 2003. Indicadores de calidad de planta en *Pinus palustris* Mill. *Agrociencia*, 37: 299-307.
- Román J., A. R.; J. J. Vargas H.; G. A. Baca C.; A. Trinidad S. y M. P. Alarcón B. 2001. Crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* Engelm. en respuesta a la fertilización. *Ciencia Forestal en México* 26 (89): 19-43.
- Sáenz, R. J. T.; Villaseñor R. F. J.; Muñoz F. H. J.; Rueda S. A. y Prieto R. J. A. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico Núm. 17. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 48 p.
- Salcedo P., E., R. M. Bernaola P., E. Hernández A., F. López-Dellamary T. y J. Villa C. 2012. Propuesta metodológica para la reforestación de áreas con condiciones edafoclimáticas especiales. Estudio de caso *Pinus hartwegii* Lindl. en el Nevado de Colima. *In*: Salcedo P., E., E. Hernández A., J. A. Vázquez G., T, Escoto G. y N. Díaz E. (eds.). Recursos Forestales en el Occidente de México. Diversidad, manejo, producción, aprovechamiento y conservación. Tomo I. Amaya Ediciones S. de R.L. de C.V. Jalisco, México. pp 226-243.
- Sánchez A., R. L. y S. Rebollar D. 1999. Deforestación en la península de Yucatán, lo retos que enfrentar. *Madera y Bosques* 5(2):3-17.
- Soriano E., G. B. 2011. Efecto de fertilización de N, P y K en la calidad de plántula de *Pinus patula* y *Pinus devoniana* en vivero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 78 p.

The Gymnosperm Database. Disponible en: <http://www.conifers.org/> Fecha de consulta: 31/07/2013.

Thompson, B. E. 1985. Seedling morphological evaluation. What you can tell by looking. Duryea, M. L. (ed.). Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major test. Oregon State University, Corvallis. pp: 59-71.

Wenny, D. L.; Y. Lui; R. K. Dumroese, H. L. Osborne. 1998. First year field growth of chemically root pruned containerized seedling. New forest 2(2): 111-118.

Wightman K. E., B. Santiago C. 2003. La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. Foresta Veracruzana, 5 (1): 45-51

11. Anexo 1

Resultados para todas las variables de crecimiento e índices de calidad.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Volumen aéreo (cm ³)	Volumen raíz (cm ³)	Rel. Parte aérea/raíz	Robustez	Dickson	Valor VC/VR
T0	4.3 a	5.16 a	5.66 a	3.53 a	1,72 a	0,90 a	0,98 a	47.1 a
T1	12.76 b	8.28 b	14.4 b	9.06 ab	1,53 a	1,57 b	2,36 b	18.3 a
T2	12.52 b	9.88 c	26.06 c	15.46 bc	1,63 a	1,30 b	3,47 b	64.5 a
T3	16.10 c	11.35 cd	40.33 d	18.86 c	2,11 b	1,42 b	3,67 b	263.1 c
T4	16.46 c	12.06 d	48.57 d	38.92 d	1,65 a	1,41 b	6,36 c	120.2 b

12. Anexo 2

Análisis de varianza para las variables de crecimiento e índices de calidad.

	Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Altura	Entre grupos	1423,72	4	355,93	22,44	0,0000
	Intra grupos	1094,6	69	15,8638		
	Total (Corr.)	2518,33	73			
Diámetro	Entre grupos	447,56	4	111,89	26,67	0,0000
	Intra grupos	289,499	69	4,19564		
	Total (Corr.)	737,059	73			
Volumen aéreo	Entre grupos	18396,4	4	4599,1	32,73	0,0000
	Intra grupos	9696,63	69	140,531		
	Total (Corr.)	28093,0	73			
Volumen de raíz	Entre grupos	10482,8	4	2620,71	31,28	0,0000
	Intra grupos	5781,06	69	83,7835		
	Total (Corr.)	16263,9	73			
Relación PA/PR	Entre grupos	2,9272	4	0,7318	3,61	0,0098
	Intra grupos	13,9701	69	0,202465		
	Total (Corr.)	16,8973	73			
Índice de Robustez	Entre grupos	3,86923	4	0,967308	4,57	0,0025
	Intra grupos	14,5916	69	0,211472		
	Total (Corr.)	18,4608	73			
Índice de Dickson	Entre grupos	227,619	4	56,9048	15,90	0,0000
	Intra grupos	246,966	69	3,57922		
	Total (Corr.)	474,585	73			
VC/VR	Entre grupos	771870	4	192968	42,58	0,0000
	Intra grupos	312692	69	4531,76		
	Total (Corr.)	1,08456	73			