



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO FORESTAL

Efecto de la fecha de siembra y tamaño de contenedor en el crecimiento de dos especies de pino en vivero

CIRILO RODRÍGUEZ MÉNDEZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

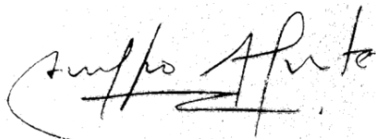
2013

La presente tesis titulada: **“EFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA Y TAMAÑO DE CONTENEDOR EN EL CRECIMIENTO DE DOS ESPECIES DE PINO EN VIVERO”** realizada por el alumno: **CIRILO RODRÍGUEZ MÉNDEZ** bajo 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
FORESTAL

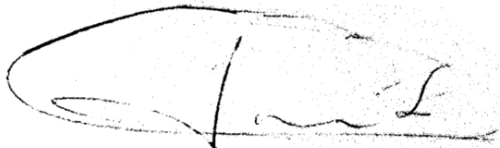
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



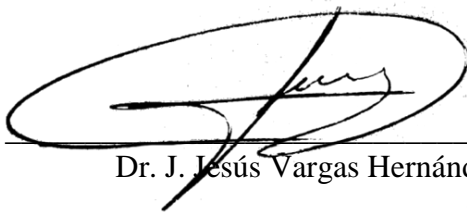
Dr. Arnulfo Aldrete

ASESOR



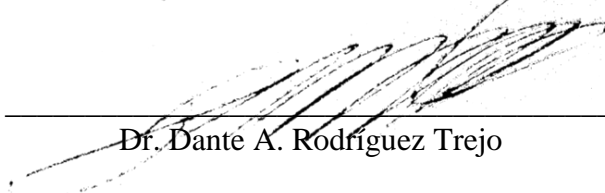
Dr. Javier López Upton

ASESOR



Dr. J. Jesús Vargas Hernández

ASESOR



Dr. Dante A. Rodríguez Trejo

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo de 2013

DEDICATORIA

A mis hijos, Daniel y Mariana, por ser la fuente e inspiración para esforzarme y superarme día con día.

A María Luisa, por su cariño, tiempo, apoyo y motivación para que un servidor lograra la meta de realizar de este trabajo.

A mis padres Cirilo y María Cirenía por su todas las enseñanzas (grandes y pequeñas) que me dieron y con las cuales he logrado alcanzar las metas que me he propuesto

A mis hermanos Yolanda, Amelia, Inés, Georgina, Porfirio, Quirina y Eutiquio por su atención y apoyo en todo momento.

A mis amigos Hotón, Sr. Leonardo, Ezequiel, Antonio, Víctor, Don Memo (entre muchos otros) que han hecho que el paso por esta aventura llamada posgrado haya sido provechosa, llena de alegrías y muchas enseñanzas.

A todos gracias

El verdadero poder existe en la irresistible fuerza del amor...

CRM 2013

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado durante la realización de mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados y al Postgrado Forestal por la oportunidad de realizar mis estudios.

Al Dr. Arnulfo Aldrete por la dirección y el invaluable apoyo, facilidades y enseñanzas otorgadas para la realización de este trabajo.

Al Dr. Javier López Upton, por sus valiosas aportaciones, consejos y sugerencias en la realización de esta investigación.

Al Dr. J. Jesús Vargas Hernández por sus aportaciones en el planteamiento y análisis de resultados de este trabajo, así como los detalles finales de la investigación.

Al Dr. Dante A. Rodríguez Trejo por su asesoramiento y las sugerencias al escrito final de este trabajo.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vii
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Capítulo 2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Procedencias	4
2.2 Contenedores	6
2.3 Fechas de siembra	8
2.4 Calidad de planta	9
2.5 Daño por heladas	12
Capítulo 3. EFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA Y TAMAÑO DE CONTENEDOR EN EL CRECIMIENTO DE CINCO PROCEDENCIAS DE <i>Pinus patula</i> EN VIVERO	15
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
3.1 INTRODUCCIÓN	17
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.2.1 Ubicación del experimento	18
3.2.2 Fase de vivero	18
3.2.3 Fase de campo	21
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
3.3.1 Evaluación en vivero	23
3.3.2 Evaluación en campo	33
3.4 CONCLUSIONES	34
Capítulo 4. EFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA Y TAMAÑO DE CONTENEDOR EN EL CRECIMIENTO DE CINCO PROCEDENCIAS DE <i>Pinus greggii</i> EN VIVERO	36

RESUMEN	36
ABSTRACT	37
4.1 INTRODUCCIÓN	38
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS	39
4.2.1 Ubicación del experimento	39
4.2.2 Fase de vivero	39
4.2.3 Fase de campo	42
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.3.1 Evaluación en vivero	44
4.3.2 Evaluación en campo	49
4.4 CONCLUSIONES	50
Capítulo 5 LITERATURA CITADA	51

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Características y localización de las fuentes de semilla de <i>Pinus patula</i> utilizadas en el experimento.	19
Cuadro 2. Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para los diferentes factores y características de las plantas evaluadas en <i>Pinus patula</i> al final de la etapa de vivero.	23
Cuadro 3. Valores promedio de las características morfológicas evaluadas en la producción de plántulas de <i>Pinus patula</i> en función de la fecha de siembra.	24
Cuadro 4. Valores promedio de las características morfológicas evaluadas en la producción de plántulas de <i>Pinus patula</i> en función del contenedor.	25
Cuadro 5. Valores promedio de las características morfológicas evaluadas en la producción de plántulas de <i>Pinus patula</i> en función del procedencia de la semilla.	26
Cuadro 6. Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para la variable supervivencia de plantas de <i>Pinus patula</i> en campo.	33
Cuadro 7. Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para la variable daños por helada en plantas de <i>Pinus patula</i> en campo.	34
Cuadro 8. Características y localización de las fuentes de semilla de <i>Pinus greggii</i> utilizadas en el experimento.	40
Cuadro 9. Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para los diferentes factores y características de las plantas evaluadas en <i>Pinus greggii</i> al final de la etapa de vivero.	44
Cuadro 10. Valores promedio de las características morfológicas evaluadas en la producción de plántulas de <i>Pinus greggii</i> en función del contenedor.	45
Cuadro 11. Valores promedio de las características morfológicas evaluadas en la producción de plántulas de <i>Pinus greggii</i> en función del procedencia de la semilla.	46

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Relación parte aérea/raíz en la interacción fecha*contenedor para plántulas de <i>Pinus patula</i> . Las barras representan el error estándar.	27
Figura 2. Crecimiento promedio en altura de las diferentes procedencias en cada fecha de siembra.	29
Figura 3. Biomasa radical promedio de las diferentes procedencias en función del contenedor.	30
Figura 4. Crecimiento promedio en altura de las diferentes procedencias en cada tipo de contenedor.	31
Figura 5. Biomasa total promedio para plantas de cinco procedencias de <i>Pinus patula</i> en función de la fecha de siembra y el tamaño del contenedor.	32
Figura 6. Biomasa radical en la interacción fecha*contenedor para plántulas de <i>Pinus greggii</i> .	47
Figura 7. Biomasa radical promedio de las diferentes procedencias en cada fecha de siembra.	49

EFFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA Y TAMAÑO DE CONTENEDOR EN EL CRECIMIENTO DE DOS ESPECIES DE PINO EN VIVERO

**Cirilo Rodríguez Méndez, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2013.**

RESUMEN

En este estudio se evaluó el efecto de dos fechas de siembra (13 de octubre y 11 de noviembre) y dos tamaños de contenedor (137 y 220 cm³) en cinco procedencias de *Pinus patula* en vivero y en campo. Se realizó una evaluación de características morfológicas en vivero y una evaluación de supervivencia en campo. La fecha de siembra temprana (13 de octubre) incrementó significativamente ($p < 0.05$) las variables altura, diámetro, biomasa (aérea, radical y total), índice de esbeltez y relación parte aérea raíz. En el caso del tamaño del contenedor, el de mayor volumen (220 cm³) presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) en todas las variables mencionadas y el índice de calidad de Dickson (ICD). En relación a las procedencias, se observó que los materiales de sitios con condiciones ambientales adversas (Tlaxco y Zacatlán) presentaron desempeños menores que aquellas procedentes de lugares con temperaturas promedio y precipitaciones más favorables (Ahuazotepec, Apulco y Huayacocotla) generándose dos grupos con tendencias diferentes ($p < 0.05$) en altura, índice de esbeltez e ICD. En el caso de las interacciones entre factores fueron importantes las diferencias ($p < 0.05$) generadas en las variables de biomasa (aérea, radical y total) donde se observó un efecto diferenciado en cada uno de los casos teniéndose al final que la combinación de fecha de siembra (11 de noviembre) y el contenedor de 220 cm³ generaron para cada procedencia los mayores estándares que las otras combinaciones. En campo, se evaluó supervivencia encontrándose que las plántulas de la segunda fecha de siembra (Noviembre 11) presentaron mayores valores ($p < 0.05$) que las otras dadas las condiciones ambientales adversas (sequía y heladas) en el sitio de plantación.

Para *P. greggii*, en vivero los factores que de forma individual presentaron diferencias ($p < 0.05$), fueron el tamaño del contenedor, el de mayor volumen (220 cm³) generó diferencias significativas ($p < 0.05$) para las variables altura, diámetro, biomasa (aérea, radical y total), índice de esbeltez y relación parte aérea raíz y el ICD. En relación a las procedencias, se

observaron diferencias en todas las variables evaluadas a excepción de la biomasa radical. Cabe destacar que la población Pontadhó presentó los mejores desempeños en las variables evaluadas a pesar de presentar las condiciones ambientales de origen más adversas de todas las procedencias (Cebada, Laguna Seca, Madroño y Palma). En el caso de las interacciones entre factores (fecha*contenedor) se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para las variables biomasa aérea, radical y total. En campo, se evaluó supervivencia pero no se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el factores de estudio dadas las condiciones ambientales adversas (sequía y heladas).

ABSTRACT

In this study we evaluated the effect of two sowing dates (October 13 and November 11) and two container sizes (137 and 220 cm³) in five provenances of *Pinus patula* in the nursery and field. There was an evaluation of morphological characteristics in nursery and an evaluation of survival in the field. The early planting date (October 13) increased significantly ($p < 0.05$) the variables height, diameter, biomass (aerial, root and total), sturdiness quotient and shoot/root ratio. In the case of container size, the largest volume (220 cm³) showed significant differences ($p < 0.05$) in all the variables and Dickson quality index (DQI). Regarding to provenances, seeds from sites exposed to severe environmental conditions (Tlaxco and Zacatlán) had lower performance than those from sites with more favorable average temperatures and rainfall (Ahuazotepec, Apulco and Huayacocotla). This generates two groups with different trends ($p < 0.05$) in height, sturdiness quotient and DQI. There were significant ($p < 0.05$) between sowing date and container size for biomass variables (air radical and total). The combination of sowing date (November 11) and 220 cm³ container generated for each provenance the highest standards compared to other combinations. Field survival was significantly better ($p < 0.05$) for seedlings sowed late (November 11) in the nursery because of the severe environmental conditions (drought and frost) of the planting site.

For *Pinus greggii* in the nursery the factors individually differences ($p < 0.05$), were the size of the container, the larger volume (220 cm³) produced significant differences ($p < 0.05$) for the variables height, diameter, biomass (aerial, root and total), sturdiness quotient, shoot/root ratio and Dickson quality index (DQI).. Regarding sources, differences were observed in all variables except root biomass. Notably Pontadhó population presented the best performance in the evaluated variables despite having environmental conditions more adverse home from all sources (Cebada, Laguna Seca, Madroño and Palma). In the case of interactions between factors (date * container) showed significant differences ($p < 0.05$) for biomass variables, radical and total. In field survival was evaluated but no significant differences ($p < 0.05$) in the study factors because of the severe environmental conditions (drought and frost) of the planting site.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

La plantación de especies forestales en México se ha visto impulsada de una manera constante desde fines del siglo pasado y continúa con esta tendencia por los apoyos gubernamentales a esta actividad. Por medio de estas acciones se busca mitigar los fenómenos de degradación del ambiente (cambio climático global, pérdida de la biodiversidad, erosión, cambio de uso del suelo) o bien, proveer la materia prima (maderable y no maderable) para la industria de muebles, del papel, y de la construcción, entre otras.

México ocupa el primer lugar mundial en diversidad de especies del género *Pinus*, y debido a la gran variación climática y topográfica forman parte importante de un buen número de comunidades vegetales, generando un complejo mosaico de ecosistemas forestales con una amplia riqueza en flora y paisaje. Perry (1991) considera la presencia natural de alrededor de 72 taxa en el país (especies, variedades y formas), de los cuales un alto porcentaje de ellos son endémicos.

Dentro de las especies endémicas se encuentran *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et. Cham. y *P. greggii* Engelmam ex Parlatore que tienen un uso importante en plantaciones con fines de conservación, restauración y/o protección de suelos. En el caso de *P. patula* se considera también su gran potencial productivo y capacidad para adaptarse a diferentes condiciones climáticas y suelos; es ampliamente utilizado para la producción de madera para aserrío y de material celulósico en plantaciones comerciales en varios países alrededor del mundo (Dvorak *et al.* 2000).

Muchos de los esfuerzos dedicados a la forestación o reforestación de las áreas con aptitud preferentemente forestal se han visto limitados por la falta de conocimiento en relación al uso de germoplasma adecuado para cada zona. En particular se requiere conocer las procedencias con las características idóneas para superar los factores ambientales adversos (sequía, fuego, heladas, etc.) o bien que, en condiciones favorables, consigan los

rendimientos máximos en el producto u objetivo para el que son empleadas (producción madera, captura de carbono, recuperación de los mantos freáticos, producción de exudados, fibras, entre otros.).

Aunado a lo anterior, aún no se adopta de manera correcta el concepto de calidad de planta, bajo el cual un árbol de calidad es aquel que, producto del germoplasma utilizado y de las prácticas culturales en el vivero, tiene la capacidad de sobrevivir y crecer en un ambiente dado, al soportar, en primer instancia, las condiciones limitantes del sitio (sequías, heladas, competencia de herbáceas) y posteriormente presentar un crecimiento satisfactorio en diámetro y altura.

Entre los factores limitantes para el establecimiento y desarrollo de los árboles en campo, eventos climáticos extremos como las heladas y la sequía juegan un papel importante, por el hecho de que muchas de las áreas en las que se requiere el establecimiento de plantaciones en el centro del país presentan una temporada en el año en la cual se presentan estos fenómenos. Por otro lado, los escenarios de cambio climático han generado una serie de alteraciones climáticas, presentándose heladas en épocas no convencionales y con mayor intensidad y frecuencia, de ahí que las prácticas culturales en vivero sean cada vez más importantes para preparar las plantas adecuadamente para hacer frente a estos factores adversos.

Las prácticas de cultivo en el vivero deben realizarse en función al objetivo de la plantación y a los sitios seleccionados para tal fin. Con base en ello, se puede planificar la elección adecuada de los insumos de producción (sustratos, fertilizantes, semilla y contenedores), la fecha de siembra, el manejo del riego y la sombra, entre otros.

El tamaño y tipo de contenedor también juega un papel importante en la calidad de planta a obtener, así como en relación a los costos de producción y manejo. A mayor volumen de cavidad se incrementa la cantidad de sustrato, fertilizante, agua y espacio, de ahí que la elección del tipo de contenedor adecuado sea de gran importancia para mantener el equilibrio entre la calidad de planta y la optimización de los recursos.

La fecha de siembra es una variable escasamente estudiada a nivel general, aunque destaca su importancia ya que en función de ella se hace la planeación y la selección de insumos e

infraestructura de producción, como por ejemplo el tipo de contenedor, la cantidad y tipo de fertilizantes a utilizar y la periodicidad del riego. Por otro lado, el conocer y manejar de manera adecuada la fecha de siembra permite planificar la salida de la planta a campo en función de una talla (diámetro y altura) adecuada para el sitio de plantación.

En el presente estudio se investigó el efecto del tamaño del contenedor y la fecha de siembra en las características de crecimiento de la planta de diferentes procedencias de *Pinus patula* var. *patula* y *P. greggii* var. *australis* Donahue & López tanto en la fase de vivero como en su desempeño posterior en campo. Los objetivos planteados fueron (i) evaluar el efecto del tamaño del contenedor y la fecha de siembra en los indicadores morfológicos de calidad de planta producida en vivero de las dos especies de pino y (ii) evaluar el daño por heladas tempranas en plantas de ambas especies establecidas en campo.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Procedencias

La mayor parte de la gente piensa que la biodiversidad es el número de especies (riqueza de especies) en un área, lo cual ciertamente es un componente muy importante de la variación, pero hay otros niveles de biodiversidad que también son importantes. Una gran cantidad de la variación genética reside dentro de especies, entre y dentro de poblaciones. Los procesos evolutivos que moldean la variación dentro de especies son los mismos que crean la diversidad entre especies, de ahí la importancia de cualquier evento o disturbio natural o artificial que influya sobre el crecimiento y supervivencia de los individuos en las poblaciones (Furnier, 2004).

En México las comunidades vegetales más diversas son los bosques templados, ya que registran el mayor número de géneros (1,656) a nivel general, seguidos por los matorrales xerófilos (1,381), los bosques tropicales secos (1,276) y los bosques tropicales húmedos (1,244). A primera vista se puede pensar que los ecosistemas tropicales pudiesen ser más diversos, para ello se realizó el cálculo de un índice de diversidad por tipo de vegetación, al dividir el número de géneros entre el \log_{10} de la superficie ocupada por el tipo de vegetación en México; al calcular este índice, a excepción de los templados, todos los tipos de vegetación manifiestan una riqueza genérica balanceada, con un promedio de alrededor de 240 géneros por unidad de superficie. Los bosques templados tienen alrededor de 300 géneros en la misma superficie (Villaseñor, 2004).

Considerando las pruebas y registros recientes relacionados a la biodiversidad y enfocando esfuerzos en conocer los patrones de variación dentro de las especies de interés, se pueden generar patrones que determinen la manera en que se explote y conserve estos recursos. Si hay pocas diferencias entre poblaciones, la pérdida de cualquier población no es tan grave debido a que no perdemos una unidad única genéticamente. Por otra parte, si las

poblaciones son muy diferenciadas, cada una representa un recurso único y tendremos que mantener más poblaciones en programas de conservación y mejoramiento (Furnier, 2004).

Uno de los retos constantes para México es frenar la degradación de los ecosistemas naturales, que sufren de una pérdida casi constante de superficie y con ello de especies animales y vegetales de suma importancia (endémicas y/o en peligro de extinción). El gobierno en sus tres niveles ha impulsado estrategias de conservación y restauración de ecosistemas, que en la mayoría de los casos presentan resultados limitados por diversos factores, entre los que destacan una planeación deficiente, caracterización de sitios de manera superficial y selección de especies y procedencias de manera inadecuada (SEMARNAT, 2013).

En épocas recientes se reconoció la importancia de los recursos genéticos nativos, debido a que las adaptaciones y la variación genética existentes dentro de las poblaciones locales son las únicas y las principales (y en algunos casos las únicas) fuentes de semilla certificables para satisfacer las necesidades de los programas de plantación y de mejoramiento genético forestal. Conforme se intensifican las actividades de manejo forestal, se recolectan semillas y las plantas se establecen en nuevas localidades para cumplir diversos objetivos (Conkle, 2004); sin embargo, en la mayoría de los viveros mexicanos todavía producen los árboles sin ningún control sobre la procedencia de la semilla. Plántulas de las procedencias del sur se establecen en condiciones del norte o viceversa, lo que puede resultar en una alta mortalidad durante la etapa de establecimiento de la plantación (Aldrete *et al.*, 2005).

La relevancia de utilizar materiales nativos (procedencias) en los diferentes trabajos de plantación forestal con fines comerciales o de restauración radica en que el control genético de caracteres de comportamiento (crecimiento, producción, supervivencia), tiene su origen en diversas características fisiológicas desarrolladas a partir de distintas presiones de selección (Climent *et al.*, 2002) en los lugares de origen del germoplasma.

La importancia de la correcta elección de la especie y la procedencia dentro de la misma ha quedado evidenciada en diferentes trabajos. Sáenz *et al.* (2011) describen un patrón de variación genética, aunque débil, a lo largo de un gradiente altitudinal en poblaciones de

Pinus patula del estado de Oaxaca; en este caso las poblaciones procedentes de menor altitud muestran un mayor crecimiento en altura y en peso seco aéreo de las plántulas, en comparación con poblaciones de mayor elevación.

Generar la información necesaria para la correcta toma de decisiones en cuanto a elección de materiales a propagar o implementar en proyectos de restauración o plantación comercial implica la correcta caracterización de los sitios de colecta, el manejo adecuado del germoplasma, y el establecimiento del mismo en pruebas tanto de vivero como en campo. Estos ensayos permiten observar el comportamiento y capacidad del germoplasma para responder a los diferentes esquemas de manejo y a la presión ambiental existente en las áreas en las cuales se pretende establecer. Asimismo, este proceso retroalimenta a la investigación ya que permite generar nuevos paquetes tecnológicos y estrategias de manejo para maximizar las ventajas que pudiesen presentar las procedencias con mejor desempeño (Conkle, 2004).

2.2 Contenedores

El termino contenedor hace referencia a un envase que se puede considerar en forma individual o un bloque entero de celdas o cavidades, que contiene al sustrato o medio de crecimiento para el sistema radical de la planta e influye en el desarrollo de la parte aérea (Landis, 1990). Existe una gran cantidad de diseños (forma, tamaño, con presencia o ausencia de “costillas” longitudinales, aberturas laterales) en diferentes materiales (plástico, poliestireno, papel) y se han realizado pruebas en combinación con diferentes factores (sustratos, fertilizantes, germoplasma, fechas de plantación y sistemas de preparación del suelo, entre otros) con el objetivo de llegar a definir al contenedor “ideal” para la producción de plantas en vivero.

El sistema de producción en contenedor o “sistema de producción tecnificado” ha desplazado a la producción de planta forestal en el “sistema de producción tradicional” o en bolsa de polietileno en la última década (UACH-DiCiFo, 2009). Además, la mayor parte de la planta que la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) financia se desarrolla en este

esquema productivo; por esta razón es importante estudiar el efecto del tipo y tamaño de contenedor de acuerdo al objetivo establecido (restauración o plantación comercial).

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 de suma importancia, 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 competitiva.

Aspectos como el tamaño del contenedor (altura y diámetro), volumen, espaciamiento (densidad de cavidades/m²), diseño para re-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, 1990).

Chirino *et al.* (2008) en un trabajo con *Quercus suber* L., mencionan que el cultivo en recipientes profundos (altura) mejora las características morfo-funcionales y la calidad de las plántulas de dicha especie. Sostiene que los contenedores profundos producen plántulas con una raíz pivotante, misma que rápidamente puede llegar a los horizontes más profundos del suelo y generar un mayor crecimiento en el número y biomasa de las raíces nuevas.

En *Pinus pinea*, Domínguez *et al.* (2006) encontraron una relación positiva entre el tamaño del contenedor y el crecimiento de las plantas, ya que contenedores de mayor volumen produjeron plántulas con mayor altura y diámetro, mayor contenido de nutrientes y mejor rendimiento en el campo después de una evaluación de un ciclo de producción en vivero y tres años después de la plantación. En un enfoque de costo/beneficio, Altamash *et al.* (2009) consideran que los contenedores que maximizan los beneficios en la producción de *Pinus wallichiana* son los de 100 y 150 cm³. Con base en un enfoque económico se considera que en los envases de mayor capacidad (300 cm³) no se obtienen niveles de

utilidad adecuados por cada peso invertido. Lo anterior contrasta con la mayoría de las investigaciones consultadas, aunque cabe destacar que en este caso se toma en cuenta la relación de los costos que implica la elección de un contenedor mientras que en otros trabajos se evalúan supervivencia, desarrollo en campo e indicadores de calidad.

Para Aphalo y Rikala (2003), además del efecto directo por el uso de contenedores de mayor volumen, se debe considerar un efecto adicional de la densidad (cavidades/m²) en el desempeño en campo de *Betula pendula* Roth (abedul plateado), ya que en el primer año de la plantación, la relación parte aérea/parte radical fue influenciada positivamente por el efecto combinado de un mayor volumen de cavidad y la menor densidad en la cama de crecimiento en vivero. Asimismo, los autores consideran que las mediciones de biomasa son el mejor predictor del desempeño en campo para esta especie. Los trabajos en los cuales se considera al contenedor como parte de una serie de factores a evaluar o bien su influencia en otras prácticas culturales han sido diversos; en un experimento se evaluó el efecto de la fertilización y el volumen de contenedor sobre *P. densiflora* y *P. thunbergii* (Jeong *et al.*, 2010). Fue patente la relación directa entre el desarrollo de la planta de ambas especies debido al efecto positivo de encontrarse una mayor cantidad de nutrimentos disponibles ya que el crecimiento de las plantas estuvo en función de la interacción volumen de contenedor/fertilización. Los testigos (tratamientos sin fertilización) no mostraron diferencias significativas en crecimiento, de ahí que en este caso se considere a la disponibilidad de nutrimentos como el factor limitante para el desarrollo de ambas especies.

2.3 Fechas de siembra

En función de los componentes del sistema de producción utilizado (insumos y prácticas culturales) se deben generar los esquemas de planeación, organización y ejecución para producir una planta de calidad ya sea para restauración de áreas degradadas, protección de recursos (suelo, agua, fauna) o bien para plantaciones comerciales. La fecha de siembra se considera como una práctica cultural en el vivero, influenciada por decisiones de planeación que se toman en función del hábito de crecimiento de la especie a producir, del

estándar de calidad que debe cubrir (altura, diámetro del cuello de la raíz), la intensidad de manejo (riego, fertilización, manejo de sombra) y de la época de plantación establecida (Pimentel, 2009).

2.4 Calidad de planta

El concepto “calidad de planta” es uno de los más utilizados en términos generales, pero no por ello ha sido correctamente entendido. Presenta una evolución importante a lo largo de los años, ya que según al autor que se consulte se pueden tener diferentes enfoques. Para entender mejor el concepto es válido, en primera instancia, obtener una definición de calidad; para Gutiérrez (1989) 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.

Duryea (1985) define a una planta de calidad como aquella que reúne las características morfológicas y fisiológicas adecuadas para sobrevivir y crecer satisfactoriamente bajo las condiciones ambientales del sitio en que será plantada. Para Johnson y Cline (1991), la mejor planta es aquella que se puede producir a un bajo costo, además de que se ajuste a la preparación del sitio y al sistema de plantación, al mismo tiempo pueda sobrevivir y crecer bien después del trasplante.

En términos generales, las definiciones anteriores centran su atención en especificaciones morfológicas y fisiológicas, y en como los resultados evaluados en vivero impactan el desarrollo en campo. Asimismo, se consideran situaciones relacionadas al ambiente de plantación como los métodos de preparación del sitio. Cetina *et al.* (2002) realizó diferentes prácticas culturales con el objetivo de mejorar la calidad de planta en vivero y por ende su desempeño en campo. Encontró que la poda de tallo en vivero estimuló significativamente la eficiencia fisiológica y el crecimiento en campo de *P. greggii*, aunque no necesariamente la supervivencia de las plantas evaluadas. En el caso de la poda de raíz no tuvo efectos significativos y por último, la sequía edáfica (-1.23, -2.53 MPa) aplicada en vivero mediante suspensión del riego, produjo una disminución en campo tanto de los procesos fisiológicos evaluados (asimilación de CO₂, acumulación de azúcares solubles y almidón)

como del crecimiento de la especie, por lo que no se le considera como una técnica recomendable para mejorar la calidad de planta producida en vivero.

Sosa y Rodríguez (2003) observaron las diferencias en campo en el establecimiento de *Pinus patula* en dos sitios, uno de los cuales contó con el tratamiento de quema controlada y el otro sin quema; utilizaron cuatro clases de tamaño de planta en ambos sitios obteniendo resultados a un año de realizada la plantación. La supervivencia no fue afectada por los factores tratamiento (quema y no quema), categoría de altura e interacción entre tales factores. En lo relacionado a las clases de tamaño, la planta chica y la mediana registraron mayor tasa relativa de crecimiento en altura, y biomasa.

Enfoques más recientes en el tema de calidad de planta tratan de explicar el comportamiento de planta bajo cualquiera de los sistemas de producción y prácticas culturales en vivero, así como las interacciones que sufre al momento de plantar, en función de labores “complementarias” como la preparación del terreno y la correcta elección de la fecha de plantación. Para Landis y Dumroese (2007) no existe ninguna planta para todo uso, ya que cada proyecto de plantación requiere diferentes especies y tipos de acciones. Aunque se trate de las mismas especies, las plantas a utilizarse en plantaciones con fines productivos o de conservación son muy diferentes a aquellas producidas con fines ornamentales (Landis *et al.*, 2010).

Los viveristas y plantadores pueden utilizar el concepto de “planta objetivo” que toma en cuenta un abanico de características “tradicionales” (como son los parámetros morfológicos y fisiológicos) así como acciones o herramientas complementarias (preparación del terreno y fechas de plantación). Para Landis *et al.* (2010) una planta objetivo es aquella que ha sido cultivada para sobrevivir y crecer en un sitio determinado de plantación, y puede ser definida en una secuencia de seis componentes: objetivo del proyecto de plantación, tipo de material de plantación, consideraciones genéticas, factores limitantes en el sitio de plantación, época apropiada de plantación y técnicas y herramientas de plantación. Este enfoque es mucho más dinámico, ya que implica una relación adecuada de comunicación y retroalimentación de parte de los encargados de las áreas de producción de planta y de los responsables de las plantaciones.

Navarro *et al.* (2006a) establece que para comprender el establecimiento de brinzales forestales es necesario conocer mejor la expresión y la dependencia de las distintas características de la planta, su evolución en el tiempo y la capacidad del brinzal para ajustarlas ante situaciones cambiantes como las que impone la plantación. Para Villar (2003) las diferencias ecotípicas que a menudo existen entre poblaciones de una especie se pueden traducir en distintas capacidades funcionales de sus individuos y, por tanto, en una disminución en su desempeño en plantaciones de restauración si no se emplean materiales de reproducción de orígenes adecuados. La complejidad del problema implica valorar las interacciones múltiples entre los atributos de calidad de planta, unido a los restantes factores ambientales que condicionan el establecimiento; de lo contrario, las indicaciones sobre la importancia de cada uno de los factores considerados individualmente pueden ser contradictorias (Navarro *et al.*, 2006a).

Criterios morfológicos

Los criterios morfológicos para evaluar el desarrollo de planta en vivero fueron de los primeros en ser considerados en estudios e investigaciones pioneros en el área; ya que presentan cierto nivel de “facilidad” para su monitoreo y por las limitantes iniciales que se tenían en cuanto a protocolos de manejo de materiales en laboratorio y la especialización del personal que llevaba a cabo los trabajos. Actualmente se cuentan con herramientas mucho más sofisticadas para la evaluación de la calidad de planta, aunque no por ello se deja de lado el monitoreo de estos atributos (altura, diámetro al cuello de la raíz, peso seco aéreo y peso seco de la raíz), ya que de manera práctica los técnicos y encargados de viveros pueden realizar estimaciones y ajustes a su programa de producción de manera rápida (Navarro *et al.*, 2006b).

Villar (2003) menciona que los criterios morfológicos o “calidad morfológica” de una planta dependen, en gran medida, de sus características genéticas y se refiere a los estados que pueden adoptar un conjunto de atributos funcionales más o menos plásticos relacionados con la economía hídrica y de carbono de la planta (atributos fisiológicos).

La altura es la característica morfológica de más fácil medición, que por sí sola puede ser un indicador “poco confiable”, pero combinada con el diámetro y la arquitectura del tallo

adquiere importancia (Mexal y Landis, 1990). En pocos casos ha llegado a ser un buen indicador de calidad de planta; para Sosa y Rodríguez (2003) la planta de menor porte puede ser afectada negativamente en sitios donde la competencia interespecífica entre los árboles, zacates y arbustos es importante durante la fase de establecimiento.

Es más confiable usar varios criterios morfológicos para evaluar la calidad de planta; relacionado a ello se han generado diversos métodos para vincular los efectos de dichos criterios generando diversos índices a partir de las variables mencionadas (altura, diámetro, peso o biomasa aérea y radical); por ejemplo, la relación peso seco aéreo entre peso seco radical y el índice de esbeltez. La relación peso seco aéreo entre peso seco radical, representa la proporción entre el sistema de transpiración y uso de agua y el sistema de absorción de agua y nutrientes (raíces). El índice de esbeltez se obtiene dividiendo la altura de la plántula (cm) entre el diámetro a la altura del cuello de la raíz (mm) (Sosa y Rodríguez, 2003).

El índice de calidad de Dickson es considerado el más confiable ya que involucra a todas las variables mencionadas: altura, diámetro al cuello de la raíz, peso seco (biomasa) aéreo y peso seco (biomasa) radical; así como al peso seco (biomasa) total (Dickson *et al.*, 1960); se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$ICD = \frac{Peso\ seco\ total\ (g)}{\frac{Altura\ (cm)}{Diámetro\ (mm)} + \frac{Peso\ seco\ aéreo\ (g)}{Peso\ seco\ radical\ (g)}}$$

2.5 Daños por heladas

La definición de helada y congelación (por asociación) es bastante vaga en buena parte de la literatura; por ello no es de extrañar que se tengan diferentes enfoques al respecto. Para Cunha (1982) una helada se presenta cuando la temperatura del aire es inferior o igual a 0 °C, coadyuvando a la formación de cristales de hielo sobre las superficies, tanto por congelación del rocío como por un cambio de fase de vapor de agua a hielo.

Las heladas se pueden presentar en dos ámbitos: “advectiva” y “radiativa”. Las heladas advectivas están asociadas con incursiones a gran escala de aire frío en una atmósfera con viento y bien mezclada y una temperatura que a menudo está por debajo de cero, incluso durante el día. Las heladas de radiación están asociadas con el enfriamiento debido a la pérdida de energía por el intercambio radiante durante las noches despejadas y en calma, y con inversiones de temperatura (i.e. la temperatura aumenta con la altura). En algunos casos se produce una combinación de condiciones advectivas y radiativas (Kalma *et al.*, 1992)

Las definiciones sugeridas por Snyder y Abreu (2010) facilitan en gran parte el entendimiento tanto del fenómeno como de las afectaciones que origina: una “helada” es la ocurrencia de una temperatura del aire de 0 °C o inferior, medida a una altura de entre 1,25 y 2,0 m por encima del nivel del suelo, dentro de una garita meteorológica adecuada. El agua dentro de las plantas puede que se congele o no durante un evento de helada, dependiendo de varios factores de evitación (*e.g.* superenfriamiento y concentración de bacterias nucleadoras de hielo). Una “congelación” ocurre cuando el agua extracelular dentro de la planta se congela (i.e. cambia de líquido a sólido). Esto puede o no dañar el tejido de la planta, según los factores de tolerancia (*e.g.* contenido de solutos de las células). Un evento de helada se convierte en un evento de congelación cuando se forma hielo extracelular dentro de las plantas. El daño por congelación ocurre cuando la temperatura del tejido de las plantas cae por debajo de un valor crítico donde hay condición fisiológica irreversible que conduce a la muerte o al funcionamiento incorrecto de las células de las plantas. Esta temperatura que produce el daño de los tejidos se correlaciona con las temperaturas del aire denominadas “temperaturas críticas” medidas en garitas con instrumentos estándar.

En relación a trabajos realizados en especies forestales, se tiene la caracterización del comportamiento de procedencias de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco ante heladas tardías en Argentina (Martínez *et al.*, 2005). En este trabajo los autores pretenden encontrar las vías o pautas a seguir para proponer un esquema de mejoramiento genético en el cual los materiales con mejor desempeño se seleccionen, se crucen y propaguen en plantaciones forestales comerciales. En un enfoque parecido, Hodge *et al.* (2012) trabajó con 14 especies y variedades de pinos de México, América Central y el sur y el oeste de USA que se

utilizan en plantaciones comerciales en el hemisferio sur (Brasil y Sudáfrica). Encontraron que entre las especies que mejor respondieron, existen diferencias atribuibles a las fuentes de semilla (procedencias) de cada una, en relación a la elevación sobre el nivel del mar en la cual se desarrollan. Sáenz *et al.* (2011) sugiere que las poblaciones de especies de coníferas que crecen a lo largo de gradientes altitudinales (por ejemplo, a lo largo de las laderas de las montañas), en muchos casos se diferencian genéticamente y adaptan a las características ambientales de los sitios en donde crecen. Esto es, poblaciones ubicadas a menor altitud, tienen un mayor potencial de crecimiento, por estar genéticamente condicionadas a aprovechar al máximo las condiciones favorables de temperaturas que ocurren a bajas altitudes. En contraste, poblaciones de mayor altitud están genéticamente condicionadas a tener un menor crecimiento y de esa manera escapar al posible daño por bajas temperaturas que ocurren en invierno, que son más comunes a mayor elevación.

CAPÍTULO 3

EFFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA Y TAMAÑO DE CONTENEDOR EN EL CRECIMIENTO DE CINCO PROCEDENCIAS DE *Pinus patula* EN VIVERO

RESUMEN

En este estudio se evaluó el efecto de dos fechas de siembra (13 de octubre y 11 de noviembre) y dos tamaños de contenedor (137 y 220 cm³) en cinco procedencias de *Pinus patula* en vivero y en campo. Se realizó una evaluación de características morfológicas en vivero y una evaluación de supervivencia en campo. La fecha de siembra temprana (13 de octubre) incrementó significativamente ($p < 0.05$) las variables altura, diámetro, biomasa (aérea, radical y total), índice de esbeltez y relación parte aérea raíz. En el caso del tamaño del contenedor, el de mayor volumen (220 cm³) presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) en todas las variables mencionadas y el índice de calidad de Dickson (ICD). En relación a las procedencias, se observó que los materiales de sitios con condiciones ambientales adversas (Tlaxco y Zacatlán) presentaron desempeños menores que aquellas procedentes de lugares con temperaturas promedio y precipitaciones más favorables (Ahuazotepec, Apulco y Huayacocotla) generándose dos grupos con tendencias diferentes ($p < 0.05$) en altura, índice de esbeltez e ICD. En el caso de las interacciones entre factores fueron importantes las diferencias ($p < 0.05$) generadas en las variables de biomasa (aérea, radical y total) donde se observó un efecto diferenciado en cada uno de los casos teniéndose al final que la combinación de fecha de siembra (11 de noviembre) y el contenedor de 220 cm³ generaron para cada procedencia los mayores estándares que las otras combinaciones. En campo, se evaluó supervivencia encontrándose que las plántulas de la segunda fecha de siembra (Noviembre 11) presentaron mayores valores ($p < 0.05$) que las otras dadas las condiciones ambientales adversas (sequía y heladas) en el sitio de plantación.

CHAPTER 3

EFFECT OF PLANTING DATE AND SIZE OF CONTAINER IN FIVE SOURCES OF *Pinus patula* GROWTH IN NURSERY

ABSTRACT

In this study we evaluated the effect of two sowing dates (October 13 and November 11) and two container sizes (137 and 220 cm³) in five provenances of *Pinus patula* in the nursery and field. There was an evaluation of morphological characteristics in nursery and an evaluation of survival in the field. The early planting date (October 13) increased significantly ($p < 0.05$) the variables height, diameter, biomass (aerial, root and total), sturdiness quotient and shoot/root ratio. In the case of container size, the largest volume (220 cm³) showed significant differences ($p < 0.05$) in all the variables and Dickson quality index (DQI). Regarding to provenances, seeds from sites exposed to severe environmental conditions (Tlaxco and Zacatlán) had lower performance than those from sites with more favorable average temperatures and rainfall (Ahuazotepec, Apulco and Huayacocotla). This generates two groups with different trends ($p < 0.05$) in height, sturdiness quotient and DQI. There were significant ($p < 0.05$) between sowing date and container size for biomass variables (air radical and total). The combination of sowing date (November 11) and 220 cm³ container generated for each provenance the highest standards compared to other combinations. Field survival was significantly better ($p < 0.05$) for seedlings sowed late (November 11) in the nursery because of the severe environmental conditions (drought and frost) of the planting site.

3.1. INTRODUCCIÓN

Pinus patula Schiede ex Schltdl. et. Cham. es una especie endémica que se encuentra entre las diez especies forestales más utilizadas en los programas de reforestación con fines de restauración o de producción en México (Conafor, 2012). Además, se encuentra entre las principales especies de coníferas utilizadas en plantaciones forestales comerciales en el mundo.

Muchos de los esfuerzos dedicados a la forestación o reforestación de las áreas con aptitud preferentemente forestal se han visto limitados por la falta de conocimiento en relación al uso de germoplasma adecuado para cada zona; en particular de la procedencia (orígenes nativos de una especie) más idónea que le permita adaptarse y crecer adecuadamente en un sitio en particular, y superar los factores ambientales adversos (*e.g.*, sequía, heladas, competencia, incendios) o bien que en condiciones favorables consiga los rendimientos máximos en el producto u objetivo deseado.

Las labores culturales como el riego, la fertilización y el manejo de sombra en vivero condicionan de manera importante el tipo de planta que se produce; de manera similar lo hace el tipo de contenedor utilizado, en particular su tamaño o volumen (Landis, 1990). El objetivo de encontrar el contenedor ideal que genere la mejor planta puede ser factible teóricamente; sin embargo, en el marco operativo se deben tomar en cuenta aspectos económicos para realizar la mejor elección ya que a mayor volumen de contenedor es mayor el costo de producción (Altamash *et al.*, 2009).

Por otro lado, en los sistemas de producción de planta tradicional o de contenedores, las prácticas culturales y la planificación de las mismas, como las fechas de siembra o los intervalos de riego en el vivero, han sido poco relacionados con el éxito o fracaso de las plantaciones forestales por falta de seguimiento y evaluación más allá del primer año.

En este contexto y como objetivo general de la investigación se realizó la evaluación del efecto del tamaño de contenedor y de la fecha de siembra sobre el crecimiento en vivero y la supervivencia en campo de plantas de *Pinus patula* de cinco procedencias. La hipótesis

general fue que los brinzales producidos en un tamaño de contenedor mayor y en una fecha de siembra temprana tienen un mejor desempeño en los diferentes indicadores de calidad de planta en cada una de las procedencias.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Ubicación del experimento

La investigación se realizó en dos fases; la producción de planta en vivero se llevó a cabo en un invernadero del Postgrado en Ciencias Forestales (PCF) del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México, ubicado geográficamente en las coordenadas 19° 29' N y 98° 54' O, a una altitud de 2240 m. El clima es del tipo C (Wo) (w) b (1) g' que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 750 mm y una temperatura media anual de 15.5 °C, cuya oscilación térmica es de 5 a 7 °C (García, 1973). La plantación en campo se estableció en terrenos del Ejido Francisco I. Madero, Jaltepec, en el municipio de Axapusco, Estado de México en las coordenadas 19° 41' N y 98° 38' O, a una altitud de 2850 m. El clima es de tipo templado subhúmedo con lluvias en verano; presenta inviernos fríos con alta frecuencia de heladas.

3.2.2 Fase de vivero

Se utilizó semilla de *Pinus patula* (var. *patula*) de recolectas realizadas por personal del PCF en las localidades de Ahuazotepec y Zacatlán, Puebla; Apulco, Hidalgo; Huayacocotla, Veracruz; y Tlaxco, Tlaxcala. Estas cinco poblaciones representan uno de tres factores de estudio en esta investigación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características y localización de las fuentes de semilla de *Pinus patula* utilizadas en el experimento.

Procedencia	Lat. N	Long. O	Altitud (msnm)	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)
Ahuazotepec	20° 01'	98° 09'	2,350	763	13.8
Apulco	20° 24'	98° 22'	2,280	875	15.4
Huayacocotla	20° 33'	98° 29'	2,100	1122	15.4
Tlaxco	19° 44'	98° 00'	2,800	780	12.0
Zacatlán	19° 56'	98° 01'	2,360	763	13.6

Se incluyeron 20 tratamientos en total, correspondientes a las combinaciones de los tres factores: procedencias (cinco fuentes), fecha de siembra (dos niveles) y tamaño de contenedor (dos niveles). El sustrato utilizado en todos los casos fue la mezcla convencional de turba de musgo, agrolita y vermiculita en proporción 2:1:1 en volumen, adicionando fertilizante de liberación controlada (Osmocote plus) en una dosis de 7 kg m^{-3} de sustrato.

Las dos fechas de siembra (segundo factor) fueron el 13 de octubre (F₁) y el 11 de noviembre (F₂) del 2009; los dos tamaños de contenedor (tercer factor) utilizados fueron 137 (C₁) y 220 cm³ (C₂) de capacidad. Los contenedores son de color negro y presentan una forma de cono truncado con medidas de 16.7 cm de largo, 4.6 cm de diámetro superior y 2.8 cm diámetro inferior para C₁ y 11.9 cm de largo, 6 cm de diámetro superior y 4.9 cm de diámetro inferior para C₂; además presentan ocho (C₁) y diez (C₂) costillas internas longitudinales para evitar el espiralamiento de la raíz.

El experimento se estableció en un arreglo factorial en bloques al azar, en cuatro camas de crecimiento de 1 m de ancho por 4 m de largo a 1 m del suelo. Por razones de manejo de las plantas en el vivero y para evitar efectos de competencia desigual entre unidades de

crecimiento de diferente fecha de siembra y tamaño de envase, los bloques estuvieron anidados dentro de contenedores y fechas de siembra. En el caso del contenedor C₁ se utilizaron rejillas de 7 x 7 contenedores, con 5 repeticiones (bloques) y para C₂ rejillas de 6 por 9 contenedores con tres repeticiones (bloques). De esta forma, la unidad experimental por tratamiento y repetición incluyó 49 y 54 plantas para C₁ y C₂, respectivamente. La semilla de las poblaciones evaluadas se asignó de manera aleatoria a las parcelas en cada bloque; el experimento incluyó un total de 80 parcelas o unidades experimentales.

El manejo de planta en vivero incluyó riegos ligeros y diarios durante la primera etapa de desarrollo (seis semanas) para cada fecha de siembra; riegos pesados cada dos días durante la etapa de crecimiento rápido y riegos ligeros cada tres días durante el endurecimiento de la planta. Se realizaron aplicaciones complementarias de fertilizante soluble (marca Peters) adicionándose una vez por semana en el agua de riego. En la etapa de crecimiento rápido se utilizó la formulación 20-20-20 y en la etapa de endurecimiento 4-25-35 en dosis de 70 ppm y 40 ppm, respectivamente.

Evaluación de características morfológicas

La evaluación de la planta en vivero se realizó al momento de iniciar la plantación, cuando las plantas tenían nueve (F₁) y ocho (F₂) meses a partir de la siembra; se utilizó una muestra de 12 plantas por parcela de la parte central de cada charola (no se usaron las del borde para evitar efectos de orilla). En estas plantas se determinó la altura total, el diámetro al cuello de la raíz, y el peso seco de la parte aérea y de la raíz. Cada uno de las plantas se extrajo del contenedor con cuidado para evitar daños a la parte aérea y a la raíz; se procedió a separar el sustrato de la raíz utilizando agua corriente en abundancia y con cuidado de no perder material en el proceso. Después se separó la parte aérea y radical con un corte a la altura del cuello de la raíz, se eliminó el exceso de humedad con papel absorbente y se procedió al empaquetado de ambas partes en bolsas de papel debidamente rotuladas. El peso seco de las muestras se determinó después de secarlas en horno a una temperatura de 70 °C durante 72 horas. Con los datos obtenidos se calculó el índice de esbeltez (relación entre la altura de la planta y el diámetro), la relación parte aérea/raíz, el peso total de la planta y el índice de calidad de Dickson con la siguiente ecuación (Dickson *et al.*, 1960):

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}}}$$

Análisis estadístico

Con los datos se realizó un análisis de varianza utilizando el procedimiento PROC MIXED del Programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002). El modelo estadístico utilizado para la fase de vivero es el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + F_i + C_j + FC_{ij} + B_{k(ij)} + P_l + FP_{il} + CP_{jl} + FCP_{ijl} + BP_{k(ij)l} + E_{ijklm}$$

donde, Y_{ijklm} es el valor observado de la m -ésima planta de la l -ésima población del k -ésimo bloque, dentro del j -ésimo tipo de contenedor en la i -ésima fecha de siembra, μ es la media poblacional; F_i es el efecto fijo de la i -ésima fecha de siembra; C_j es el efecto fijo del j -ésimo tipo de contenedor; FC_{ij} es el efecto fijo de la interacción fecha de siembra por tipo de contenedor; $B_{k(ij)}$ es el efecto aleatorio del k -ésimo bloque anidado en fecha y contenedor $\sim NID(0, \sigma_b^2)$; P_l es el efecto fijo de la l -ésima población; FP_{il} es el efecto fijo de la interacción fecha de siembra por población; CP_{jl} es el efecto fijo de la interacción contenedor por población; FCP_{ijl} es el efecto fijo de la interacción fecha de siembra por tipo de contenedor y por población; $BP_{k(ij)l}$ es el error experimental asociado a la variación entre unidades experimentales $\sim NID(0, \sigma_e^2)$; y E_{ijklm} es el error de muestreo asociado a la variación dentro de unidades experimentales $\sim NID(0, \sigma_m^2)$, i = fecha 1 y 2; j = contenedor de 137 y de 220 ml; k = 1,2,3 ó 5 bloques; l = 1, ... 5 procedencias; y m = 1,2,...,12 plantas.

3.2.3 Fase de campo

En el mes de julio de 2010 se estableció una plantación en el sitio descrito anteriormente con planta de los 20 tratamientos generados en la fase de vivero. Los árboles se plantaron a un espaciamiento de 2 x 3 m sobre la línea generada por subsoleo del sitio de plantación;

las cepas tuvieron un tamaño promedio de 30 x 30 x 30 cm. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, y 10 árboles por unidad experimental o parcela. El experimento incluyó un total de 80 unidades experimentales

Dadas las condiciones meteorológicas imperantes en el lugar de la plantación (vientos fuertes y temperaturas bajas) y la presencia de agentes de disturbio (tuzas y ganado) se procedió a realizar una evaluación de afectaciones causadas por animales y de daños por heladas en el mes de diciembre (propriadamente en el periodo de heladas). Para caracterizar los daños causados por bajas temperaturas se utilizó una escala cualitativa, es decir, que se basó en la apreciación general del estado de la planta, la cantidad de follaje con daño en relación al tamaño total del árbol y el vigor observado, con las siguientes categorías: daño ligero (DL), daño medio (DM), daño severo (DS) y muerto (M). Para efectos de la realización del ANOVA, las categorías mencionadas se convirtieron a una escala numérica de 1 (daño ligero) a 4 (muerto). Los árboles dañados por tuza (T) y pastoreo (P) no fueron tomados en cuenta para el análisis de resultados.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza utilizando el procedimiento PROC MIXED SAS, versión 9.0 (SAS Institute, 2002). Las variables a analizar fueron el daño por heladas, caracterizadas en tres niveles [ligero (1), medio (2) y severo (3)] y la supervivencia (vivo o muerto). El modelo estadístico utilizado para la fase de campo fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + B_i + F_j + C_k + FC_{jk} + P_l + FP_{jl} + CP_{kl} + FCP_{jkl} + BF_{CP_{ijkl}} + E_{ijklm}$$

donde, Y_{ijklm} es el valor observado del m-ésimo árbol de la l-ésima procedencia, del k-ésimo tipo de contenedor, en la j-ésima fecha en el i-ésimo bloque, μ es la media poblacional, B_i es el efecto aleatorio del i-ésimo bloque $\sim NID(0, \sigma_b^2)$; F_j es el efecto fijo de la j-ésima fecha de siembra; C_k es el efecto fijo del k-ésimo tipo de contenedor; FC_{jk} es el efecto fijo de la interacción fecha por contenedor; P_l es el efecto fijo de la l-ésima procedencia; FP_{jl} es el efecto fijo de la interacción fecha por procedencia; CP_{kl} es el efecto fijo de la interacción contenedor por procedencia; FCP_{jkl} es el efecto fijo de la interacción fecha por contenedor por procedencia; $BF_{CP_{ijkl}}$ es el error experimental asociado a la variación entre unidades experimentales $\sim NID(0, \sigma_e^2)$; y E_{ijklm} es el error de muestreo

asociado a la variación dentro de unidades experimentales \sim NID (0, σ^2_m); $i = 1, \dots, 4$ bloques; $j =$ fecha 1 y 2; $k =$ contenedores de 137 y de 220 ml; $l = 1, 2, \dots, 5$ procedencias y $m = 1, 2, \dots, 10$ plantas.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Evaluación en vivero

Análisis de Varianza

Se encontraron diferencias significativas entre fechas de siembra para las variables altura, peso seco aéreo, peso total, índice de esbeltez y relación parte aérea/raíz (Cuadro 2). También se encontraron diferencias significativas entre los tamaños de contenedor para todas las variables evaluadas y diferencias significativas entre las procedencias para las variables altura, diámetro, índice de esbeltez, relación parte aérea/raíz e índice de calidad de Dickson (ICD).

Cuadro 2. Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para los diferentes factores y características de las plantas evaluadas en *Pinus patula* al final de la etapa de vivero.

Factor	Característica							
	Altura	Diámetro	Biomasa			Índice de esbeltez	Relación PAR [†]	ICD [†]
			aérea	raíz	total			
Fecha	0.0065	0.7496	<.0001	0.1099	0.0002	0.0011	<.0001	0.5932
Contenedor	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0001	0.0002	<.0001
Procedencia	0.787	0.1472	0.8244	0.0065	0.4612	0.5318	0.0022	0.7033
Fecha*contenedor	<.0001	0.0046	0.0767	0.0608	0.3258	<.0001	<.0001	0.0128
Fecha*procedencia	0.0001	0.5483	0.0037	0.0312	0.0045	0.0007	0.0879	0.506
Contenedor*procedencia	0.762	0.6879	0.2233	0.0012	0.0709	0.1234	0.0229	0.0863
Fecha* contenedor*procedencia	<.0001	0.1038	0.0106	0.0004	0.0236	<.0001	<.0001	0.0279

[†]Relación PA/R = Relación parte aérea/raíz; ICD = Índice de calidad de Dickson.

Efecto de la Fecha de siembra

Se observaron diferencias significativas entre fechas de siembra en todas las variables a excepción de diámetro y el índice de calidad de Dickson (Cuadro 3). Las plantas de la primera fecha de siembra (13 de Octubre) presentaron mayor altura, por lo tanto más peso seco de la parte aérea y mayor peso seco total, pero no hubo diferencias en la biomasa de raíz. Los valores del índice de esbeltez y la relación PA/R son más adecuados en las plantas de la segunda fecha de siembra (11 de Noviembre), de acuerdo con los valores de referencia establecidos por algunos autores (Birchler *et al.*, 1998; Prieto *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Valores promedio de las características morfológicas evaluadas en la producción de plántulas de *Pinus patula* en función de la fecha de siembra.

Fecha de siembra	Característica							
	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Biomasa (g)			Índice de esbeltez	Relación PA/R [†]	ICD [†]
			aérea	raíz	total			
13 Oct	33.1 a	3.52 a	3.13 a	0.79 a	3.93 a	9.46 a	3.97 a	0.29 a
11 Nov	31.2 b	3.51 a	2.79 b	0.82 a	3.61 b	8.98 b	3.42 b	0.29 a

[†]Relación PA/R = Relación parte aérea/raíz; ICD = Índice de calidad de Dickson.

Bajo las condiciones experimentales de esta investigación (invernadero), la siembra “tardía” (en este caso 11 de Noviembre), permite obtener plantas con mejores indicadores morfológicos de calidad y con costos menores de producción al reducir la inversión en jornales para el mantenimiento de la planta y en insumos como el agua para el riego y menor desgaste de herramientas e infraestructura. Sin embargo, para tener la valoración definitiva es necesario evaluar el desempeño posterior de las plantas en el sitio de plantación.

Conocer la fecha de siembra más apropiada para cada especie en función de las condiciones de producción, es importante para optimizar los insumos y prácticas culturales utilizadas. Además, permite alcanzar los estándares de calidad buscados de acuerdo a las condiciones del sitio definitivo de plantación.

Efecto del Contenedor

Se observaron diferencias significativas entre tamaños de contenedor en todas las variables (Cuadro 4). Las plantas que se desarrollaron en el C₁ presentaron valores menores en casi todas las variables evaluadas a excepción del índice de esbeltez en comparación con C₂. No obstante, los valores del índice de esbeltez son más adecuados en las plantas del contenedor de mayor volumen (C₂), de acuerdo con los valores de referencia establecidos por algunos autores (Birchler *et al.*, 1998; Prieto *et al.*, 2009).

Cuadro 4. Valores promedio de las características morfológicas evaluadas en la producción de plántulas de *Pinus patula* en función del contenedor.

Contenedor	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Característica			Índice de esbeltez	Relación PA/R [†]	ICD [†]
			Biomasa (g)					
			aérea	raíz	total			
C ₁	30.10 b	3.17 b	2.33 b	0.66 b	3.00 b	9.53 a	3.56 b	0.23 b
C ₂	34.23 a	3.85 a	3.59 a	0.95 a	4.54 a	8.91 b	3.84 a	0.36 a

[†]Relación PA/R = Relación parte aérea/raíz; ICD = Índice de calidad de Dickson.

Bajo las condiciones en las cuales se llevó a cabo esta investigación, el contenedor de mayor volumen (C 220) permite obtener plantas con mejores indicadores morfológicos de calidad. Lo anterior coincide con diversos resultados de investigación con otras especies (Domínguez *et al.*, 2006; Ortega *et al.*, 2006; Jeong *et al.*, 2010), en los cuales el tamaño del contenedor influye de manera positiva en el desempeño de las plantas tanto en vivero como en campo.

Se debe tomar en cuenta que un contenedor de mayor volumen presenta el inconveniente de aumentar los costos de producción al requerirse mayor inversión en sustratos, fertilizantes, agua y mayor espacio para el proceso de producción y mantenimiento de la planta; de ahí que para la valoración definitiva y adecuada de la elección a realizar sea necesario evaluar el desempeño posterior de las plantas en campo.

Efecto de la Procedencia

Se observaron diferencias significativas entre las procedencias en casi todas las variables evaluadas a excepción de la biomasa total (Cuadro 5). Lo anterior posiblemente indica la acción de diferentes mecanismos de adaptación a sus particulares lugares de origen (Cuadro 1). Dado que en algunas de las variables se observa cierta tendencia (la altura y el índice de esbeltez por ejemplo), por lo que es posible separar las procedencias en grupos; el primero de ellos conformado por las procedencias Apulco y Huayacocotla que provienen de sitios con condiciones de humedad y temperatura menos restrictivas que en el resto de las poblaciones. A pesar de que la temperatura y humedad en Ahuazotepec son similares a las de Tlaxco y Zacatlán, las plantas de esa procedencia presentaron características similares a las del primer grupo, lo que podría indicar cierto nivel de eficiencia para aprovechar oportunidades de crecimiento cuando las condiciones son favorables.

En las plantas de Tlaxco y Zacatlán se observan los mejores desempeños en biomasa aérea y biomasa radical respectivamente, probablemente por desarrollarse en condiciones de humedad restrictiva y temperatura más bajas, los mecanismos de adaptación impliquen menores incrementos en altura y diámetro pero mayor desarrollo de biomasa lo que genera plantas compactas y mejor balanceadas.

Cuadro 5. Valores promedio de las características morfológicas evaluadas en la producción de plántulas de *Pinus patula* en función del procedencia de la semilla.

Procedencia	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Característica			Índice de esbeltez	Relación PA/R [†]	ICD [‡]
			Biomasa (g)					
			aérea	raíz	total			
Ahuazotepec	33.78 a	3.54 a	3.01 ab	0.82 a	3.83 a	9.60 a	3.71 b	0.29 ab
Apulco	32.95 a	3.44 b	2.91 b	0.81 a	3.72 a	9.67 a	3.61 bc	0.28 b
Huayacocotla	32.76 a	3.52 ab	2.97 ab	0.81 a	3.79 a	9.37 b	3.69 b	0.29 ab
Tlaxco	30.35 b	3.51 ab	3.03 a	0.78 b	3.80 a	8.72 b	3.95 a	0.30 a
Zacatlán	30.99 b	3.56 a	2.89 b	0.82 a	3.71 a	8.73 b	3.54 c	0.30 a

[†]Relación PA/R = Relación parte aérea/raíz; ICD = Índice de calidad de Dickson.

Bajo las condiciones en las cuales se llevó a cabo el experimento las plantas de las procedencias Ahuazotepec y Huayacocotla presentaron los mayores valores en los indicadores morfológicos de calidad de manera general; seguidos por Ahuazotepec y por último Tlaxco y Zacatlán. Sin embargo, para tener la valoración definitiva es necesario evaluar el desempeño posterior de las plantas de cada procedencia en el sitio de plantación, ya que el ICD de las últimas procedencias, es en teoría mejor que el de las primeras.

Interacción Fecha*Contenedor

El efecto de la interacción fecha * contenedor se manifestó en que las diferencias en crecimiento asociadas a la fecha de siembra no fueron similares en los dos tamaños de contenedor. En el caso de la relación parte aérea/raíz, en la fecha de siembra temprana (octubre) las diferencias encontradas entre los dos contenedores fueron mínimas; en contraste, en noviembre se observó una diferencia del orden del 15% entre C₂ y C₁ (Figura 1).

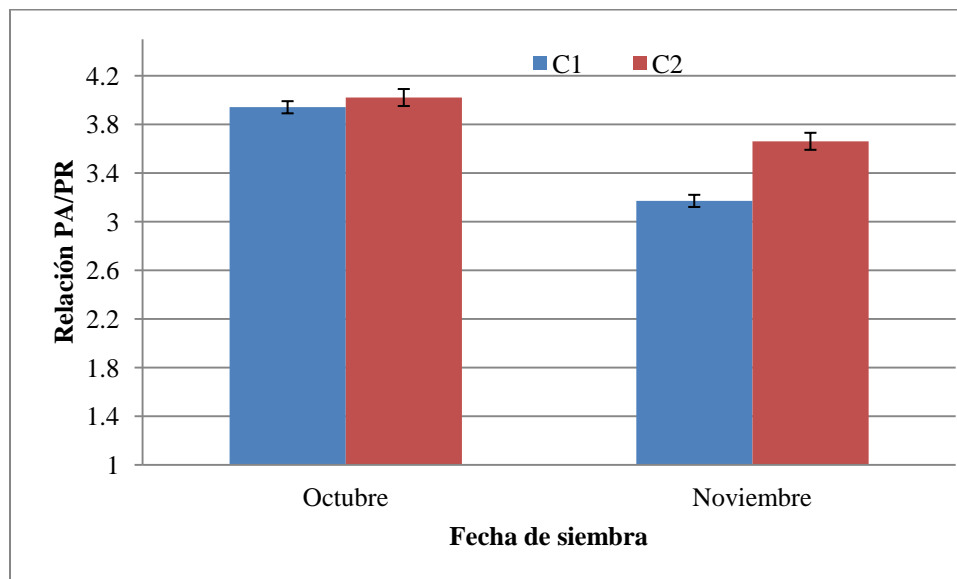


Figura 1. Relación parte aérea/raíz en la interacción fecha*contenedor para plántulas de *Pinus patula*. Las barras representan el error estándar.

La altura resultó 13 y 15 % mayor en el contenedor C₂ con respecto al C₁ en las fechas 1 y 2, respectivamente; las diferencias en diámetro son de 19 y 24 %; en peso seco de 71 y 57 %; peso seco de raíz 50 y 36 %; peso total 50 y 52 %; e ICD 57% en ambos casos. El índice de esbeltez resultó ligeramente superior en el contenedor de menor volumen (6 y 8%) en ambas fechas de siembra; sin embargo, valores mayores en esta característica indican planta más esbelta lo cual puede ser una desventaja para el desempeño en campo de las plantas; por ello, las plantas producidas en C₂ sembradas el 11 de noviembre tienen el mejor valor en índice de esbeltez de todas las combinaciones evaluadas.

Los resultados indican que utilizar un contenedor de mayor volumen posibilita la obtención de mejores parámetros de calidad de planta en ambas fechas de siembra. Algunos parámetros clave como el peso seco de la raíz, el índice de esbeltez y el ICD (bajo las condiciones experimentales) señalan que utilizando contenedores de mayor volumen (C₂) y sembrando más tarde (11 de noviembre) se pueden producir plantas con estándares de calidad más apropiados para esta especie y con costos menores.

Interacción Fecha * Procedencia

El efecto de la interacción fecha * procedencia se manifestó en que las diferencias en crecimiento asociadas a la fecha de siembra no fueron similares en todas las procedencias. Por ejemplo, en las procedencias con mayor potencial de crecimiento (Ahuazotepec, Apulco y Huayacocotla) las diferencias en altura de la planta entre las fechas de siembra son del orden del 8 al 11%, mientras que en las procedencias de Tlaxco y Zacatlán la altura de la planta es similar en las dos fechas de siembra (Figura 2). Al parecer, el crecimiento en altura presenta un alto control genético asociado al origen de las procedencias, y en las poblaciones que vienen de sitios restrictivos, con menor potencial de crecimiento no se aprovecha el periodo adicional de crecimiento de la siembra más temprana. Algo similar ocurrió en el caso de la biomasa aérea y total.

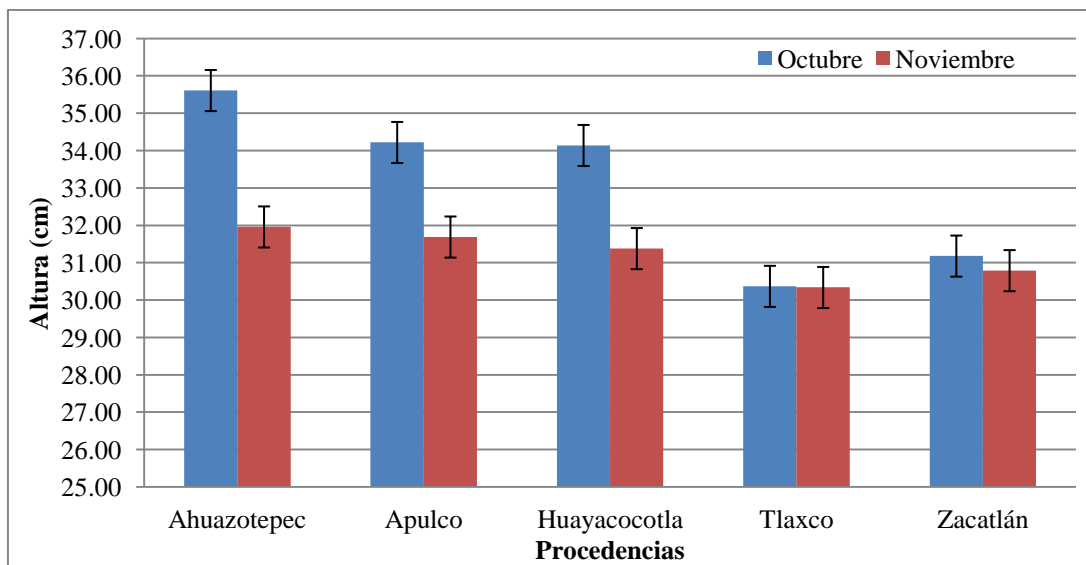


Figura 2. Crecimiento promedio en altura de las diferentes procedencias en cada fecha de siembra.

En el caso del diámetro, no se observaron diferencias significativas entre procedencias en cada fecha de siembra, los valores en cada caso fueron similares sin importar el hecho de que se sembrara de manera temprana o tardía. Lo anterior puede atribuirse al hecho de que la planta alcanzó el mayor grado de desarrollo permitido por el contenedor para la primera fecha (octubre); siendo “alcanzada” por la siembra de noviembre hacia el momento de la evaluación. El mismo fenómeno pudo apreciarse para el caso del ICD donde la mayoría de las procedencias no presentaron diferencias entre fechas a excepción de Ahuazotepec.

Interacción Contenedor*Procedencia

El efecto de la interacción contenedor * procedencia se hizo evidente en que la magnitud de las diferencias en biomasa radical resultado del aumento del volumen del contenedor (al pasar de C_1 a C_2) operó de manera distinta en cada procedencia. Por ejemplo, en las procedencias con mayor potencial de crecimiento (Ahuazotepec, Apulco y Huayacocotla) los incrementos en biomasa radical son del orden del 47 al 53%, mientras que en las procedencias de Tlaxco y Zacatlán fue de 36 y 28% respectivamente (Figura 3). Al parecer,

el desarrollo radical presenta cierto grado de control genético asociado al origen de las procedencias, ya que en las poblaciones de sitios restrictivos, con un menor potencial de crecimiento, se observó una respuesta de menor magnitud al ser más lento su desarrollo; algo similar ocurrió en el caso de la biomasa total y el ICD.

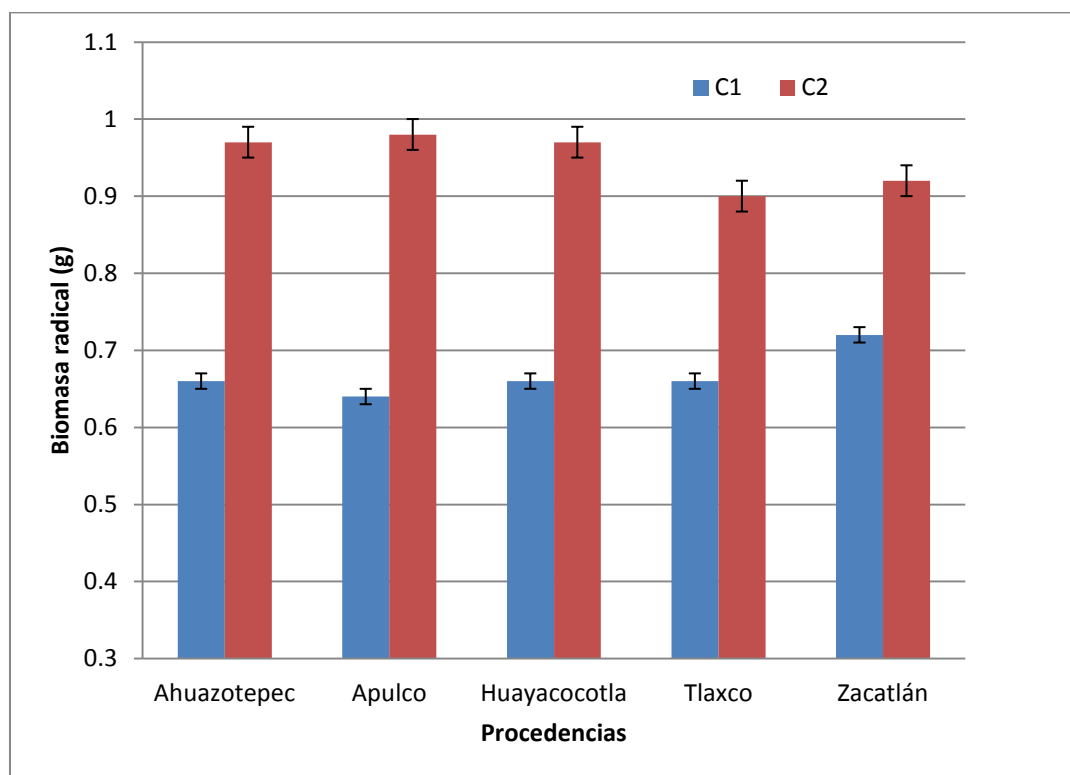


Figura 3. Biomasa radical promedio de las diferentes procedencias en función del contenedor.

Para el caso de la altura y la relación PA/R, las procedencias con menor potencial de crecimiento (Tlaxco y Zacatlán) mostraron incrementos mayores a las procedencias de mayor potencial, al aumentar el volumen del contenedor. Las diferencias en el caso de las primeras fueron del orden del 16 y 18% respectivamente y para Ahuzotepec del 11%, Apulco y Huayacocotla del 13% cada una. Lo anterior podría indicar que las procedencias de lugares restrictivos tienden a dedicar mayores recursos al aumento de la altura en cuanto las condiciones le son favorables (*e. g.* mayor disponibilidad de nutrimentos, espacio de crecimiento y agua). A pesar de lo anterior, la tendencia general se mantuvo ya que las

procedencias de mayor potencial siguieron mostrando los mayores valores en altura en ambos contenedores (Figura 4).

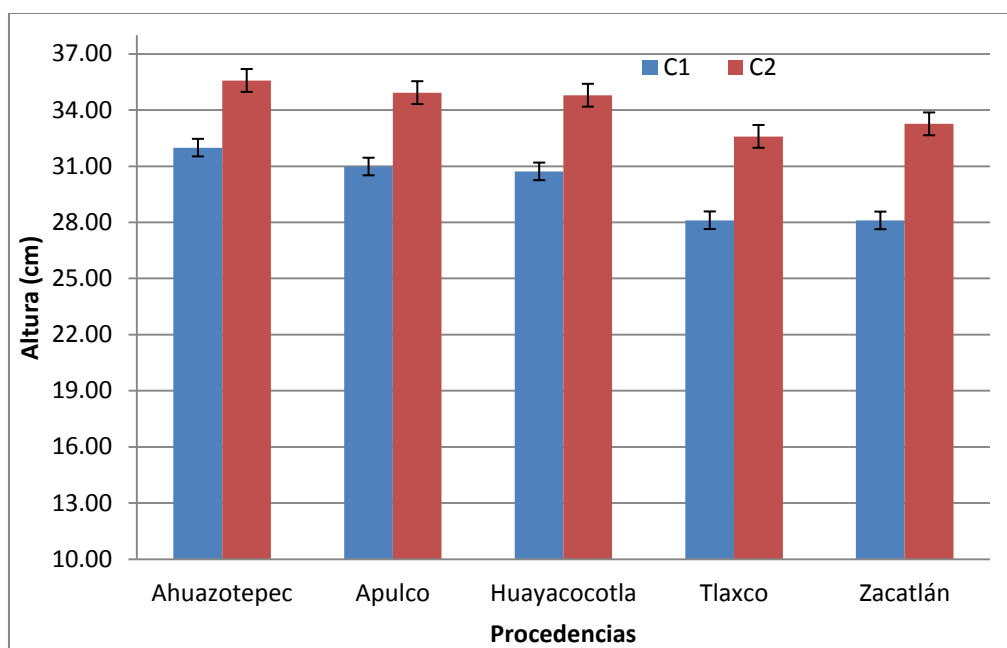


Figura 4. Crecimiento promedio en altura de las diferentes procedencias en cada tipo de contenedor.

En relación al diámetro, todas las procedencias mostraron mejores valores al pasar de C₁ a C₂. A pesar de ello, los incrementos fueron similares (del orden del 20 al 23%), por lo cual no se modificaron de manera importante las posiciones en el ranking observado para cada contenedor.

Interacción Fecha*Contenedor*Procedencia

Para la interacción fecha*contenedor* procedencia se tuvieron diferencias significativas en prácticamente todas las variables a excepción del diámetro, aunque para efectos de análisis y dada su importancia se detalla el efecto observado en las variables relacionadas con la biomasa.

Para el caso de la biomasa total, se observó que las diferencias entre las cinco procedencias evaluadas en las combinaciones de fecha de siembra y tamaños de contenedor (Figura 5) presentaban un patrón más o menos definido para las tres primeras (Ahuazotepec, Apulco y Huayacocotla); la fecha de siembra temprana (octubre) y el contenedor de mayor volumen (C₂) presenta los mayores valores en contraste con la siembra en el mes de noviembre y el C₁ con los menores. Para las procedencias mencionadas se tienen diferencias del orden del 75, 78 y 69 % respectivamente; mientras que para Tlaxco y Zacatlán, la magnitud de las diferencias encontradas fue de 55 y 48% entre C₂ sembrado en octubre y C₁ de noviembre.

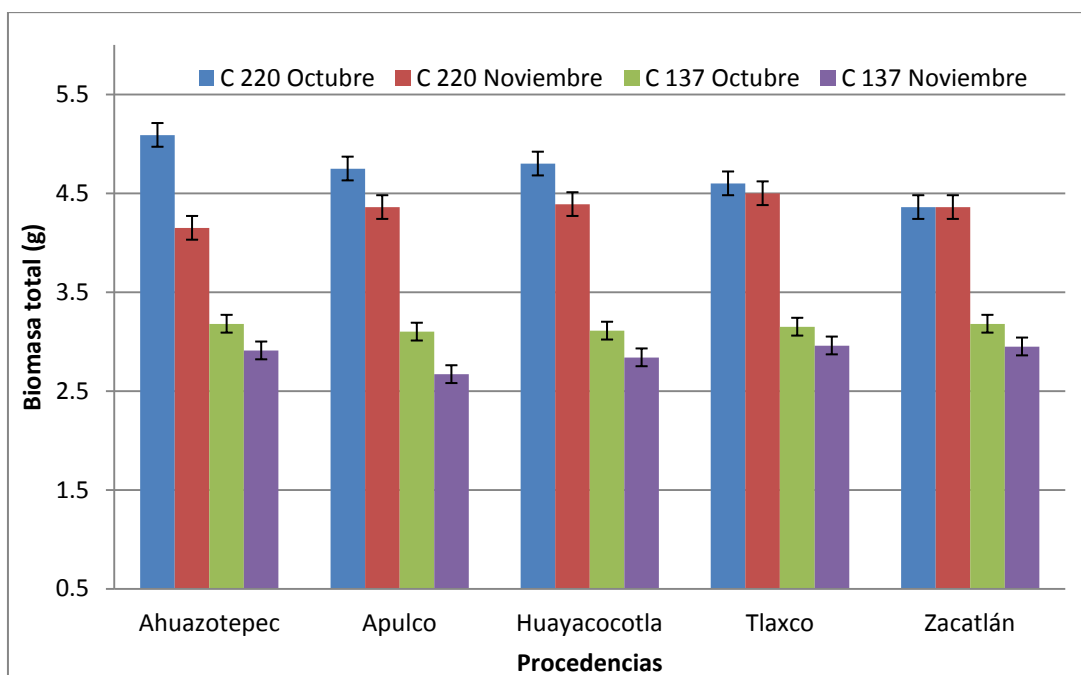


Figura 5. Biomasa total promedio para plantas de cinco procedencias de *Pinus patula* en función de la fecha de siembra y el tamaño del contenedor.

De la figura anterior se observa que en las procedencias Tlaxco y Zacatlán las diferencias entre los contenedores en una misma fecha de siembra son mínimas e incluso nulas. Lo anterior parece indicar que el control genético asociado a la adaptación de la procedencia a sitios restrictivos (con menor potencial de crecimiento) le impide aprovechar al máximo tanto el periodo adicional de crecimiento como el volumen de cavidad en la cual se ha colocado. Una tendencia similar se observó en el resto de las variables evaluadas a

excepción del diámetro, en el cual todas las procedencias en ambos contenedores presentaron diferencias mínimas en cada fecha de siembra; lo anterior es posible atribuirse, en el caso de las procedencias de rápido crecimiento, a la limitación que para ellas representa el tamaño del contenedor y para las de lento crecimiento el posible efecto de control genético mencionado con anterioridad.

3.3.2. Evaluación en campo

Análisis de Varianza

Se encontraron diferencias significativas entre fechas de siembra en la evaluación de supervivencia realizada en el mes de diciembre (Cuadro 6). Cabe destacar que para el análisis no se consideraron a los individuos afectados por tuza (T) y pastoreo (P) por lo cual el análisis se efectuó con 663 datos, que representan el 82.88% del total de árboles establecidos.

Cuadro 6. Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para la variable supervivencia de plantas de *Pinus patula* en campo.

Factor	Supervivencia
Fecha	0.0269
Contenedor	0.6592
Procedencia	0.7671
Fecha*contenedor	0.6592
Fecha*procedencia	0.7671
Contenedor*procedencia	0.5106
Fecha* contenedor*procedencia	0.5106

El valor de la media para F₁ en la variable mencionada fue de 98% en contraste con el 100% obtenido en F₂. Aunque la mortandad fue mínima en la plantación, se registraron daños por helada (segunda variable evaluada) en la totalidad de los árboles evaluados en

diferentes grados, encontrándose que no hubo diferencias significativas entre tratamientos en los tres niveles de daño (ligero, medio y severo) considerado (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para la variable daños por helada en plantas de *Pinus patula* en campo.

Factor	Supervivencia
Fecha	0.1757
Contenedor	0.7788
Procedencia	0.407
Fecha*contenedor	0.5233
Fecha*procedencia	0.6295
Contenedor*procedencia	0.5323
Fecha* contenedor*procedencia	0.3688

La posible explicación a este fenómeno tiene que ver con las condiciones meteorológicas imperantes en el sitio de plantación; las temperaturas fueron lo suficientemente bajas para generar daño al arbolado en los niveles mencionados y de manera generalizada.

3.4. CONCLUSIONES

Es importante establecer la fecha apropiada de siembra considerando la procedencia de la semilla a utilizar y de acuerdo a las características de las plantas que se esperan obtener para optimizar los insumos utilizados y las prácticas culturales aplicadas.

El tamaño del contenedor influye directamente en las características de las plantas producidas. Los contenedores de mayor volumen producen plantas más grandes y con características morfológicas superiores en prácticamente todas las variables que las producidas en contenedores más pequeños; a excepción del índice de esbeltez, aunque cabe recordar que un valor mayor en este índice conlleva niveles de estrés elevados en campo.

Las procedencias de *Pinus patula* utilizadas en este estudio responden de manera diferente al efecto de la fecha de siembra y del tamaño del contenedor utilizado. Lo anterior puede

indicar cierto nivel de control genético en el desarrollo de la planta, lo cual es un campo de estudio importante a tomar en cuenta, ya que el conocimiento que se pudiese generar en este sentido permitiría eficientizar de manera importante la producción de planta de calidad.

El desempeño de la planta en campo se vio limitada tanto por las condiciones meteorológicas imperantes como por el daño ocasionado por fauna silvestre; de ahí que los resultados obtenidos hayan sido mínimos. Es de suma importancia una caracterización detallada del sitio para efectuar los trabajos de plantación en el afán de que los árboles a utilizar se encuentren debidamente acondicionados (con estándares de calidad apropiados) y puedan expresar un nivel de desarrollo adecuado.

CAPÍTULO 4

EFFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA Y TAMAÑO DE CONTENEDOR EN EL CRECIMIENTO DE CINCO PROCEDENCIAS DE *Pinus greggii* EN VIVERO

RESUMEN

En este estudio se evaluó el efecto de dos fechas de siembra (13 de octubre y 11 de noviembre) y dos tamaños de contenedor (137 y 220 cm³) en cinco procedencias de *Pinus greggii* en vivero y en campo. Se realizó una evaluación de características morfológicas en vivero y una evaluación de supervivencia en campo. En vivero los factores que de forma individual presentaron diferencias ($p < 0.05$), fueron el tamaño del contenedor, el de mayor volumen (220 cm³) generó diferencias significativas ($p < 0.05$) para las variables altura, diámetro, biomasa (aérea, radical y total), índice de esbeltez y relación parte aérea raíz y el ICD. En relación a las procedencias, se observaron diferencias en todas las variables evaluadas a excepción de la biomasa radical. Cabe destacar que la población Pontadhó presentó los mejores desempeños en las variables evaluadas a pesar de presentar las condiciones ambientales de origen más adversas de todas las procedencias (Cebada, Laguna Seca, Madroño y Palma). En el caso de las interacciones entre factores (fecha*contenedor) se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para las variables biomasa aérea, radical y total. En campo, se evaluó supervivencia pero no se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el factores de estudio dadas las condiciones ambientales adversas (sequía y heladas).

CHAPTER 4

EFFECT OF PLANTING DATE AND SIZE OF CONTAINER IN FIVE SOURCES OF *Pinus greggii* GROWTH IN NURSERY

ABSTRACT

In this study we evaluated the effect of two sowing dates (October 13 and November 11) and two container sizes (137 and 220 cm³) in five provenances of *Pinus patula* in the nursery and field. There was an evaluation of morphological characteristics in nursery and an evaluation of survival in the field. In the nursery the factors individually differences ($p < 0.05$), were the size of the container, the larger volume (220 cm³) produced significant differences ($p < 0.05$) for the variables height, diameter, biomass (aerial, root and total), sturdiness quotient, shoot/root ratio and Dickson quality index (DQI).. Regarding sources, differences were observed in all variables except root biomass. Notably Pontadhó population presented the best performance in the evaluated variables despite having environmental conditions more adverse home from all sources (Cebada, Laguna Seca, Madroño and Palma). In the case of interactions between factors (date * container) showed significant differences ($p < 0.05$) for biomass variables, radical and total. In field survival was evaluated but no significant differences ($p < 0.05$) in the study factors because of the severe environmental conditions (drought and frost) of the planting site.

4.1. INTRODUCCIÓN

Pinus greggii Engelman ex Parlatore es una especie endémica que se encuentra entre las diez especies forestales más utilizadas en los programas de reforestación con fines de restauración en México (CONAFOR, 2012). A pesar de su importancia, los esfuerzos dedicados a la forestación o reforestación de las áreas con aptitud preferentemente forestal se han visto limitados por la falta de conocimiento en relación al uso de germoplasma adecuado para cada zona; en particular de la procedencia (orígenes nativos de una especie) más idónea que le permita adaptarse y crecer adecuadamente en un sitio en particular, y superar los factores ambientales adversos (*e.g.*, sequía, heladas, competencia, incendios).

En vivero, las labores culturales como el riego, la fertilización y el manejo de sombra condicionan de manera importante el tipo de planta que se produce; de manera similar lo hace el tipo de contenedor utilizado, en particular su tamaño o volumen (Landis, 1990). El objetivo de encontrar el contenedor ideal que genere la mejor planta puede ser factible teóricamente; sin embargo, en el marco operativo se deben tomar en cuenta aspectos económicos para realizar la mejor elección ya que a mayor volumen de contenedor el costo de producción incrementa (Altamash *et al.*, 2009).

Tanto en los sistemas de producción de planta tradicional o de contenedores, las prácticas culturales como las fechas de siembra o los intervalos de riego en el vivero, no han sido relacionados con el éxito o fracaso de las plantaciones forestales por falta de seguimiento y evaluación más allá del primer año.

En este contexto y como objetivo general de la investigación se realizó la evaluación del efecto del tamaño de contenedor y de la fecha de siembra sobre el crecimiento en vivero y la supervivencia en campo de plantas de *Pinus greggii* de cinco procedencias. La hipótesis general fue que los brinzales producidos en un tamaño de contenedor mayor y en una fecha de siembra temprana tienen un mejor desempeño en los diferentes indicadores de calidad de planta en cada una de las procedencias.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Ubicación del experimento

La investigación se realizó en dos fases; la producción de planta en vivero se llevó a cabo en un invernadero del Postgrado en Ciencias Forestales (PCF) del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México, ubicado geográficamente en las coordenadas 19° 29' N y 98° 54' O, a una altitud de 2240 m. El clima es del tipo C (Wo) (w) b (1) g' que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 750 mm y una temperatura media anual de 15.5 °C, cuya oscilación térmica es de 5 a 7 °C (García, 1973). La plantación en campo se estableció en terrenos del Ejido Francisco I. Madero, Jaltepec, en el municipio de Axapusco, Estado de México en las coordenadas 19° 41' N y 98° 38' O, a una altitud de 2850 m. El clima es de tipo templado subhúmedo con lluvias en verano; presenta inviernos fríos con alta frecuencia de heladas.

4.2.2 Fase de vivero

Se utilizó semilla de *Pinus greggii* (var. *australis*) de recolectas realizadas por personal del PCF en cuatro localidades del estado de Hidalgo (Cebada, Laguna Seca, La Palma, Pontadhó) y El Madroño, Querétaro (Cuadro 8).

Cuadro 8. Características y localización de las fuentes de semilla de *Pinus greggii* utilizadas en el experimento.

Procedencia	Lat. N	Long. O	Altitud (msnm)	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)
Cebada	20° 54'	99° 11'	2,090	705	18.5
Laguna Seca	21° 04'	99° 10'	1,720	855	19.6
Madroño	21° 17'	99° 10'	1,840	1045	20.5
Palma	20° 38'	99° 14'	2,700	792	15.2
Pontadhó	20° 29'	98° 54'	2,300	554	17.7

Se incluyeron 20 tratamientos en total, correspondientes a las combinaciones de los tres factores: procedencias (cinco fuentes), fecha de siembra (dos niveles) y tamaño de contenedor (dos niveles). El sustrato utilizado en todos los casos fue la mezcla convencional de turba de musgo, agrolita y vermiculita en proporción 2:1:1 en volumen, adicionando fertilizante de liberación controlada (Osmocote plus) en una dosis de 7 kg m⁻³ de sustrato.

Las dos fechas de siembra (segundo factor) fueron el 13 de octubre (F₁) y el 11 de noviembre (F₂) del 2009; los dos tamaños de contenedor (tercer factor) utilizados fueron 137 (C₁) y 220 cm³ (C₂) de capacidad. Los contenedores son de color negro y presentan una forma de cono truncado con medidas de 16.7 cm de largo, 4.6 cm de diámetro superior y 2.8 cm diámetro inferior para C₁ y 11.9 cm de largo, 6 cm de diámetro superior y 4.9 cm de diámetro inferior para C₂; además presentan ocho (C₁) y diez (C₂) costillas internas longitudinales para evitar el espiralamiento de la raíz.

El experimento se estableció en un arreglo factorial en bloques al azar, en cuatro camas de crecimiento de 1 m de ancho por 4 m de largo a 1 m del suelo. Por razones de manejo de las plantas en el vivero y para evitar efectos de competencia desigual entre unidades de crecimiento de diferente fecha de siembra y tamaño de envase, los bloques estuvieron anidados dentro de contenedores y fechas de siembra. En el caso del contenedor C₁ se utilizaron rejillas de 7 x 7 contenedores, con 5 repeticiones (bloques) y para C₂ rejillas de 6

por 9 contenedores con tres repeticiones (bloques). De esta forma, la unidad experimental por tratamiento y repetición incluyó 49 y 54 plantas para C₁ y C₂, respectivamente. La semilla de las poblaciones evaluadas se asignó de manera aleatoria a las parcelas en cada bloque; el experimento incluyó un total de 80 parcelas o unidades experimentales.

El manejo de planta en vivero incluyó riegos ligeros y diarios durante la primera etapa de desarrollo (seis semanas) para cada fecha de siembra; riegos pesados cada dos días durante la etapa de crecimiento rápido y riegos ligeros cada tres días durante el endurecimiento de la planta. Se realizaron aplicaciones complementarias de fertilizante soluble (marca Peters) adicionándose una vez por semana en el agua de riego. En la etapa de crecimiento rápido se utilizó la formulación 20-20-20 y en la etapa de endurecimiento 4-25-35 en dosis de 70 ppm y 40 ppm, respectivamente.

Evaluación de características morfológicas

La evaluación de la planta en vivero se realizó al momento de iniciar la plantación, cuando las plantas tenían nueve (F₁) y ocho (F₂) meses a partir de la siembra; se utilizó una muestra de 12 plantas por parcela de la parte central de cada charola (no se usaron las del borde para evitar efectos de orilla). En estas plantas se determinó la altura total, el diámetro al cuello de la raíz, y el peso seco de la parte aérea y de la raíz. Cada uno de las plantas se extrajo del contenedor con cuidado para evitar daños a la parte aérea y a la raíz; se procedió a separar el sustrato de la raíz utilizando agua corriente en abundancia y con cuidado de no perder material en el proceso. Después se separó la parte aérea y radical con un corte a la altura del cuello de la raíz, se eliminó el exceso de humedad con papel absorbente y se procedió al empaquetado de ambas partes en bolsas de papel debidamente rotuladas. El peso seco de las muestras se determinó después de secarlas en horno a una temperatura de 70 °C durante 72 horas. Con los datos obtenidos se calculó el índice de esbeltez (relación entre la altura de la planta y el diámetro), la relación parte aérea/raíz, el peso total de la planta y el índice de calidad de Dickson con la siguiente ecuación (Dickson *et al.*, 1960):

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}}}$$

Análisis estadístico

Con los datos se realizó un análisis de varianza utilizando el procedimiento PROC MIXED el Programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002). El modelo estadístico utilizado para la fase de vivero es el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + F_i + C_j + FC_{ij} + B_{k(ij)} + P_l + FP_{il} + CP_{jl} + FCP_{ijl} + BP_{k(ij)l} + E_{ijklm}$$

donde, Y_{ijklm} es el valor observado de la m -ésima planta de la l -ésima población del k -ésimo bloque, dentro del j -ésimo tipo de contenedor en la i -ésima fecha de siembra, μ es la media poblacional; F_i es el efecto fijo de la i -ésima fecha de siembra; C_j es el efecto fijo del j -ésimo tipo de contenedor; FC_{ij} es el efecto fijo de la interacción fecha de siembra por tipo de contenedor; $B_{k(ij)}$ es el efecto aleatorio del k -ésimo bloque anidado en fecha y contenedor $\sim NID(0, \sigma_b^2)$; P_l es el efecto fijo de la l -ésima población; FP_{il} es el efecto fijo de la interacción fecha de siembra por población; CP_{jl} es el efecto fijo de la interacción contenedor por población; FCP_{ijl} es el efecto fijo de la interacción fecha de siembra por tipo de contenedor y por población; $BP_{k(ij)l}$ es el error experimental asociado a la variación entre unidades experimentales $\sim NID(0, \sigma_e^2)$; y E_{ijklm} es el error de muestreo asociado a la variación dentro de unidades experimentales $\sim NID(0, \sigma_m^2)$, $i =$ fecha 1 y 2; $j =$ contenedor de 137 y de 220 ml; $k = 1, 2, 3$ ó 5 bloques; $l = 1, \dots, 5$ procedencias; y $m = 1, 2, \dots, 12$ plantas.

4.2.3 Fase de campo

En el mes de julio de 2010 se estableció una plantación en el sitio descrito anteriormente con planta de los 20 tratamientos generados en la fase de vivero. Los árboles se plantaron a un espaciamiento de 2 x 3 m sobre la línea generada por subsoleo del sitio de plantación; las cepas tuvieron un tamaño promedio de 30 x 30 x 30 cm. Se utilizó un diseño

experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, y 10 árboles por unidad experimental o parcela. El experimento incluyó un total de 80 unidades experimentales

Dadas las condiciones meteorológicas imperantes en el lugar de la plantación (vientos fuertes y temperaturas bajas) y la presencia de agentes de disturbio (tuzas y ganado) se procedió a realizar una evaluación de afectaciones causadas por animales y de daños por heladas en el mes de diciembre (propiamente en el periodo de heladas). Para caracterizar los daños causados por bajas temperaturas se utilizó una escala cualitativa, es decir, que se basó en la apreciación general del estado de la planta, la cantidad de follaje con daño en relación al tamaño total del árbol y el vigor observado, con las siguientes categorías: daño ligero (DL), daño medio (DM), daño severo (DS) y muerto (M). Para efectos de la realización del ANOVA, las categorías mencionadas se convirtieron a una escala numérica de 1 (daño ligero) a 4 (muerto). Los árboles dañados por tuza (T) y pastoreo (P) no fueron tomados en cuenta para el análisis de resultados.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza utilizando el procedimiento PROC MIXED SAS, versión 9.0 (SAS Institute, 2002). Las variables a analizar fueron el daño por heladas, caracterizadas en tres niveles [ligero (1), medio (2) y severo (3)] y la supervivencia (vivo o muerto). El modelo estadístico utilizado para la fase de campo fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + B_i + F_j + C_k + FC_{jk} + P_l + FP_{jl} + CP_{kl} + FCP_{jkl} + BF_{CP}_{ijkl} + E_{ijklm}$$

donde, Y_{ijklm} es el valor observado del m-ésimo árbol de la l-ésima procedencia, del k-ésimo tipo de contenedor, en la j-ésima fecha en el i-ésimo bloque, μ es la media poblacional, B_i es el efecto aleatorio del i-ésimo bloque $\sim NID(0, \sigma_b^2)$; F_j es el efecto fijo de la j-ésima fecha de siembra; C_k es el efecto fijo del k-ésimo tipo de contenedor; FC_{jk} es el efecto fijo de la interacción fecha por contenedor; P_l es el efecto fijo de la l-ésima procedencia; FP_{jl} es el efecto fijo de la interacción fecha por procedencia; CP_{kl} es el efecto fijo de la interacción contenedor por procedencia; FCP_{jkl} es el efecto fijo de la interacción fecha por contenedor por procedencia; BF_{CP}_{ijkl} es el error experimental asociado a la variación entre unidades experimentales $\sim NID(0, \sigma_e^2)$; y E_{ijklm} es el error de muestreo asociado a la variación dentro de unidades experimentales $\sim NID(0, \sigma_m^2)$; $i = 1, \dots, 4$

bloques; j= fecha 1 y 2; k= contenedores de 137 y de 220 ml; l= 1,2,...,5 procedencias y m= 1,2,...,10 plantas.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1. Evaluación en vivero

Análisis de Varianza

Se encontraron diferencias significativas entre tamaños de contenedor (C_1 y C_2) para todas las variables evaluadas. En el caso de las procedencias, estas mostraron diferencias para todas las variables a excepción de la biomasa radical. Para las interacciones Fecha*contenedor y Fecha*procedencia se observaron diferencias significativas en biomasa (Cuadro 9).

Cuadro 9. Valor de significancia estadística (P) en el análisis de varianza para los diferentes factores y características de las plantas evaluadas en *Pinus greggii* al final de la etapa de vivero.

Factor	Característica							
	Altura	Diámetro	Biomasa			Índice de Relación	ICD [†]	
			aérea	raíz	total	esbeltez		PAR [†]
Fecha	0.1681	0.196	0.5656	0.8345	0.5506	0.3176	0.8712	0.1914
Contenedor	0.0003	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0514	<.0001	<.0001
Procedencia	<.0001	<.0001	0.0002	0.1651	0.0011	<.0001	0.0013	0.0515
Fecha*contenedor	0.49	0.8057	0.0157	0.0321	0.0081	0.3383	0.3313	0.0564
Fecha*procedencia	0.4511	0.3008	0.2494	0.0254	0.1803	0.8388	0.3336	0.3743
Contenedor*procedencia	0.7189	0.1701	0.7631	0.5998	0.7865	0.9489	0.8703	0.5654
Fecha* contenedor*procedencia	0.9839	0.1395	0.2451	0.5424	0.2578	0.4317	0.6038	0.1022

[†]Relación PA/R = Relación parte aérea/raíz; ICD = Índice de calidad de Dickson.

Efecto del Contenedor

Se observaron diferencias significativas entre tamaños de contenedor en todas las variables (Cuadro 10). Las plantas que se desarrollaron en el C₁ presentaron valores menores en casi todas las variables evaluadas a excepción del índice de esbeltez en comparación con C₂. No obstante, los valores del índice de esbeltez son más adecuados en las plantas del contenedor de mayor volumen (C₂), de acuerdo con los valores de referencia establecidos por algunos autores (Birchler *et al.*, 1998; Prieto *et al.*, 2009).

Cuadro 10. Valores promedio de las características morfológicas evaluadas en la producción de plántulas de *Pinus greggii* en función del contenedor.

Contenedor	Característica							ICD [†]
	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Biomasa(g)			Índice de esbeltez	Relación PAR [†]	
			aérea	raíz	total			
C ₁	35.05 b	3.27 b	2.40 b	0.69 b	3.08 b	10.78 a	3.55 b	0.22 b
C ₂	40.34 a	3.96 a	4.06 a	0.97 a	5.03 a	10.22 b	4.25 a	0.35 a

[†]Relación PA/R = Relación parte aérea/raíz; ICD = Índice de calidad de Dickson.

Bajo las condiciones en las cuales se llevó a cabo esta investigación, en el contenedor de mayor volumen (C₂) se obtienen plantas con mejores indicadores morfológicos de calidad. Lo anterior coincide con diversos resultados de investigación con otras especies (Dominguez *et al.*, 2006; Ortega *et al.*, 2006; Jeong *et al.*, 2010) en los cuales el tamaño del contenedor influye de manera positiva en el desempeño de las plantas tanto en vivero.

Se debe tomar en cuenta que un contenedor de mayor volumen presenta el inconveniente de aumentar los costos de producción al requerirse mayor inversión en sustratos, fertilizantes, agua y mayor espacio para el proceso de producción y mantenimiento de la planta; de ahí que para la valoración definitiva y adecuada de la elección a realizar sea necesario evaluar el desempeño posterior de las plantas en campo.

Efecto de la Procedencia

Se observaron diferencias significativas entre las procedencias en prácticamente todas las variables evaluadas (Cuadro 11). Lo anterior posiblemente indica la acción de diferentes mecanismos de adaptación a sus particulares lugares de origen. En términos generales, el germoplasma procedente de Pontadhó mostró un desempeño superior a las demás procedencias en seis de las ocho variables observadas; en el caso de la biomasa radical y el índice de esbeltez se encuentra en el intervalo de valores superior. Cabe señalar que el lugar de origen de esta semilla presenta las mayores limitantes en humedad por lo cual se observa cierto nivel de eficiencia para aprovechar oportunidades de crecimiento cuando las condiciones son favorables (Cuadro 8). En contraste, Madroño, a pesar de ser la procedencia con mejores condiciones ambientales de origen (precipitación y temperatura) mostró menor valor de biomasa aérea y por ende biomasa total que Pontadhó.

Cuadro 11. Valores promedio de las características morfológicas evaluadas en la producción de plántulas de *Pinus greggii* en función del procedencia de la semilla.

Procedencia	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Característica			Índice de esbeltez	Relación PA/R [†]	ICD [†]
			Biomasa (g)					
			aérea	raíz	total			
Cebada	37.10 b	3.60 bc	3.08 b	0.86 a	3.94 b	10.36 b	3.59 c	0.28 ab
Laguna Seca	38.29 ab	3.56 c	3.26 b	0.80 b	4.06 b	10.84 a	4.05 ab	0.27 b
Madroño	39.18 a	3.66 ab	3.21 b	0.82 ab	4.04 b	10.78 a	3.88 b	0.28 b
Palma	34.48 c	3.52 c	3.11 b	0.82 ab	3.93 b	9.85 c	3.77 b	0.29 a
Pontadhó	39.41 a	3.72 a	3.49 a	0.83 ab	4.32 a	10.68 ab	4.20 a	0.29 a

[†]Relación PA/R = Relación parte aérea/raíz; ICD = Índice de calidad de Dickson.

La procedencia que mostró el menor desempeño fue La Palma en casi todas las variables evaluadas, lo anterior puede atribuirse a algún nivel de control genético resultado de su adaptación al lugar de origen, ya que en este sitio se presentan las temperaturas promedio más bajas de todas las poblaciones utilizadas; a pesar de ello, mostró un valor de ICD

similar a Pontadhó, lo que indica que se trata de planta con menores tasas de crecimiento pero una mayor tendencia a equilibrar el desarrollo tanto de biomasa como los incrementos en altura y diámetro.

En el caso de Cebada y Laguna Seca, se tiene que son las poblaciones con condiciones de origen menos limitados que la procedencia anterior (Cuadro 8); en términos generales mostraron desempeños de nivel medio comparándolos con las procedencias mencionadas, por lo cual, mostraron al final un ICD menor. Sin embargo, para tener la valoración definitiva es necesario evaluar el desempeño posterior de las plantas de cada procedencia en el sitio de plantación, ya que el ICD de las últimas procedencias, es en teoría mejor que él de las primeras.

Interacción Fecha*Contenedor

El efecto de la interacción fecha * contenedor se manifestó en que las diferencias en crecimiento asociadas al tamaño de contenedor no fueron similares en las dos fecha de siembra. En el caso de la biomasa radical, las diferencias encontradas entre los dos contenedores fueron de aproximadamente 36%; para la fecha de siembra temprana (octubre) en contraste, en noviembre se observó una diferencia del orden del 48% entre C₂ y C₁ (Figura 6).

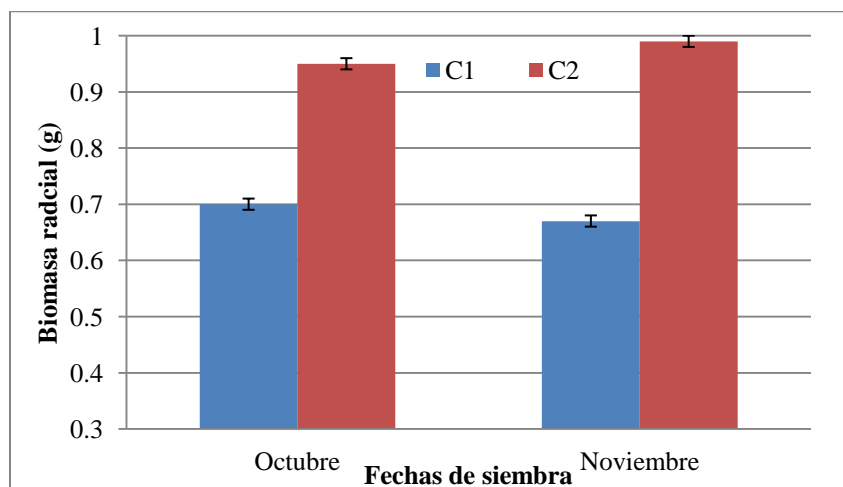


Figura 6. Biomasa radical en la interacción fecha*contenedor para plántulas de *Pinus greggii*.

La biomasa aérea resultó 59 y 81 % mayor en el contenedor C₂ con respecto al C₁ en las fechas 1 y 2, respectivamente; en tanto que las diferencias en biomasa total son del 54% y 73% para ambos casos

Los resultados indican que utilizar un contenedor de mayor volumen posibilita la obtención de mejores parámetros de calidad de planta en ambas fechas de siembra. Algunos parámetros clave como el peso seco de la raíz, el índice de esbeltez y el ICD (bajo las condiciones experimentales) indican que utilizando contenedores de mayor volumen (C₂) y sembrando más tarde (11 de noviembre) se pueden producir plantas con estándares de calidad más apropiados para esta especie y con costos menores.

Interacción Fecha * Procedencia

El efecto de la interacción fecha * procedencia se manifestó en que las diferencias en crecimiento asociadas a las procedencias no fueron similares en las dos fechas de siembra. Por ejemplo, en las procedencias Cebada y Laguna Seca las diferencias en biomasa radical de la planta entre las fechas de siembra son del orden del 7 al 10%, mientras que en las procedencias de Madroño, Palma y Pontadhó la biomasa radical de la planta es similar en las dos fechas de siembra (Figura 7). Al parecer, el incremento en biomasa radical presenta un alto control genético asociado al origen de las procedencias. En el caso particular de Laguna Seca, se observó un resultado opuesto al mostrado por las otras procedencias y opuesto a lo esperado, con un valor mayor de biomasa radical para la segunda fecha de siembra. Lo anterior pudiese explicarse por mecanismos diferenciados en el crecimiento según la época o el espacio de crecimiento ya que se observó que la raíz en las plantas de esta procedencia tuvo un crecimiento menor de lo esperado en la fecha de siembra temprana, en particular en C₂; aunque no se tienen elementos suficientes para explicar este comportamiento. Lo anterior pudiese derivar en algún fenómeno de adaptación particular en la procedencia que puede ser objeto de investigación en el futuro.

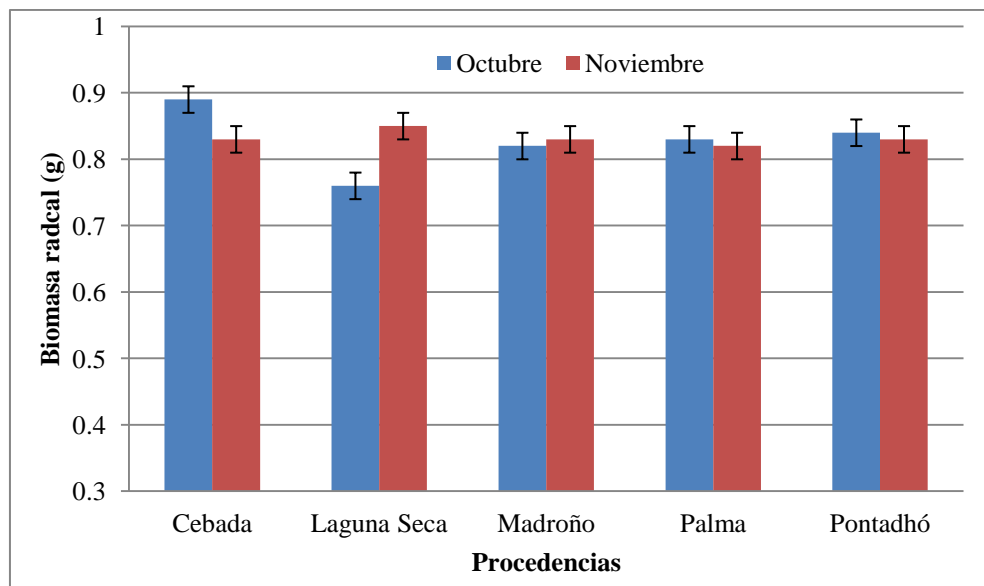


Figura 7. Biomasa radical promedio de las diferentes procedencias en cada fecha de siembra.

En el caso del ICD, no se observaron diferencias significativas entre procedencias en cada fecha de siembra, los valores en cada caso fueron similares sin importar el hecho de que se sembrara de manera temprana o tardía. Lo anterior puede atribuirse al hecho de que la planta alcanzó el mayor grado de desarrollo permitido por el contenedor para la primera fecha (octubre); siendo “alcanzada” por la siembra de noviembre hacia el momento de la evaluación.

4.3.2. Evaluación en campo

En relación a este apartado, se realizó una evaluación de supervivencias y daños por heladas en el mes de diciembre de 2010, en la cual, dadas las condiciones meteorológicas y ambientales imperantes, no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos empleados ya que tuvo un porcentaje de supervivencia global del 98% y daños por helada en todos los individuos de la plantación (100%), caracterizados en nivel medio.

4.4. CONCLUSIONES

En relación a la fecha de siembra, en esta especie y en las procedencias consideradas no se observó un efecto favorable al momento de evaluar el experimento; lo anterior implica que para la siembra de la especie puede llevarse a cabo de manera tardía y aún se podría obtener plantas con las características morfológicas adecuadas optimizando los insumos utilizados.

.El tamaño del contenedor influye directamente en las características de las plantas producidas. Los contenedores de mayor volumen producen plantas más grandes y con características morfológicas superiores en prácticamente todas las variables que las producidas en contenedores más pequeños; a excepción del índice de esbeltez, aunque cabe recordar que un valor mayor en este índice conlleva niveles de estrés elevados en campo.

Las procedencias de *Pinus greggii* utilizadas en este estudio responden de manera diferente al efecto de la fecha de siembra. Lo anterior puede indicar cierto nivel de control genético en el desarrollo de la planta, lo cual es un campo de estudio importante a tomar en cuenta, ya que el conocimiento que se pudiese generar en este sentido permitiría efficientizar de manera importante la producción de planta de calidad.

El desempeño de la planta en campo se vio limitada tanto por las condiciones meteorológicas imperantes como por el daño ocasionado por fauna silvestre y doméstica; de ahí que en los resultados obtenidos no se hayan encontrado diferencias entre tratamientos. Es de suma importancia una caracterización detallada del sitio para efectuar los trabajos de plantación en el afán de que los árboles a utilizar se encuentren debidamente acondicionados (con estándares de calidad apropiados) y puedan expresar un nivel de desarrollo adecuado.

CAPÍTULO 5

LITERATURA CITADA

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

Altamash, B. A., K.N. Qaisar, M. A. Khan, and M. Majeed. 2009. Benefit-cost analysis of raising *Pinus wallichiana* seedlings in different capacities/sizes of root trainers in the nursery. *Forestry Studies in China* 11(2): 118–121.

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.

Birchler, T., R.W. Rose, A. Royo and M. Pardos. 1998. La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* 7 (1 y 2): 109-121.

Cetina A., V. M., V. A. González H., M. L. Ortega D., J.J. Vargas H. y A. Villegas M. 2002. Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm. previamente sometido a podas o sequía en vivero. *Agrociencia* 36(2): 233-241.

Chirino E., A. Vilagrosa, E.I. Hernández, A. Matos, y V.R. Vallejo. 2008. Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest Ecology and Management* 256: 779–785.

Climent, J.M., L. Gil, E. Pérez, y J.A. Pardos. 2002. Efecto de la procedencia en la supervivencia de plántulas de *Pinus canariensis* Sm. en medio árido. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* 11 (1): 171-180.

CONAFOR. 2012. Programas y acciones de reforestación, conservación y restauración de suelos, incendios forestales y sanidad forestal. Zapopan, Jal., México. 172 p.

Conkle, M. T. 2004. Zonificación de Semillas en México. *In*: Vargas H., J. J., B. Bermejo V. y F.T. Ledig (eds.). Manejo de Recursos Genéticos Forestales. 2da Ed. Colegio de Postgraduados y Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jalisco. pp: 58-71.

Cunha, F.R. 1982. O problema da geada negra no Algarve. INIA Divulgação No. 12. 125 p.

Dickson, A., A.L. Leaf, and J.F. Hosner. 1960. Seedling quality-soil fertility relationships of white spruce and red and white pine in nurseries. *The Forestry Chronicle* 36:237-241.

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

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.

Dvorak, W.S., G.R. Hodge, J.E. Kietzka, F. Malan, L.F. Osorio and T.K Stanger. 2000. *Pinus patula*. *In*: The CAMCORE Cooperative. Conservation and Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species. College of Natural Resources, NCSU, Raleigh, NC. USA. pp: 149-173.

Furnier, G. R. 2004. Métodos para medir variación genética en las plantas. *In*: J. J., Vargas H., B. Bermejo V. y F.T. Ledig (eds.). Manejo de Recursos Genéticos Forestales. 2da Edición. Colegio de Postgraduados y Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jalisco. pp: 20-31.

García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köeppen. 2a Edi. Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. pp: 39-40.

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

Hodge, G.R., W.S. Dvorak and M. E. Tighe. 2012. Comparisons between laboratory and field results of frost tolerance of pines from the southern USA and Mesoamerica planted as exotics. *Southern Forests* 74(1): 7–17.

Jeong J., J. O. Park, J. I. Kim, J. T. Lim, S.R. Lee and C. Kim. 2010. Effects of container volumes and fertilization on red (*Pinus densiflora*) and black pine (*Pinus thunbergii*) seedlings growth. *Forest Science and Technology* 6(2):80-86.

Johnson, J.D. and M.L. Cline. 1991. Seedling quality of southern pines. *In*: M.L. Duryea and P.M. Dougherty (eds.). *Forest Regeneration Manual*. Kluwer Academic Publishers. pp: 143-159.

Kalma, J.D., G.P. Laughlin, J.M. Caprio and J.C. Hamer P. 1992. *Advances in Bioclimatology, 2. The Bioclimatology of Frost*. Berlin. Springer-Verlag. 144 p.

Landis, T. D. 1990. Containers: Types and Functions. *In*: T. D., Landis, R. W. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett. *The Container Tree Nursery Manual, Volume 2. Agric. Handbook 674*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. pp: 1-40.

Landis, T. D. and R. K. Dumroese. 2007. Applying the target plant concept to nursery stock quality. *In*: *Plant quality: a key to success in forest establishment. Proc. of the COFORD Conference*. Dublin, Ireland: National Council for Forest Research and Development. pp: 110-119.

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.

Martínez M., A., V. Mondino, y L. Gallo. 2005. Evaluación de daños por heladas tardías en ensayos de procedencias de pino Oregón introducidos en el norte de la Región Andino Patagónica Argentina. *Bosque* 26(3): 113-120.

Mexal, J.G. y T.D. Landis. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. *In*: R.W. Rose,, S.J. Campbell y T.D. Landis (eds.). *Target Seedling Symposium Proceedings*.

Combined meeting of the Western Forest Nursery Associations. USDA. Forest Service. Roseburg. Oregon. pp: 17-36.

Navarro M., R., A. del Campo y J. Cortina. 2006a. Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta. *In*: J. Cortina, J. L. Peñuelas R., J. Puértolas, R. Savé y A. Vilagrosa (Comps.). Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos: Estado actual de conocimientos. Organismo Autónomo Parques Nacionales-Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. pp: 31-46.

Navarro M., R., S., P.Villar, y A.del Campo. 2006b. Morfología y establecimiento de los plantones. *In*: J. Cortina, J. L. Peñuelas R., J. Puértolas, R. Savé y A. Vilagrosa (Comps.). Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos: Estado actual de conocimientos. Organismo Autónomo Parques Nacionales-Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. pp: 67-88.

Ortega, U., J. Majada, A. Mena-Petite, J. Sánchez Z., 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.

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

Pimentel B., L. 2009. Producción de Árboles y Arbustos de Uso Múltiple. Editorial Mundi-Prensa. México. 237 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.

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

Sáenz R., C., J. Beaulieu, y G.E. Rehfeldt. 2011. Variación genética altitudinal entre poblaciones de *Pinus patula* de Oaxaca, México, en cámaras de crecimiento simulando temperaturas de calentamiento global. *Agrociencia* 45: 399-411.

SEMARNAT. 2013. Boletín: El objetivo de PRONAFOR será reactivar la economía del sector forestal mexicano. Coordinación General de Comunicación Social. www.semarnat.gob.mx.

Snyder, R. L., y J. P. de Melo-Abreu. 2010. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Volumen I. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 257 p.

Sosa P., G. y D.A. Rodríguez T. 2003. Efecto de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de *Pinus patula* en un área quemada. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(1): 35-43.

UACH-DiCiFo. 2009. Diagnóstico Nacional de los Viveros y de la Condición Fitosanitaria y Calidad de Planta. Texcoco, México. 470 p.

Villar S., P. 2003. Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. *In*: J.M. Rey-Benayas,, T. Espigares P., y J.M. Nicolau I. (eds.). *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos*. Universidad de Alcalá-Asociación Española de Ecología Terrestre. Madrid, España. pp: 65-86.

Villaseñor, J.L. 2004. Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75:105-135.