

CRECIMIENTO DE *Pinus cembroides* ZUCC. EN VIVERO Y CAMPO PRODUCIDO EN DIFERENTE TIPO DE CONTENEDOR

GROWTH OF *Pinus cembroides* ZUCC. IN NURSERY AND FIELD PRODUCED IN DIFFERENT TYPE OF CONTAINER

Rosa E. Madrid-Aispuro¹, José Á. Prieto-Ruíz^{2*}, José C. Hernández-Díaz³,
Arnulfo Aldrete⁴, Christian Wehenkel³ y Jorge A. Chávez-Simental³

¹Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Durango, México. ²UJED, Facultad de Ciencias Forestales, Durango, México. ³UJED, Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Durango, México. ⁴Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia (jprieto@ujed.mx)

RESUMEN

El volumen del contenedor determina la forma y tamaño de la raíz de las plantas, la cantidad de sustrato, agua y nutrientes minerales disponibles para su crecimiento e influye en los costos de producción. En este ensayo se evaluó el efecto de 10 contenedores de diferente tipo y volumen sobre el crecimiento en vivero de plantas de *Pinus cembroides* Zucc. y su desempeño después de plantadas en campo. Los contenedores evaluados fueron tubetes de plástico rígido (T170, T220, T250, T310 y T380 mL), charolas de plástico rígido (Ch plas-170, Ch plas-200 y Ch plas-220 mL) y charolas de poliestireno (Ch pol-160 y Ch pol-170 mL). A los 14 meses de la siembra en vivero se evaluó la altura, diámetro, biomasa seca y número de raíces de las plantas. Durante 18 meses se monitoreó la supervivencia en campo y al final se registró la altura y diámetro en cada tratamiento. En vivero se presentaron diferencias significativas en las variables evaluadas. Las plantas con mayor altura (20.4 cm) y diámetro (4.9 mm) se produjeron en uno de los contenedores con menor volumen (Ch pol-170), mientras que la mayor cantidad de biomasa seca aérea, de la raíz y total (4.0, 1.3 y 5.3 g, respectivamente) y mayor número de raíces secundarias (15.9) se generaron en el contenedor de mayor volumen (T380). En campo, la supervivencia al final de 18 meses varió entre 10 y 37.5 %, sin mostrar diferencias significativas entre tratamientos. Las plantas en campo alcanzaron mayor incremento en diámetro con el contenedor T380, el cual fue uno de los tratamientos con mayor incremento en altura y supervivencia.

Palabras clave: *Pinus cembroides*, biomasa seca, calidad de planta, plantación forestal, supervivencia.

SUMMARY

The volume of the container determines the shape and size of the root of the plants, the amount of substrate, water and mineral nutrients available for plant growth and influences the production costs. In this research, the effect of 10 containers of different type and volume on the growth of *Pinus cembroides* Zucc. was evaluated in the nursery along with its performance after planted in the field. The containers evaluated were rigid plastic tubes (T170, T220, T250, T310 and T380 mL), rigid plastic trays (Ch plas-170, Ch plas-200 and Ch plas-220 mL) and polystyrene trays (Ch pol-160 and Ch pol-170 mL). The height, diameter, dry biomass and number of roots of plants were evaluated at 14 months after sowing in the nursery. Survival in the field was monitored for 18 months and at the end of that period the height and diameter were recorded for each treatment. Significant differences were found in the nursery in the variables evaluated. The plants with the highest height (20.4 cm) and

diameter (4.9 mm) were produced in one of the containers with the smallest volume (Ch pol-170), while the highest amount of aerial, root and total dry biomass (4.0, 1.3 and 5.3 g, respectively) and a larger number of secondary roots (15.9) were generated in the container with the highest volume (T380). In the field, survival at the end of 18 months varied between 10 and 37.5 %, without showing significant differences among treatments. The plants in the field achieved the largest increase in diameter with the T380 container, which was one of the treatments with greater increase in height and survival.

Keywords: *Pinus cembroides*, dry biomass, forest plantation, plant quality, survival.

INTRODUCCIÓN

La tasa neta de deforestación anual en México durante el periodo 2007 a 2011 fue 89,517 ha (CONAFOR, 2019); para contrarrestar esos efectos adversos se ha recurrido a la restauración de los ecosistemas, donde la reforestación es parte importante de ese proceso; sin embargo, un reto pendiente es mejorar la tecnología de producción de planta en vivero (Haase y Davis, 2017), que permita incrementar la supervivencia y crecimiento en el sitio de plantación, ya que la mortalidad al año de plantado es cercana a 50 %, debido principalmente a sequía, plantación tardía y planta de baja calidad (Prieto y Goche, 2016).

La Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 incentiva la certificación de la operación de viveros forestales en los programas que producen planta en convenio con la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), donde el tamaño mínimo del contenedor debe ser 160 mL (SE, 2016). El contenedor es fundamental para el desarrollo de las plantas en vivero, ya que determina la cantidad de sustrato, agua y nutrientes minerales disponibles para su crecimiento, el tamaño de las mesas de crecimiento, capacidad de producción del vivero y costos de producción (Luna et al., 2009). La elección del contenedor para determinada

especie forestal influye en el desarrollo del sistema radical y en el cumplimiento de los objetivos de la plantación (De la Fuente *et al.*, 2017).

Está demostrado que el volumen y la profundidad del contenedor son las variables con mayor impacto en la morfología de la planta, ya que determinan el tamaño que podrá alcanzar y la longitud del sistema radical, donde a mayor tamaño de la planta corresponde mayor superficie fotosintética (Judd *et al.*, 2015); sin embargo, el tamaño del contenedor adecuado depende, entre otros aspectos, de la especie y del tiempo de cultivo que requiere la planta en vivero (Landis *et al.*, 2010). El tiempo mínimo requerido de *P. cembroides* Zucc. es de 12 a 14 meses, por ser una especie de crecimiento lento (SE, 2016).

Pinus cembroides habita en zonas de transición, en altitudes de 1350 a 2800 m, con precipitación anual entre 350 y 700 mm (Herrera-Soto *et al.*, 2018). En México, la producción de planta de esta especie se ha estudiado en relación con la calidad de agua (Escobar-Alonso y Rodríguez, 2019), medios de crecimiento y fertilización (Madrid-Aispuro *et al.*, 2020), sin haberse evaluado otros aspectos, como los contenedores, lo que hace que su uso sea generalizado, sin considerar los hábitos de crecimiento. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el desarrollo de *P. cembroides* en vivero, producido en 10 tipos de contenedores con diferentes dimensiones y su efecto en la supervivencia y crecimiento en campo, partiendo de la hipótesis de que al menos un tipo de contenedor presenta efectos significativos en el desarrollo en vivero, así como en la supervivencia y crecimiento en campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en dos etapas: la primera en vivero, desde la siembra hasta los 14 meses de edad y la segunda en campo, durante 18 meses después de plantado.

Etapas de vivero

Esta etapa se realizó en el vivero forestal "General Francisco Villa", ubicado en el ejido 15 de septiembre, municipio de Durango, México (23° 58' 17" LN y 104° 35' 51" LO y 1,876 m de altitud). La planta se produjo en un invernadero cubierto con plástico de polietileno calibre 720, tratado contra rayos ultravioleta y con malla sombra al 30 %. Durante el ensayo se registraron temperaturas promedio máximas de 37 °C y mínimas de 3 °C; la humedad relativa promedio fue 70 %. La semilla utilizada se recolectó en rodales semilleros del ejido El Toro, municipio de Guanaceví, Durango, México. Como sustrato se usó una mezcla de 50

% de aserrín crudo de pino, 25 % de corteza compostada de pino y 25 % de turba, a la que se le agregaron 8 kg m⁻³ del fertilizante de liberación controlada Multicote 8® 18-6-12 de N-P-K, con ocho a nueve meses de liberación de nutrientes. El sustrato tuvo una porosidad total de 60.7 %, porosidad de aireación de 33 % y capacidad de retención de agua de 29 %.

Previo a la siembra, la semilla se remojó en agua durante 24 horas a 25 °C y se desinfectó por 10 min en una solución a base de agua y cloro comercial (9:1), después se secó en papel absorbente y antes del secado total de la testa se impregnó con fungicida (Tecto 60®, Tiabendazol), para prevenir daños por *Damping off*. El ciclo de producción en vivero duró 14 meses (5 de mayo de 2017 al 15 de julio de 2018). A partir de la siembra y durante las primeras ocho semanas, diariamente se aplicaron riegos ligeros, después se regó tres veces por semana, con un riego de saturación al inicio de cada semana.

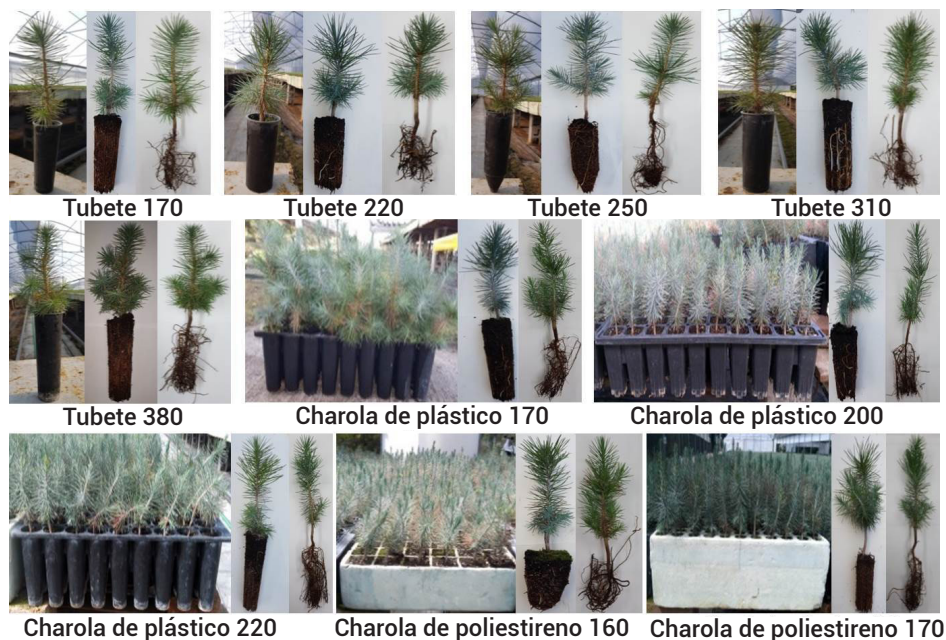
Además de incorporar fertilizante de liberación controlada, se aplicaron los siguientes productos solubles en agua: 1) de noviembre a febrero se adicionaron 0.5 g L⁻¹ de fosfato monoamónico MAP 12-61-0 N-P-K + 0.5 g L⁻¹ de sulfato de potasio Ultrasol® SOP 51 0-0-51 K₂O + 18 S, 2) de marzo a mayo se aplicaron 0.75 g L⁻¹ de sulfato de amonio ultrasoluble Peñoles®, 20 NH₄⁺-23 S-0.60 K₂O, 3) de junio a julio de 2018 se incorporó 1.0 g L⁻¹ de sulfato de potasio Ultrasol® SOP 51 0-0-51 K₂O + 18 S.

A partir de la gama de envases o contenedores disponibles en el mercado para producir planta y dado que *P. cembroides* habita en suelos someros con profundidad menor a 40 cm y precipitación de 614 mm anuales, distribuida en su mayoría en verano, se evaluaron 10 tratamientos basados en contenedores de diferente tipo y tamaño (Cuadro 1 y Figura 1), distribuidos en un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento. El tratamiento testigo (T) fue la charola de poliestireno de 77 cavidades (Ch pol-170 mL), comúnmente utilizada en los viveros forestales en Durango.

Al finalizar el ciclo de producción en vivero, a los 14 meses después de la siembra, en forma aleatoria se extrajeron 10 plantas de cada unidad experimental, para un total de 40 plantas por tratamiento. En cada planta se midieron las variables morfológicas diámetro del cuello (mm), altura (cm), biomasa seca aérea, radical y total (g) y número de raíces. Para determinar la biomasa seca del vástago y de la raíz, las plantas se cortaron en la base del tallo y se colocaron en bolsas de papel en una estufa de secado a 70 °C, hasta obtener peso constante, el cual se determinó en una balanza analítica.

Cuadro 1. Características generales de los contenedores utilizados.

Tratamiento	Tipo de contenedor	Volumen (mL)	Cavidades (No)	Largo (cm)	Diámetro superior (mm)	Densidad (Plantas m ⁻²)	Vida útil (años)
T170	Tubete plástico	170	42	12.0	45.9	291	15
T220	Tubete plástico	220	25	11.1	62.4	193	15
T250	Tubete plástico	250	25	18.5	52.8	193	15
T310	Tubete plástico	310	25	16.1	62.4	193	15
T380	Tubete plástico	380	25	20.9	62.4	193	15
Ch plas-170	Charola plástico	170	54	13.8	50.0	348	15
Ch plas-200	Charola plástico	200	60	13.0	48.0	282	15
Ch plas-220	Charola plástico	220	54	14.6	50.0	348	15
Ch pol-160	Charola poliestireno	160	78	10.0	53.4	278	5
Ch pol-170	Charola poliestireno	170	77	15.0	43.0	367	5

**Figura 1. Aspecto visual de los contenedores evaluados para *Pinus cembroides* Zucc. en vivero.**

Etapa de campo

El sitio de plantación se ubica en el ejido 16 de septiembre, municipio de Durango, Durango, México, con coordenadas 24° 00' 16" LN y 104° 46' 57" LO y 2186 m de altitud, localizado en una transición de zona semiárida a bosque de clima templado. La vegetación predominante está compuesta por *Quercus* sp., *Yucca* sp., *Opuntia* sp., *Mimosa* sp. y *Acacia* sp. Existe una mezcla de tipos de suelo, conformada por Litosol, Regosol eútrico y Feozem háplico de textura media (I+Re+Hh/2); su textura es franco-arcillo-arenosa, con 7.2 de pH; son suelos pedregosos, con buen drenaje y pendiente cercana al 5 %.

La temperatura media anual fue 17.3 °C, la mínima 5.7 °C y la máxima 29.9 °C, con humedad relativa promedio de 54 % y precipitación anual de 614 mm.

Un año antes de plantar se subsoleó el terreno a 40 cm de profundidad. Sobre las líneas de subsoleado, al tiempo de plantar, se hicieron cepas de 30 × 30 × 30 cm. Se plantaron 400 plantas de *P. cembroides* de 14 meses de edad, manteniendo el registro de los 10 tratamientos del vivero y distribuyéndolos en un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, cada una con 10 plantas. La separación entre líneas fue 2 m, mientras que la distancia entre plantas en la misma línea

fue 1.5 m. Un mes después de plantadas, a cada planta se le aplicaron 10 g de fertilizante de liberación controlada Multicote 8® 18-6-12 de N-P-K. Se evaluó la supervivencia a los 2, 5, 7, 10, 12 y 18 meses de plantado, se registraron plantas vivas y muertas y se midió la altura (cm) y el diámetro (mm) sólo a los 18 meses de plantado. Con estos datos se calculó el incremento en altura y diámetro de las plantas en campo.

Análisis estadístico

A las variables evaluadas, tanto en vivero como en campo, se les realizó análisis de varianza mediante el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS versión 9.2 (SAS Institute, 2009). Cuando existieron diferencias significativas entre tratamientos se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Para la variable supervivencia, previo al análisis, los valores de porcentaje se transformaron con la función arcoseno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapas de vivero

Existieron diferencias significativas ($P \leq 0.001$) en las variables morfológicas evaluadas en vivero, atribuidas al tipo y tamaño de los contenedores empleados (Cuadro 2).

Las plantas producidas en Ch pol-170 tuvieron mayor altura, 6.4 cm más altas que las de Ch pol-160, donde se registraron los valores menores, que es el contenedor de menor volumen y menor profundidad (Cuadros 1 y 2). Para esta variable, todos los tratamientos cumplieron con los estándares mínimos establecidos para *P. cembroides* en

la Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 (15-25 cm altura) (SE, 2016). La altura es importante si en el sitio de plantación existe competencia vegetal por luz o nutrientes; sin embargo, en sitios secos, para disminuir la pérdida de agua por evaporación se recomienda utilizar plantas pequeñas (Grossnickle, 2012).

En relación al diámetro, con excepción de las plantas producidas en los contenedores T170, T310 y T380, en los demás tratamientos se tuvieron valores superiores a 4 mm, valor considerado de calidad en esta especie (SE, 2016). En este caso el aumento del volumen del contenedor no favoreció al diámetro, como ha sucedido en otras especies del género de *Pinus* (Bernaola *et al.*, 2016); sin embargo, en T310 y T380 se produjo planta con mayor cantidad de biomasa y mayor número de raíces secundarias, lo que puede deberse a la menor densidad (193 plantas por m²). South *et al.* (2005) observaron que conforme aumenta la distancia entre plantas incrementa la producción de biomasa seca, como resultado de la intercepción y utilización de la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento de las plantas. Grossnickle (2012) señaló que utilizar contenedores que propicien mayor desarrollo radical en las plantas les confiere mayor probabilidad de supervivencia en la plantación, debido a que disminuye el riesgo de estrés por sequía.

La biomasa seca aérea, de la raíz y la total fueron mayores en las plantas producidas en el contenedor T380 (mayor volumen y profundidad: 380 mL y 20.5 cm), propiciando mayor cantidad de raíces, debido a que facilita la circulación y la absorción de nutrientes al tener más espacio interno. En consecuencia, el volumen de la parte aérea aumentó, coincidiendo con resultados de Bonilla *et*

Cuadro 2. Comparación de medias de las variables morfológicas de *Pinus cembroides* Zucc. en etapa de vivero a los 14 meses de la siembra producido en diferentes contenedores.

Tratamiento (Contenedor)	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Biomasa seca (g)			Raíces secundarias (No)
			Aérea	Raíz	Total	
T170	15.8 ± 0.5 de [†]	2.3 ± 0.05 c	2.4 ± 0.2 c	0.7 ± 0.0 d	3.1 ± 0.2 d	15.3 ± 0.7 ab
T220	16.2 ± 0.5 cde	4.6 ± 0.09 a	3.3 ± 0.2 ab	0.8 ± 0.0 cd	4.1 ± 0.2 bc	13.2 ± 0.6 bcd
T250	17.5 ± 0.5 bcd	4.8 ± 0.09 a	3.6 ± 0.2 ab	1.2 ± 0.1 ab	4.8 ± 0.2 ab	14.6 ± 0.7 ab
T310	16.9 ± 0.4 cd	3.0 ± 0.05 b	3.6 ± 0.2 ab	1.1 ± 0.0 abc	4.7 ± 0.2 ab	15.8 ± 0.5 ab
T380	19.4 ± 0.7 ab	3.1 ± 0.07 b	4.0 ± 0.3 a	1.3 ± 0.1 a	5.3 ± 0.3 a	15.9 ± 0.7 a
Ch plas-170	18.3 ± 0.5 abc	4.7 ± 0.12 a	3.2 ± 0.2 ab	0.8 ± 0.1 cd	4.0 ± 0.2 bcd	11.5 ± 0.5 cd
Ch plas-200	17.6 ± 0.5 bcd	4.7 ± 0.15 a	3.1 ± 0.2 bc	1.0 ± 0.1 bc	4.1 ± 0.2 bc	11.6 ± 0.5 cd
Ch plas-220	18.5 ± 0.5 abc	4.5 ± 0.11 a	3.0 ± 0.2 bc	0.8 ± 0.0 cd	3.8 ± 0.2 bcd	11.6 ± 0.5 cd
Ch pol-160	14.0 ± 0.4 e	4.5 ± 0.10 a	2.3 ± 0.1 c	1.1 ± 0.1 abc	3.4 ± 0.2 cd	10.7 ± 0.5 d
Ch pol-170	20.4 ± 0.6 a	4.9 ± 0.11 a	3.7 ± 0.2 ab	1.1 ± 0.1 ab	4.8 ± 0.2 ab	13.6 ± 0.6 abc

[†]Valores promedio ± error estándar. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

al. (2014) y Hubbel *et al.* (2018). Tian *et al.* (2017) indican que, a nivel fisiológico, una mayor proporción de biomasa raíz-brote produce relaciones hídricas más favorables y puede almacenar más reservas de carbohidratos, que estarán disponibles para el crecimiento de las plantas después de la plantación. Por su parte, Poorter *et al.* (2012) encontraron que, en promedio, al duplicar el tamaño del contenedor se produce 43 % más de biomasa, lo que concuerda con este ensayo, ya que el contenedor T380 produjo 42.5 % más biomasa aérea en relación con el contenedor de menor volumen (Ch pol-160); además, el tratamiento T380 promovió mayor número de raíces con respecto a los demás tratamientos, con 32.7 % más que el envase Ch pol-160, que fue el de menor volumen y profundidad (10 cm). Los contenedores pequeños limitan el crecimiento de la raíz, ya que al llegar a la base del contenedor ésta crece en espiral y en algunos casos forma un nudo, situación desfavorable para su desarrollo en campo. Los tres tipos de charolas de plástico rígido también generaron menor cantidad de raíces. Un volumen mayor en el contenedor permite que el desarrollo radical sea más grande, lo que favorece la absorción de agua y nutrientes (Bernaola-Paucar *et al.*, 2015; Landis, 1990), tal como sucedió en este caso; además, la profundidad del contenedor determina la longitud del sistema radical, factor clave para sitios donde la precipitación es escasa (Luna *et al.*, 2012).

Según la Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 (SE, 2016), *P. cembroides* debe permanecer de 10 a 18 meses en vivero para que obtenga las características morfológicas adecuadas de altura y diámetro antes de ser plantado. Usar contenedores pequeños limita el desarrollo aéreo y radical, como se observó con el envase Ch pol-160, que produjo la planta con menor altura y biomasa seca aérea y total, así como menos raíces secundarias.

La restricción principal con respecto al uso de contenedores de mayor volumen es económica, no biológica, porque los contenedores grandes ocupan más espacio en el vivero, requieren más sustrato y se necesita más tiempo para que el sistema radical ocupe el espacio disponible en el contenedor, aunque ese mayor crecimiento radical en el vivero favorece la supervivencia y desarrollo después de plantado; en cambio, contenedores pequeños cuestan menos, ocupan menos espacio y requieren menos cantidad de sustrato; sin embargo, estas ventajas en vivero pueden ser contraproducentes en la plantación (Landis, 1990); por ello, lograr eficiencia implica considerar de manera integral tanto la producción de planta en vivero como la plantación, considerando a la vez la calidad de planta, su costo en vivero y su potencial de supervivencia y desarrollo en el sitio de plantación (Sun *et al.*, 2018).

La decisión de utilizar un envase u otro también se basa en el sistema de producción y el crecimiento de la especie en el vivero; además, es importante considerar que los contenedores de plástico se pueden reutilizar por más tiempo (15 años) que los contenedores de poliestireno (cinco años) (CONAFOR, 2011), aunque esto puede variar según el manejo; además, las cavidades de las charolas de poliestireno requieren ser impregnadas con sales de cobre para que las raíces no se incrusten en las paredes.

Etapa de campo

La planta presentó diferencias significativas en altura y diámetro en campo ($P \leq 0.05$), atribuibles al efecto de los contenedores utilizados en la etapa de vivero. El incremento en altura promedio en campo fue mayor en las plantas del contenedor T250, los demás tratamientos se ubicaron en el siguiente grupo estadístico (1.3 a 5.7 cm), con excepción del tratamiento Ch plas-200, donde el incremento fue mínimo (0.8 mm). Aun cuando en vivero la planta del contenedor Ch pol-170 tuvo el mayor crecimiento en altura (20.4 cm), en campo su crecimiento fue mínimo (1.7 cm) (Cuadros 2 y 3), lo cual pudo deberse a una mayor área expuesta a daños por heladas, ocurridas entre los cuatro y cinco meses después de plantado, con temperaturas mínimas extremas de -3.4 °C, pues de acuerdo con Viveros-Viveros *et al.* (2007), este tipo de fenómenos ocasiona un crecimiento lento en las plantas. Por otro lado, el espacio de crecimiento de las raíces estuvo limitado y con menores puntos de crecimiento, lo que pudo debilitar el vigor de la planta.

La respuesta favorable en diámetro y supervivencia del contenedor de mayor volumen (T380) pudo deberse a que su mayor espacio propicia mejores características del sistema radicular, que le permiten aprovechar mejor la humedad del suelo, sobre todo en sitios con precipitación escasa (614 mm).

La planta proveniente del contenedor T380 alcanzó el mayor incremento en diámetro, con 6.6 mm, seguida de los tratamientos T310 y T170, con 5.7 y 5.4 mm (Cuadro 3); en cambio, los contenedores Ch pol-170 y Ch plas-200 registraron los incrementos menores en diámetro en campo (2.9 y 3.3 mm), lo cual también sucedió con el incremento en altura, aunque en vivero su crecimiento en diámetro las ubicó en el grupo estadísticamente superior (Cuadro 2). El incremento en diámetro, tanto en vivero como en campo, depende de las características del contenedor (Sigala *et al.*, 2015). La especie y el diámetro inicial al plantar son también importantes; por ejemplo, Prieto *et al.* (2018) encontraron que, a los 13 meses de plantado, *P. engelmannii* Carr. tuvo incrementos de 14.3 mm con un diámetro inicial de 6.5 mm, mientras que *P. cooperi* Blanco

Cuadro 3. Incremento en altura y diámetro de *Pinus cembroides* Zucc. en diferentes tipos de contenedores a los 18 meses de plantado.

Contenedor	Incremento en altura (cm)	Incremento en diámetro (mm)
T170	1.3 ± 0.5 ab	5.4 ± 0.7 ab
T220	4.8 ± 0.9 ab	3.8 ± 0.2 bc
T250	6.7 ± 2.0 a	4.4 ± 1.0 abc
T310	3.4 ± 0.8 ab	5.7 ± 0.4 ab
T380	5.5 ± 1.0 ab	6.6 ± 0.4 a
Ch plas-170	5.7 ± 2.5 ab	5.0 ± 0.9 abc
Ch plas-200	0.8 ± 0.4 b	3.3 ± 0.5 bc
Ch plas-220	2.4 ± 1.3 ab	4.6 ± 0.8 abc
Ch pol-160	5.4 ± 1.5 ab	4.3 ± 0.3 abc
Ch pol-170	1.7 ± 0.5 ab	2.9 ± 0.5 c

Valores promedio ± error estándar. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

registró incrementos de 9.9 mm con un diámetro inicial de 4.5 mm. South *et al.* (2005), en plantas de *Pinus palustris* Mill. producidas en menor densidad en vivero (441 plantas m^{-2}), obtuvieron mayor diámetro después de dos años de establecidas en campo que las plantas de mayor densidad (581 plantas m^{-2}); en este caso, las plantas producidas en altas densidades en vivero (Ch pol-170, con 367 plantas m^{-2}) tuvieron mayor altura y diámetro en vivero, pero menor incremento en campo en ambas variables con relación a los contenedores T250 y T380, con mayor incremento en altura y diámetro y producidas con menor densidad (193 plantas m^{-2}).

El comportamiento de la supervivencia a lo largo de 18 meses decrecimiento en campo fue variable; en los primeros dos meses no existieron diferencias significativas entre tratamientos ($P \geq 0.05$), manifestando una supervivencia mayor a 97 % (Cuadro 4), lo que puede atribuirse a que en el sitio de plantación existieron condiciones iniciales favorables de temperatura y humedad.

A los cinco meses de plantados, la mayoría de los tratamientos mostraron un ligero descenso en la supervivencia, la cual se mantuvo entre 90 y 100 %, sin que existieran diferencias significativas entre tratamientos; a los siete meses la diferencia se amplió entre 62.5 y 95 % y los porcentajes menores correspondieron a los contenedores T250 y T380, mientras que el mayor porcentaje se presentó en el contenedor Ch pol-160, mostrando diferencias significativas entre tratamientos. Cabe destacar que dicho periodo incluyó la etapa de invierno (diciembre-febrero), caracterizado por condiciones de humedad y

temperatura adversas; a los cuatro y cinco meses de plantado ocurrieron temperaturas bajas (-3.4 °C), las cuales dañaron las acículas de las plantas. Los daños más severos se presentaron en los individuos producidos en los contenedores T250, Ch plas-220 y Ch plas-170, efecto reflejado finalmente en la evaluación a los 12 y 18 meses de plantado (Cuadro 4).

A los 10 meses también se detectaron diferencias significativas en la supervivencia, con una variación de 92.5 a 57.5 %, con los valores mayores en los contenedores Ch pol-160 y T220 y los menores en el T380, T250 y Ch plas-170 (Cuadro 4). La fecha de evaluación en este periodo corresponde a la mitad de la época más seca (fin de primavera e inicio de verano), donde la escasez de humedad y las temperaturas altas exponen a las plantas a un estado extremo de estrés térmico, hídrico y lumínico.

A los 12 meses de plantado (julio) estaba iniciando la temporada de lluvias y la supervivencia disminuyó notablemente, quedando en un intervalo de 12.5 a 40 %, sin mostrar diferencias significativas entre tratamientos. El marcado aumento de mortandad puede atribuirse a que antes del periodo de lluvias la humedad fue escasa, pues durante los cinco meses anteriores (febrero a junio) la temperatura fue elevada y se careció de precipitación. Poulos (2014) señaló que las bajas temperaturas del invierno, seguidas por un periodo de sequía, fueron la principal causa de la mortalidad de plantas de *P. cembroides* entre 2009 y 2012 en el Parque Nacional Big Bend en Texas, EUA.

A los 18 meses, mitad del segundo invierno en campo, se observó un ligero descenso en la supervivencia (10 a 37.5 %); sin embargo, la disminución porcentual fue menor que en los primeros 12 meses, incluso en algunos contenedores la supervivencia se mantuvo igual (T220 y T250). El contenedor Ch plas-170 mostró menor porcentaje de plantas vivas (10 %); este mismo tratamiento tuvo la menor cantidad de raíces secundarias en la etapa de vivero; no obstante, dos contenedores medianos (T310 y T220) tuvieron la mayor supervivencia con 37.5 % en ambos casos, seguidos del T380 con 32.5 %. Aunque no existieron diferencias significativas entre tratamientos, estos tres envases están entre los que produjeron plantas con mayor biomasa aérea y mayor número de raíces en vivero (Cuadro 2). Lo anterior indica que las plantas producidas en contenedores de mayor volumen propician un mejor desarrollo en campo, al tener un sistema radical con mejor arquitectura y ser menos vulnerables al estrés hídrico (Sigala *et al.*, 2015).

Con base en los resultados obtenidos, se considera que tanto las condiciones climáticas del sitio como las

Cuadro 4. Porcentaje de supervivencia en campo de *P. cembroides* en relación con el tipo de contenedor utilizado en vivero.

Contenedor	2 meses (Sep 2018)	5 meses (Dic 2018)	7 meses (Feb 2019)	10 meses (May 2019)	12 meses (Jul 2019)	18 meses (Ene 2020)
T170	97.5 ± 2.5 a [†]	90.0 ± 4.1 a	72.5 ± 7.5 abc	65.0 ± 6.5 ab	27.5 ± 10.3 a	20.0 ± 10.8 a
T220	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	90.0 ± 4.1 ab	90.0 ± 4.1 a	37.5 ± 6.3 a	37.5 ± 6.3 a
T250	100.0 ± 0.0 a	92.5 ± 4.8 a	62.5 ± 4.8 c	60.0 ± 4.1 b	12.5 ± 2.5 a	12.5 ± 2.5 a
T310	100.0 ± 0.0 a	92.5 ± 4.8 a	85.0 ± 9.6 abc	80.0 ± 7.1 ab	40.0 ± 10.8 a	37.5 ± 11.8 a
T380	100.0 ± 0.0 a	95.0 ± 2.9 a	62.5 ± 11.1 c	57.5 ± 13.1 b	35.0 ± 15.0 a	32.5 ± 16.5 a
Ch plas-170	100.0 ± 0.0 a	97.5 ± 2.5 a	65.0 ± 6.5 bc	60.0 ± 9.1 b	15.0 ± 11.9 a	10.0 ± 7.1 a
Ch plas-200	100.0 ± 0.0 a	97.5 ± 2.5 a	72.5 ± 10.3 abc	65.0 ± 14.4 ab	27.5 ± 7.5 a	25.0 ± 6.5 a
Ch plas-220	100.0 ± 0.0 a	95.0 ± 5.0 a	75.0 ± 6.5 abc	72.5 ± 7.5 ab	20.0 ± 10.8 a	15.0 ± 11.9 a
Ch pol-160	100.0 ± 0.0 a	97.5 ± 2.5 a	95.0 ± 2.9 a	92.5 ± 4.8 a	30.0 ± 7.1 a	25.0 ± 5.0 a
Ch pol-170	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	82.5 ± 8.5 abc	77.5 ± 11.1 ab	27.5 ± 8.5 a	20.0 ± 7.1 a

[†]Valores promedio ± error estándar. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \geq 0.05$).

características de las plantas producidas influyeron en la supervivencia de *P. cembroides*. En los contenedores de mayor volumen el diámetro en el vivero fue menor, pero tuvieron mayor supervivencia en campo, lo que concuerda con los resultados de Dumroese *et al.* (2011), quienes señalan que al incrementar el volumen del contenedor se aumenta la supervivencia y el crecimiento en campo, junto con otros factores como la especie, calidad de la planta, tipo y pH del suelo, condiciones físico-ambientales del sitio, fecha de plantación, preparación del terreno y mantenimiento.

Escobar y Rodríguez (2019) detectaron que únicamente en 29.5 % de los trabajos realizados en vivero en México se hicieron pruebas de supervivencia en campo; sin embargo, solamente en tres casos se les dio seguimiento en campo a los mismos tratamientos del vivero (Cetina *et al.*, 2002; Prieto *et al.*, 2007; Sigala *et al.*, 2015). Para el caso de *P. cembroides* no se encontraron registros sobre estudios en este sentido. El presente trabajo permitió dar seguimiento a los resultados analizados en vivero para detectar el grado de influencia de los mismos tratamientos en el establecimiento y desarrollo de las plantas en el sitio definitivo de plantación.

CONCLUSIONES

El tipo de contenedor influyó en el crecimiento de *Pinus cembroides* en vivero. El mayor número de raíces secundarias y la mayor producción de biomasa seca aérea, raíz y total se produjo con el contenedor T380, pero la altura de la planta fue 1 cm menor a la del contenedor Ch pol-170, donde se obtuvieron los valores mayores en altura y diámetro, pero con un crecimiento radical reducido

en comparación con contenedores de mayor tamaño. En campo, el mayor incremento en altura ocurrió en el contenedor T250, mientras que el mayor incremento en diámetro se obtuvo en T380. La supervivencia final se registró sin diferencias significativas. En los tratamientos de contenedores pequeños la supervivencia y desarrollo de las plantas fue menor que en los envases medianos y mayores. Por la anterior, el volumen del contenedor utilizado en vivero influye en la supervivencia y en el crecimiento en diámetro y altura de *P. cembroides* en el campo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo económico en los estudios de doctorado del primer autor. Al Ing. Roberto Trujillo y al LAE. Roberto Trujillo Ayala, por las facilidades otorgadas para realizar el experimento en el vivero forestal "General Francisco Villa". Asimismo, al Ing. Rodrigo Veliz López e Ing. Imelda Caldera Galindo, por su apoyo durante el desarrollo del trabajo en vivero. Al Ing. Armando Limones, por las facilidades técnicas para establecer el ensayo en campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bernaola P. R. M., J. F. Zamora N., J. J. Vargas R., V. M. Cetina A., R. Rodríguez M. y E. Salcedo P. (2016) Calidad de planta en etapa de vivero de dos especies de pino en sistema doble-trasplante. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7:74-93, <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i33.91>
- Bernaola-Paucar R. M., E. Pimienta B., P. Gutiérrez G., V. M. Ordáz C., G. A. Santiago y E. Salcedo P. (2015) Efecto del volumen del contenedor en la calidad y supervivencia de *Pinus hartwegii* Lindl. en sistema doble trasplante. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6:174-187, <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i28.275>
- Bonilla V. M., J. Oliet P., Y. Sotolongo H. y E. González-Izquierdo (2014)

- Características morfológicas de *Pinus tropicalis* Morelet en vivero con diferente tamaño de envases. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 2:1-11.
- 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* 36:233-241.
- CONAFOR, Comisión Nacional Forestal (2011) Evaluación de Costos de Producción de Planta en Viveros Forestales que Abastecen Proyectos de Plantaciones Forestales Comerciales, Comisión Nacional Forestal, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 50 p.
- CONAFOR, Comisión Nacional Forestal (2019) Estado que Guarda el Sector Forestal en México, Comisión Nacional Forestal, SEMARNAT. Zapopan, Jalisco, México. 412 p.
- De la Fuente L. M., J. F. Ovalle, E. C. Arellano and R. Ginocchio (2017) Use of alternative containers for promoting deep rooting of native forest species used for dryland restoration: the case of *Acacia caven*. *iForest* 10:776-782, <https://doi.org/10.3832/for2101-010>
- Dumroese R. K., A. S. Davis and D. F. Jacobs (2011) Nursery response of *Acacia koa* seedlings to container size, irrigation method, and fertilization rate. *Journal of Plant Nutrition* 34:877-887, <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.544356>
- Escobar-Alonso S. y D. A. Rodríguez T. (2019) Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10:4-38, <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.558>
- Grossnickle S. C. (2012) Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests* 43:711-738, <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>
- Haase D. L. and A. S. Davis (2017) Developing and supporting quality nursery facilities and staff are necessary to meet global forest and landscape restoration needs. *Reforesta* 4:69-93, <https://doi.org/10.21750/REFOR.4.06.45>
- Herrera-Soto G., M. González-Cásares, M. Pompa-García, J. J. Camarero and R. Solís-Moreno (2018) Growth of *Pinus cembroides* Zucc. in response to hydroclimatic variability in four sites forming the species latitudinal and longitudinal distribution limits. *Forests* 9:440, <https://doi.org/10.3390/f9070440>
- Hubbel K. L., A. L. Ross-Davis, J. R. Pinto, O. T. Burney and A. S. Davis (2018) Toward sustainable cultivation of *Pinus occidentalis* Swartz in Haiti: effects of alternative growing media and containers on seedling growth and foliar chemistry. *Forests* 9:422, <https://doi.org/10.3390/f9070422>
- Judd L. A., B. E. Jackson and W. C. Fonteno (2015) Advancements in root growth measurement technologies and observation capabilities for container-grown plants. *Plants* 4:369-392, <https://doi.org/10.3390/plants4030369>
- Landis T. D. (1990) Containers: types and functions. In: *The Container Tree Nursery Manual*. T. D. Landis, R. W. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett (eds.). USDA Forest Service. Washington, D. C. USA. pp:1-39.
- Landis T. D., R. K. Dumroese and D. L. Haase (2010) *The Container Tree Nursery Manual*. Vol. 7. Seedling Processing, Storage, and Outplanting. Agriculture Handbook 674. USDA Forest Service. Washington, D. C., USA. 200 p.
- Luna T., T. D. Landis and R. K. Dumroese (2009) Containers. In: *Nursery Manual for Native Plants: A Guide for Tribal Nurseries*. R. K. Dumroese, T. Luna and T. D. Landis (eds.). USDA Forest Service. Washington, D. C., USA. pp:95-111.
- Luna T., T. D. Landis y R. K. Dumroese (2012) Contenedores: aspectos técnicos, biológicos y económicos: In: *Producción de Plantas en Viveros Forestales*. M. G. Buamscha, L. T. Contardi, R. K. Dumroese, J. A. Enricci, R. Escobar R., H. E. Gonda, ... y K. M. Wilkinson (eds.). Consejo Federal de Inversiones, Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Buenos Aires, Argentina. pp:78-86.
- Madrid-Aispuro R. E., J. A. Prieto-Ruiz, A. Aldrete, J. C. Hernández-Díaz, C. Wehenkel, J. A. Chávez-Simental and J. G. Mexal (2020) Alternative substrates and fertilization doses in the production of *Pinus cembroides* Zucc. in nursery. *Forests* 11:71, <https://doi.org/10.3390/f11010071>
- Poorter H., J. Bühler, D. van Dusschoten, J. Climent and J. A. Postma (2012) Pot size matters: a meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology* 39:839-850, <https://doi.org/10.1071/FP12049>
- Poulos H. M. (2014) Tree mortality from a short-duration freezing event and global-change-type drought in a Southwestern piñon-juniper woodland, USA. *PeerJ* 2:e404, <https://doi.org/10.7717/peerj.404>
- Prieto R. J. A., A. Duarte S., J. R. Goche T., M. M. González O. y M. A. Pulgarín G. (2018) Supervivencia y crecimiento de dos especies forestales, con base en la morfología inicial al plantarse. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9:151-168, <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.558>
- Prieto R. J. A. y J. R. Goche T. (2016) La Reforestación en México: Problemática y Alternativas de Solución. UJED Editorial. Durango, México. 79 p.
- Prieto R. J. A., P. A. Domínguez C., E. H. Cornejo O. y J. J. Nívar C. (2007) Efecto del envase y del riego en vivero en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. *Madera y Bosques* 13:79-97.
- SAS Institute (2009) SAS/STAT 9.2 User's Guide, Second Edition. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 238 p.
- SE, Secretaría de Economía (2016) Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016. Certificación de la Operación de Viveros Forestales. Diario Oficial de la Federación. Edición 7 de diciembre de 2016. Ciudad de México. pp:11-18.
- Sigala R. J. A., M. A. González T. y J. A. Prieto R. (2015) Supervivencia en plantaciones de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en función del sistema de producción y preacondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6:20-31, <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i30.205>
- South D. B., S. W. Harris, J. P. Barnett, M. J. Hains and D. H. Gjerstad (2005) Effect of container type and seedling size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, USA. *Forest Ecology and Management* 204:385-398, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.09.016>
- Sun Q., K. R. Dumroese and Y. Liu (2018) Container volume and subirrigation schedule influence *Quercus variabilis* seedling growth and nutrient status in the nursery and field. *Scandinavian Journal of Forest Research* 33:560-567, <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1444787>
- Tian N., S. Fang, W. Yang, X. Shang and X. Fu (2017) Influence of container type and growth medium on seedling growth and root morphology of *Cyclocarya paliurus* during nursery culture. *Forests* 8:387, <https://doi.org/10.3390/f8100387>
- Viveros-Viveros H., C. Sáenz-Romero, J. López-Upton and J. J. Vargas-Hernández (2007) Growth and frost damage variation among *Pinus pseudostrabus*, *P. montezumae* and *P. hartwegii* tested in Michoacán, México. *Forest Ecology and Management* 253:81-88, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.07.005>