

ARTÍCULOS

**Factores de manejo en vivero que influyen sobre crecimiento y supervivencia de *Pinus douglasiana* en México**

Nursery management factors that influence growth and survival of *Pinus douglasiana* in Mexico

**Rosario Marilu Bernaola-Paucar <sup>\*\*</sup>, Bayron Ruiz-Blandon <sup>b</sup>,  
Eduardo Salcedo-Pérez <sup>b</sup>, Isidro Zapata-Hernández <sup>b</sup>**

\*Autor por correspondencia: <sup>a</sup> Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Facultad de Ingeniería, Escuela Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, Puerto Maldonado, Perú, rosario\_forest@yahoo.com

<sup>b</sup> Universidad de Guadalajara, Centro Universitario Ciencias Biológicas y Agrarias, Posgrado BEMARENA, Zapopan, México.

SUMMARY

*Pinus douglasiana* is a fast-growing endemic species of Mexico, which is one of the most used in reforestation programs in western Mexico due to its importance in forest areas; however, it is one of the least documented. Therefore, the objective of this research was to evaluate the effect of container volume, supplemented fertilization and the irrigation regime in the nursery, on morphological and physiological variables and survival in the field. In the nursery, 750 12-month-old plants were selected, which were transplanted and subjected to three evaluation factors (container volume, fertilization and irrigation), having 8 treatments. In the field phase, 496 nursery-grown plants of the same treatments were established, following the completely randomized block model, with a 2<sup>3</sup> factorial arrangement. The main factor that significantly affected most of the variables evaluated was container volume. Most of the morphological and physiological variables decreased as container volume decreased. Factor interactions have more significant effects than those presented individually. Finally, it was found that *P. douglasiana* cultivated in five-liter containers, without additional fertilization and without continuous irrigation for six months in the nursery presented the highest percentage of survival one year after their establishment in the field (88 %).

**Keywords:** container volume, fertilization effect, irrigation effect, plant quality.

RESUMEN

*Pinus douglasiana* es una especie endémica de México, de rápido crecimiento la cual es una de las más empleadas en los programas de reforestación en el occidente de México por su importancia en las áreas forestales; sin embargo, es una de las menos documentadas. Por lo que, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del volumen de contenedor, la fertilización suplementada y el régimen de riego en vivero, sobre variables morfológicas, fisiológicas y la supervivencia en campo. En vivero se seleccionaron 750 plantas de 12 meses de edad, las cuales fueron trasplantadas y sometidas a tres factores de evaluación (volumen de contenedor, fertilización y riego) teniendo 8 tratamientos. En la fase de campo se establecieron 496 plantas cultivadas en vivero de los mismos tratamientos, siguiendo el modelo en bloques completamente al azar, con arreglo factorial 2<sup>3</sup>. El principal factor que afectó significativamente a la mayoría de las variables evaluadas fue el volumen de contenedor. La mayoría de las variables morfológicas y fisiológicas disminuyeron a medida que disminuyó el volumen del contenedor. Las interacciones de factores tienen efectos más significativos que de manera individual. Finalmente se encontró que *P. douglasiana* cultivada en contenedores de cinco litros, sin fertilización adicional y sin riego continuo durante seis meses en vivero, presentó el mayor porcentaje de supervivencia a un año de su establecimiento en campo (88 %).

**Palabras clave:** volumen de contenedor, efecto de fertilización, efecto de riego, calidad de planta.

INTRODUCCIÓN

La reforestación constituye una alternativa prioritaria para la recuperación de la cubierta vegetal, vital para seres humanos y la cual a su vez contribuye a recuperar funcionalidad y servicios ecosistémicos de cuencas y paisajes a

través de la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable del patrimonio natural (CONEVAL 2019). Son numerosos los esfuerzos de diversos sectores públicos y privados para reforestar. Sin embargo, no han sido suficientes para lograr los resultados esperados. En México entre los años del 2010 al 2018, se reforestaron cerca de

175 mil hectáreas por año (CONAFOR 2019), pero de acuerdo con la CONEVAL (2019), los porcentajes de supervivencia de coníferas en México son menores al 50 %. Dentro de las coníferas, el género *Pinus* es uno de los que presenta mayores problemas de manejo y adaptación para lograr una mayor supervivencia y reforestación exitosa (Céspedes y Moreno 2010, CONAFOR 2019).

La problemática antes mencionada es resultado de numerosos y diversos factores que afectan la supervivencia: 1) la calidad morfológica y fisiológica de la planta, 2) el sistema de producción y de manejo en los viveros forestales, 3) las reservas óptimas nutrimentales, 4) la hidratación y tolerancia a la sequía, 5) el manejo durante el transporte, 6) las condiciones edafoclimáticas de cada sitio, y 7) el método de plantación, seguimiento y manejo de post plantación por los primeros tres años, los cuales han sido mencionados de una u otra manera por diversos autores (Bernaola *et al.* 2015, Céspedes y Moreno 2010, Grossnickle y MacDonald 2017). Dentro de los atributos morfológicos que promueven la supervivencia de las plantas está la altura, el diámetro y desarrollo radical (Grossnickle y MacDonald 2017), así como el volumen de contenedor el cual influye de manera significativa (South *et al.* 2005, Bernaola *et al.* 2015). Por tanto, es probable que el volumen del contenedor refleje importantes cambios en la supervivencia sobre todo en sitios con condiciones ambientales poco favorables.

La etapa de preacondicionamiento en vivero consiste en el trasplante a contenedores de mayor volumen, modificar la dosis de fertilización y disminuir la cantidad de agua suministrada, lo cual permite incrementar la biomasa de la planta, y generar resistencia ante el estrés hídrico y una mayor lignificación (Salcedo *et al.* 2012), con la finalidad de mejorar la calidad de planta e incrementar el porcentaje de supervivencia en campo (Bernaola *et al.* 2015). Jeong *et al.* (2010) mencionan que el volumen del contenedor y la estimulación de la aplicación de fertilizantes presentaron un efecto significativo sobre el crecimiento morfológico de *Pinus densiflora* Siebold y Zucc y *Pinus thunbergii* Thunb, en comparación con las plántulas sin fertilización. Por otro lado, Alva *et al.* (2020), en la evaluación de tratamientos inducidos a de estrés hídrico, encontraron que este influyó negativamente en el desarrollo morfológico de las plantas.

En este sentido, al ser *Pinus douglasiana* (Martínez) una especie endémica de México y a la vez ser considerada de rápido crecimiento, es ampliamente utilizada en programas de reforestación (Céspedes y Moreno 2010). Sin embargo, presenta un porcentaje de supervivencia en campo menor al 50 % (CONEVAL 2019), esto debido a que se desconocen los efectos que se pueden presentar en las plantas y su respuesta en campo al emplear las prácticas de preacondicionamiento o de manejo en vivero tales como el volumen de contenedor, la fertilización y el riego sobre su desarrollo. Con base en lo anterior, se planteó como objetivo evaluar el efecto del volumen de contenedor, la fertilización suplementada y el régimen de riego en vivero, sobre variables morfológicas, fisiológicas y la supervivencia en

campo. A partir de la hipótesis que la calidad morfológica de las plantas y el porcentaje supervivencia en campo está dada por la interacción de los factores de manejo en vivero, más que por el efecto individual de cada factor, por lo tanto, el presente estudio es el primero que considera el efecto combinado de factores contrastantes en vivero sobre el crecimiento y supervivencia en campo de *P. douglasiana*.

## MÉTODOS

*Etapa de vivero.* Ésta se realizó en el “Vivero Forestal Valle de Ameca S. P. R. de R.L.”, localizado a 20° 33' N y 104° 3' W, a una altitud de 1.235 m s.n.m. en Ameca, Jalisco, México. Presenta un clima semi cálido sub-húmedo con lluvias en verano de humedad media, temperatura anual de 20,7 °C y una precipitación anual de 924 mm (IIEG 2018).

Se utilizaron plántulas de *P. douglasiana* de 12 meses de edad producidas en charolas de poliestireno de 60 cavidades (0,165 L por cavidad). Las plantas fueron cultivadas siguiendo los protocolos establecidos en vivero para esta especie, bajo condiciones de sombra malla del 50 %, la fórmula de fertilización (N-P-K) en la fase de crecimiento inicial fue 7-40-17 (primeros 5 meses), en desarrollo se utilizó la 20-7-19 (4 meses siguientes), y una para finalizar 4-25-35 (últimos 3 meses). Al término de estos doce meses las plantas presentaron las características que se muestran en el cuadro 1.

Posteriormente, dichas plántulas fueron trasplantadas y sometidas a tres factores de estudio durante la fase de preparación en el mismo vivero antes de salir a campo: volumen de contenedor, fertilización y régimen de riego. Todas las plantas recibieron manejo, pero solo algunas fueron sometidas al preacondicionamiento (sin fertilización y sin riego continuo).

*Factor 1: volumen de contenedor de 1 y 5 (L).* Se utilizaron 750 plántulas de 12 meses, las cuales fueron trasplantadas a contenedores de uno y cinco litros seleccionadas de manera aleatoria. Las características de los contenedores son: material de polipropileno de color negro de dos volúmenes contrastantes (1 y 5 L), el de 1 L tiene una altura de 18,5 cm, 10,7 cm de diámetro superior y 8,2 cm de diámetro inferior (C1), el contenedor de 5 L mide 45 cm de alto, 17,8 cm de diámetro superior y 14,5 cm de diámetro inferior (C5).

El sustrato empleado para el trasplante en los contenedores consistió en una mezcla de turba de musgo (30 %), corteza de pino (70 %) y Multicote™ 24-12-6-(4) (6 kg m<sup>-3</sup>), el cual presentó una porosidad total de 89 %, porosidad de aireación de 11 %, capacidad de retención de agua del 78 %, tamaño de partícula (diámetro medio ponderado) de 2 a 3,36 mm y una densidad aparente de 0,18 g cm<sup>-3</sup>. La caracterización química del mismo se presenta en el cuadro 2. De manera preventiva, al sustrato se le aplicó un fungicida de amplio espectro (BUSAN 30 WB, TCMTB-tiacinometiltio-benzotrazol), con la finalidad de prevenir daños por patógenos.

*Factor 2: fertilización adicional (F) y sin fertilización adicional (SF).* El efecto de la fertilización se evaluó partiendo de que todas las plantas trasplantadas ya contenían una carga nutrimental otorgada por el Multicote™ 24-12-6-(4) (6 kg m<sup>-3</sup>) incluido en la mezcla del sustrato. El efecto de la fertilización se evaluó en dos tratamientos en contenedores de 1 y 5 L.

El primer tratamiento con fertilización adicional (F), consistió en la aplicación de una solución compuesta por nitrato de magnesio (40 g), nitrato de calcio (40 g), fosfato monopotásico (50 g), nitrato de potasio (50 g), urea (40 g) y 40 g de Gro-green® (20-30-10 + EM), estos fueron disueltos en 25 L de agua y se aplicaron en 527 m<sup>2</sup> dos veces por semana y durante cinco meses. Adicionalmente, al sustrato de cada planta se le aplicó 10 g de Multi-micro Haifa® una vez por semana durante cuatro meses. Las plantas del segundo tratamiento no recibieron ningún fertilizante adicional (SF) y solo se les aplicó riegos continuos.

*Factor 3 frecuencias de riego: Diario (R) y riego cada 10 días (SR).* Para evaluar el efecto del riego, se utilizaron dos tratamientos: el primero consistió en un riego continuo (R) de manera manual, uniforme y localizada hasta el punto de saturación del sustrato (1,16 L seg<sup>-1</sup> por una hora), en el segundo tratamiento se aplicó un riego cada diez días

con la misma cantidad de agua suministrada por evento en el diario (R), denominado “Sin riego continuo” (SR). Se determinó el contenido gravimétrico del agua en el sustrato (CH). Para las plantas “SR” se determinó un valor promedio de CH del 44 %, mientras que las plantas “R”, presentaron un promedio de 306 % de CH del 306 %. La temperatura y humedad relativa prevaecientes alcanzaron un promedio de 21°C y 74 %, respectivamente.

*Diseño experimental y tratamientos en etapa de vivero.* Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar, con un arreglo factorial 2<sup>3</sup> (volumen de contenedor, fertilización y riego); se obtuvieron ocho tratamientos con 12 repeticiones (12 plantas por cada tratamiento).

La primera evaluación se realizó a los 18 meses de edad, donde se evaluaron variables morfológicas, contenido mineral foliar (acículas) e índices de calidad. Para ello se colectaron 12 plantas al azar por tratamiento, considerando 96 plantas en total para esta etapa. Se evaluó, la altura desde la base del tallo hasta su ápice (cm), diámetro de tallo al nivel del cuello de la raíz (mm), así como biomasa aérea y radical, volumen aéreo y radical (cm<sup>3</sup>), índice de tallo raíz (ITR) e índice de contenedor raíz (ICR) (Harrington *et al.* 1994, Bernaola *et al.* 2015). Las muestras de la parte aérea y

**Cuadro 1.** Variables morfológicas y concentración mineral foliar de las plantas antes del trasplante a contenedores individuales.

Morphological variables and foliar mineral concentration of the plants before transplanting to individual containers.

Características morfológicas					
Altura (cm)	Diámetro (mm)	Volumen aéreo (cm <sup>3</sup> )	Peso aéreo (g)	Volumen radical (cm <sup>3</sup> )	Peso radical (g)
35,31 ± 1,21	5,01 ± 0,39	14,51 ± 1,14	5,34 ± 0,81	2,57 ± 0,88	1,12 ± 0,43
Concentración nutrimental foliar					
Nitrógeno (%)	Fósforo (mg kg <sup>-1</sup> )	Potasio (mg kg <sup>-1</sup> )	Magnesio (mg kg <sup>-1</sup> )	Azufre (mg kg <sup>-1</sup> )	Hierro (mg kg <sup>-1</sup> )
0,28 ± 0,03	2,059 ± 12,30	3,088 ± 10,74	1,129 ± 18,78	834 ± 9,43	62 ± 3,80

\* Los valores corresponden a promedios (±) desviación estándar n = 15.

**Cuadro 2.** Caracterización química del sustrato a base de turba de musgo y corteza de pino (30:70 + multicote), utilizado para trasplante en todos los tratamientos.

Chemical characterization of the substrate based on peat moss and pine bark (30:70 + multicote), used for transplanting in all treatments.

pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	CIC (cmol kg <sup>-1</sup> )	MO (%)	Nitrógeno total (%)	Fósforo (mg kg <sup>-1</sup> )	Potasio (cmol kg <sup>-1</sup> )
4,05	0,45	165,33	54,82	0,45	0,14	0,41
Magnesio (meq L <sup>-1</sup> )	Calcio (meq L <sup>-1</sup> )	Sodio (meq L <sup>-1</sup> )	Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	Hierro (mg kg <sup>-1</sup> )	Manganeso (mg kg <sup>-1</sup> )	Zinc (mg kg <sup>-1</sup> )
6,50	19,83	0,12	66,13	388,00	159,16	25,22

CE: conductividad eléctrica; CIC: capacidad de intercambio catiónico; MO: materia orgánica.

radical se colocaron independientemente en bolsas de papel y se secaron en una cámara de secado rústico a 70 °C por 72 h hasta peso constante. El peso seco aéreo (g) y el peso seco radical (g) se determinó en una balanza analítica (Sartorius, mod. MP6). Las muestras de las acículas secas y molidas (Molino Retsch modelo SK100) se utilizaron para el análisis mineral y contenido de prolina. El nitrógeno total fue determinado por el método Kjeldahl, previa digestión ácida de las muestras. La determinación de fósforo, potasio, azufre, sodio y manganeso se realizó en dos etapas, primero una digestión húmeda. Posteriormente, en un equipo de espectrofotometría de inducción con plasma acoplado ICP-AES VarianTM, Liberty II, se determinó la concentración de los extractos. La concentración de prolina se determinó mediante el método descrito por Bates *et al.* (1973), para el cual, se pesó 0,1 g de cada muestra por tratamiento.

*Etapa de campo.* Posterior a la fase de vivero, las plantas fueron trasladadas para ser establecidas en campo, 496 plantas (62 plantas por tratamiento) fueron plantadas en un predio forestal ubicado en la comunidad de “Las Trojes”, Municipio de Jocotepec, Jalisco, México, situado a una altitud de 1.840 m.s.n.m., geográficamente ubicado en las coordenadas 20°19' N y 103°19' O. El clima predominante, que es semi-seco y semi-cálido, presentó una temperatura media anual de 20,7 °C (32,9 °C a 8,5 °C), precipitación media de 924 mm, el suelo representativo de esta zona es de tipo Vertisol, la vegetación está conformada por bosque de encino y bosque tropical caducifolio (IIEG 2018) y recientemente áreas por vegetación secundaria.

Antes de establecer las plantas en campo, se preparó el terreno mediante la limpieza de maleza y se delimitó las parcelas con alambrado de púas. Las plantaciones se establecieron en bloques al azar a un distanciamiento de 4 x 4 m en tres bolillos, un bloque en la parte alta del predio y otro en la parte baja del mismo para considerar el efecto de la pendiente. El suelo donde se llevó a cabo la plantación presentó las siguientes características físicas: porcentaje de porosidad total de 61 %, densidad real y aparente de 2,5 y 1,0 g cm<sup>-3</sup> respectivamente, índice de compactación de 1,5, presenta textura arcillosa. Los parámetros químicos del mismo se presentan en el cuadro 3.

*Diseño experimental y tratamientos en etapa de campo.* Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar, con un arreglo factorial 2<sup>3</sup> (volumen de contenedor, fertilización y riego). Al igual que en la etapa de vivero en campo, se evaluaron los mismos ocho tratamientos y se consideraron dos repeticiones por cada tratamiento (2 sub-bloques por cada tratamiento).

La evaluación en campo se llevó a cabo a los 12 meses de la plantación (30 meses de edad de las plantas), mediante un muestreo sistemático al 100 %, se evaluaron todas las plantas establecidas, la altura, el diámetro y el porcentaje de supervivencia. También se realizó un muestreo destructivo, se colectaron 3 árboles para evaluar el porcentaje de ectomicorrización y la lignificación del tallo, de tal manera que el efecto del manejo en vivero y del preacondicionamiento de algunas plantas se refleje en campo sobre estos parámetros, la micorrización se realizó mediante un estereoscopio, modelo SMZ-140 y el porcentaje del área de lignificación en tallo mediante la técnica de Zavaleta y Engleman (1991).

*Análisis estadístico.* Los datos se organizaron en el programa Excel de Microsoft office 2007 y se les aplicó una prueba de normalidad (Chi-cuadrada y Estadístico W de Shapiro-Wilk). Posteriormente los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) siguiendo el modelo factorial 2<sup>3</sup> en el software R, versión 3.6.3 ( $P \leq 0,05$ ).

## RESULTADOS

*Evaluación en vivero.* En el cuadro 4, los principales factores que presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) fueron volumen de contenedor (C) y fertilización (F), encontrando que el riego continuó (R) afectó significativamente al diámetro, peso aéreo, peso radical y el índice de tallo raíz (ITR). Sin embargo, las interacciones dobles entre el volumen de contenedor y fertilización (Cx F) fue significativa en biomasa e índice de contenedor raíz (ICR), la interacción entre el volumen de contenedor y riego (CxR) fue significativa para diámetro, peso seco radical y el ITR.

**Cuadro 3.** Análisis químico del suelo de la plantación en la comunidad “Las Trojes”.

Chemical analysis of the soil in the community of “Las Trojes”.

pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	CIC (cmol kg <sup>-1</sup> )	MO (%)	Nitrógeno total (%)	Fósforo (mg kg <sup>-1</sup> )	Potasio (cmol kg <sup>-1</sup> )
5,96	0,12	17,63	5,70	0,21	0,00	0,63
Magnesio (meq L <sup>-1</sup> )	Calcio (meq L <sup>-1</sup> )	Sodio (meq L <sup>-1</sup> )	Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	Hierro (mg kg <sup>-1</sup> )	Manganeso (mg kg <sup>-1</sup> )	Zinc (mg kg <sup>-1</sup> )
5,00	7,80	0,10	1,02	24,82	66,38	2,45

CE: conductividad eléctrica; CIC: capacidad de intercambio catiónico; MO: materia orgánica.

Se presentó un mayor desarrollo del diámetro por efecto del mayor volumen de contenedor y el riego continuo (13,04 mm) (figura 1). El volumen y peso seco de la masa foliar se desarrolla en mayor proporción por efecto del mayor volumen de contenedor y sin fertilización adicional (43,35 cm<sup>3</sup> y 119,16 g respectivamente). El volumen de la biomasa radical presentó un mayor incremento en contenedores de mayor volumen con fertilización adicional (75,08 cm<sup>3</sup>). El peso seco de la masa radical es mayor en contenedores de mayor volumen, con fertilización adicional y con suministro de riego continuo (22,92 g).

El mayor índice tallo raíz (ITR) se presentó en el tratamiento donde las plantas fueron producidas en contenedores de menor volumen, sin fertilización adicional y con riego continuo (4,14). El mayor el índice de contenedor raíz (ICR) en el tratamiento cuyas plantas fueron producidas en contenedores de mayor volumen, sin la aplicación de una fertilización adicional e independientemente del

efecto del riego (con riego continuo: 100,28 y sin riego continuo: 89,53) (figura 2).

De acuerdo con el análisis de varianza, el volumen de contenedor presentó diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) en todas las variables evaluadas con excepción del fósforo (cuadro 5). El tratamiento con fertilizante adicional (F) presentó efecto significativo en la concentración de prolina y el riego continuo (R) en todas las variables evaluadas, con excepción del manganeso. Las interacciones dobles (CxF, CxR y FxR) mostraron un efecto significativo en la concentración de nitrógeno y prolina; mientras, las interacciones triples presentaron efecto significativo en todas las variables evaluadas.

Se presentó una mayor concentración de nitrógeno en las plantas producidas en contenedores de mayor volumen, con fertilización adicional y sin riego continuo (1,19 %), la mayor concentración de fósforo y manganeso ocurrió en las plantas cultivadas en contenedores de cinco litros, sin

**Cuadro 4.** Valores  $p$  del ANOVA de las variables morfológicas y calidad de planta del *P. douglasiana* en vivero por efecto de tres factores de preacondicionamiento.

$p$  values of the ANOVA of the morphological variables and plant quality of *P. douglasiana* in the nursery due to the effect of three preconditioning factors.

Factores	Diámetro	Volumen Aéreo	Peso aéreo	Volumen radical	Peso radical	ITR	ICR
Volumen contenedor (C)	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*
Fertilización (F)	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,01*
Riego (R)	0,03*	0,42	0,01*	0,32	0,05*	0,04*	0,41
CxF	0,59	0,00*	0,01*	0,00*	0,01*	0,87	0,05*
CxR	0,05*	0,92	0,69	0,29	0,03*	0,00*	0,08
FxR	0,73	0,57	0,46	0,73	0,10	0,13	0,49
CxFxR	0,08	0,89	0,40	0,45	0,41	0,93	0,55

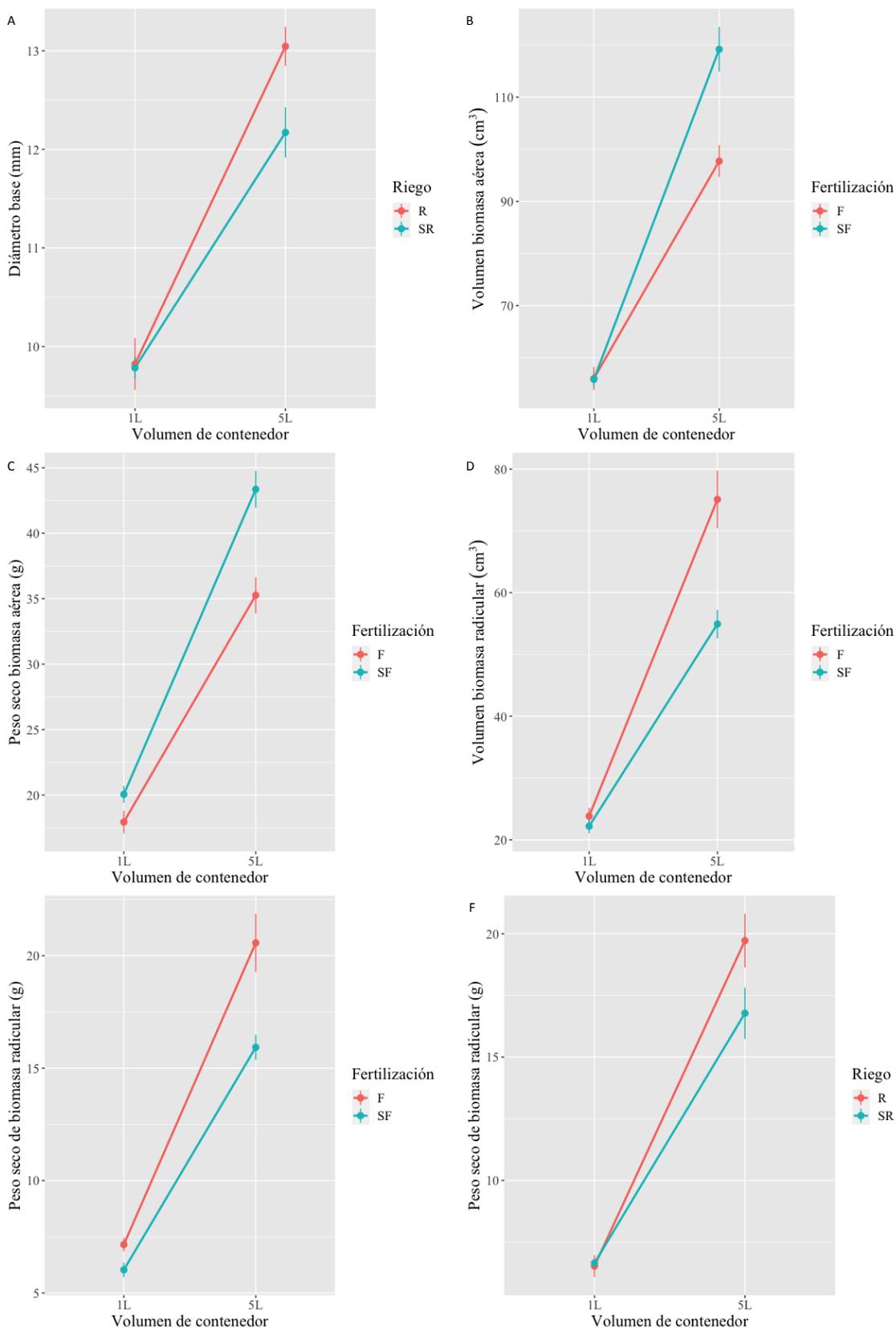
(\*) Significancia con un nivel de confianza del 95,0 %. ITR: índice de tallo raíz, ICR: índice de contenedor raíz, n = 12.

**Cuadro 5.** Valores  $p$  del ANOVA de la concentración nutrimental de las acículas en vivero del *P. douglasiana* bajo tres factores de preacondicionamiento.

$p$  values of the ANOVA of the nutritional content of the needles in the *P. douglasiana* nursery under three preconditioning factors.

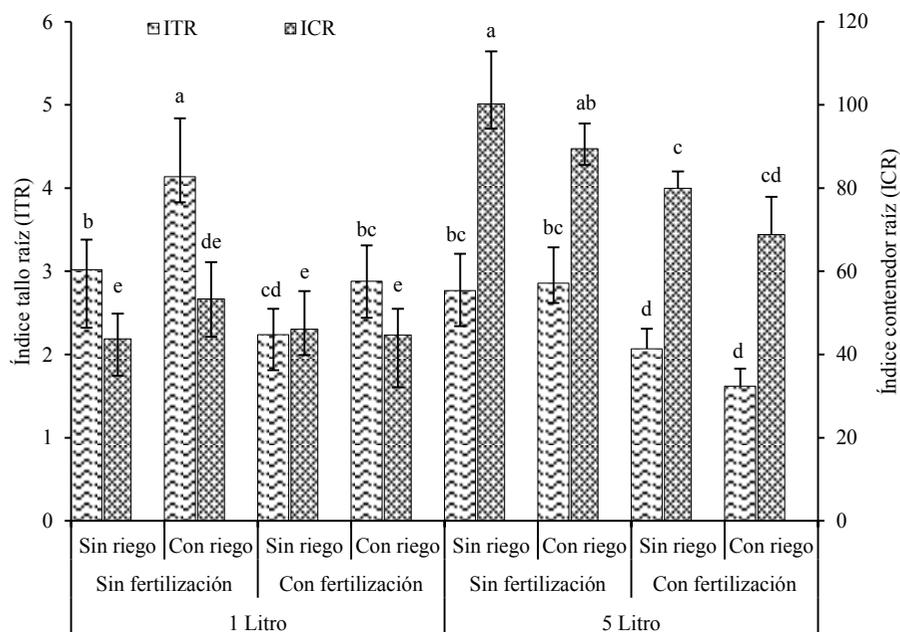
Factores	Nitrógeno	Fósforo	Azufre	Sodio	Manganeso	Prolina
Volumen de contenedor (C)	0,00*	0,320	0,01*	0,00*	0,00*	0,00*
Fertilización (F)	0,750	0,770	0,920	0,830	0,070	0,00*
Riego (R)	0,05*	0,00*	0,00*	0,01*	0,060	0,00*
CxF	0,00*	0,05*	0,230	0,910	0,02*	0,00*
CxR	0,00*	0,03*	0,100	0,02*	0,120	0,00*
FxR	0,00*	0,110	0,03*	0,830	0,150	0,00*
CxFxR	0,03*	0,05*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*

(\*) Significancia con un nivel de confianza del 95,0 %. n = 2.



**Figura 1.** Efecto de las interacciones dobles del volumen de contenedor y fertilización (CxF) y contenedor y riego (CxR), en las variables morfológicas evaluados en el precondicionamiento del *P. douglasiana* en vivero. n = 12,  $P \leq 0,05$ , LSD (promedio  $\pm$  SD).

Effect of the double interactions of the container volume and fertilization (CxF) and container and irrigation (CxR) in the morphological variables evaluated in the preconditioning of *P. douglasiana* in the nursery. n = 12,  $P \leq 0.05$ , LSD (mean  $\pm$  SD).



**Figura 2.** Valor promedio del índice tallo raíz (ITR) e índice de contenedor raíz (ICR) en el preacondicionamiento del *P. douglasiana* en vivero por efecto del volumen de contenedor, fertilización y riego. n = 12,  $P \leq 0,05$ , LSD (promedio  $\pm$  SD).

Average value of the root stem index (ITR) and root container index (ICR) in the preconditioning of *P. douglasiana* in the nursery by effect of container volume, fertilization and irrigation. n = 12,  $P \leq 0.05$ , LSD (mean  $\pm$  SD).

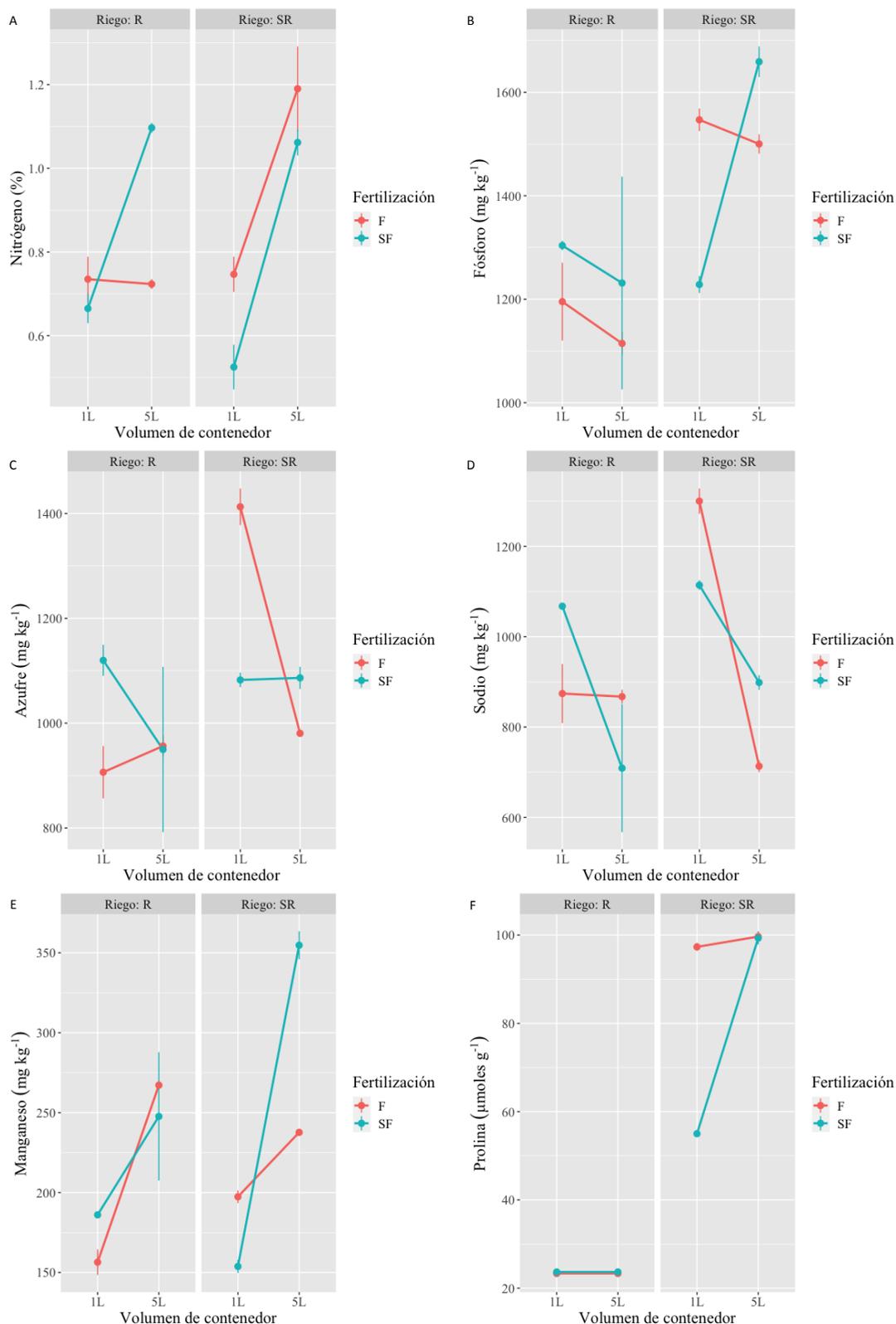
fertilización adicional y sin riego continuo ( $1.659 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $355 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente) (figura 3). En el caso del azufre y sodio, la mayor concentración de estos nutrimentos tuvo lugar en las plantas producidas en contenedores de menor volumen, con fertilización adicional y con restricción de riego ( $1.413 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $1.300 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente). Finalmente, la mayor concentración de prolina se dio en plantas producidas en contenedores de 5 litros, sin riego continuo e independientemente de la fertilización (sin fertilización: 99,33 y con fertilización: 99,66).

**Etapa en campo.** El volumen del contenedor (C) presentó efecto significativo ( $P \leq 0,05$ ) sobre la altura, diámetro y porcentaje de supervivencia (cuadro 6). Así mismo, la fertilización adicional (F) mostró diferencias significativas en el porcentaje del área de lignificación, ectomicorrización y supervivencia. El riego (R) presentó efecto significativo sobre la altura, diámetro y porcentaje del área de lignificación. Mientras, la triple interacción (CxFxR), presentó significancia en el porcentaje de ectomicorrización y supervivencia (cuadro 6).

Se presentó un mayor incremento de la altura en campo en plantas que fueron cultivadas en contenedores de mayor volumen expuestas a un riego continuo (57,9 cm). También, se evidenció un incremento de la altura por efecto del estrés hídrico y volumen de contenedor (1 L 56 cm y 5 L 54 cm), la fertilización (SF 53 cm y F 57 cm) (figura 4). El mayor diámetro de la base del tallo en campo se presentó

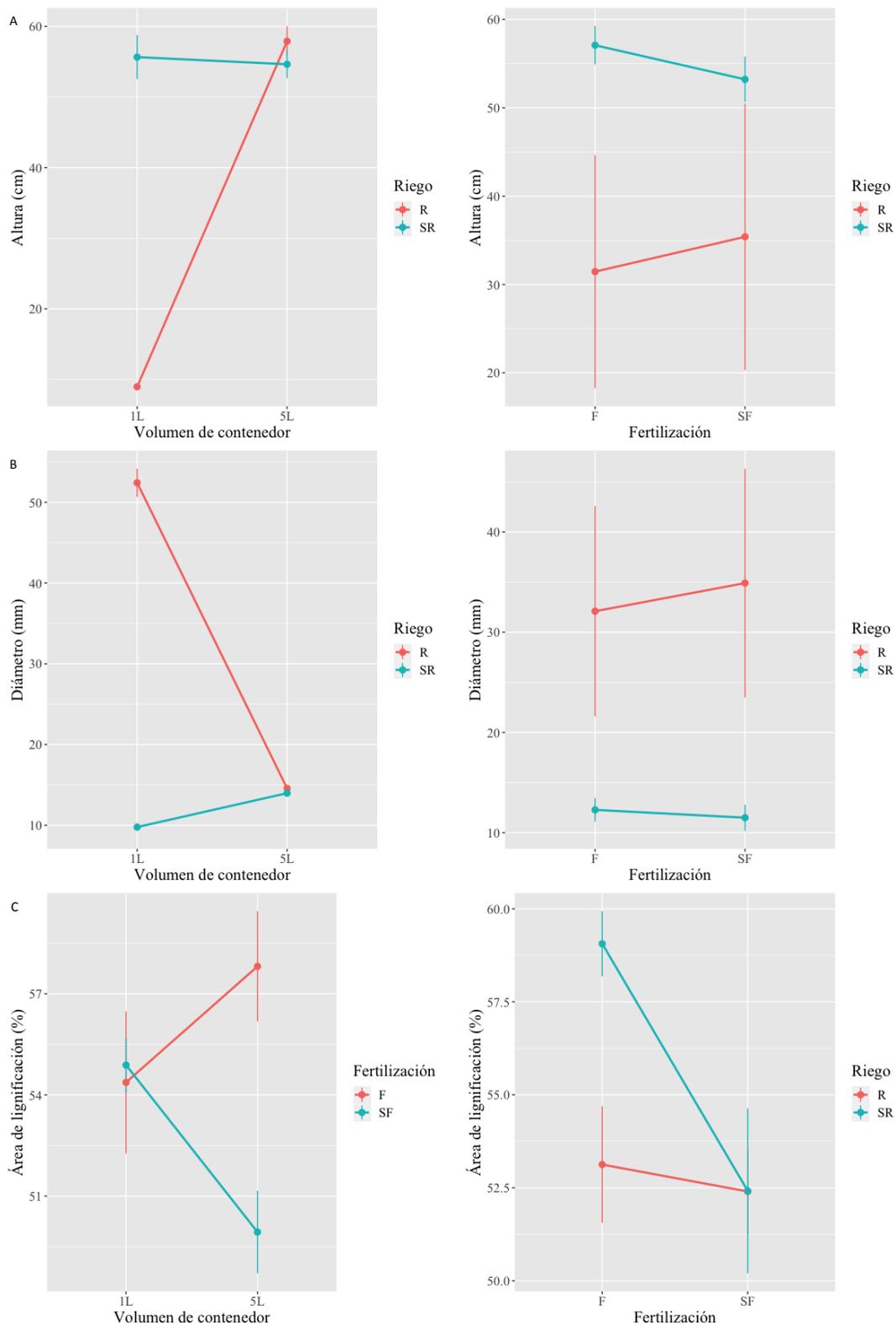
en las plantas que fueron cultivadas en contenedores de menor volumen, sin fertilización adicional y expuestas a un riego continuo (55 mm). La mayor área de lignificación se presentó en las plantas cultivadas en contenedores de mayor volumen, con fertilización adicional y sin tener un riego continuo (60 %). Finalmente, el mayor porcentaje de ectomicorrización en campo se presentó en las plantas que fueron cultivadas en contenedores de 1 L, independientemente de la fertilización (SF 65 % y con F 58 %) y del riego (SR 65 % y con R 58 %) (figura 4).

En la figura 5 se muestra que el mayor porcentaje de supervivencia (88 %) a un año de establecer los tratamientos en campo, se presentó en plantas cultivadas en contenedores de cinco litros, sin fertilización adicional suplementada y sometidos a estrés hídrico en vivero. Por otro lado, las plantas que se mantuvieron en contenedor de un litro, con fertilización adicional y riego continuo, la supervivencia fue mucho menor (solo 20 %). Lo anterior evidencia que un preacondicionamiento en vivero con el manejo de estos tres factores en *Pinus douglasiana* es ideal para un mayor éxito en reforestaciones, sobre todo en sitios con fuerte exposición solar y sometidos a estrés hídrico por más de 8 meses al año, ya que las plantas expuestas a condiciones limitadas (riego y fertilización) generaron resistencia antes de ser llevadas a campo, mientras que las plantas bajo condiciones favorables no presentaron resistencia a factores adversos y cuando fueron llevadas a campo su adaptación fue menor.



**Figura 3.** Efecto de la interacción triple entre el volumen del contenedor, fertilización y riego (CxFxR), sobre la concentración del nitrógeno (A), fósforo (B), azufre (C), sodio (D), manganeso (E) y prolina (F) de *P. douglasiana* en vivero. SF: sin fertilización adicional y F: con fertilización adicional. n = 3,  $P \leq 0,05$ , LSD (promedio  $\pm$  SD).

Effect of the triple interaction between the volume of the container, fertilization and irrigation (CxFxR) on the content of nitrogen (A), phosphorus (B), sulfur (C), sodium (D), manganese (E) and proline (F) of *P. douglasiana* in a nursery. SF: without additional fertilization and F: with additional fertilization. n = 3,  $P \leq 0.05$ , LSD (mean  $\pm$  SD).



**Figura 4.** Efecto de las interacciones dobles entre el volumen del contenedor y fertilización (CxF), volumen de contenedor y el riego (CxR), la fertilización y el riego (FxR), en la altura (A), diámetro (B), área de lignificación (C) y ectomicorrización (D) del *P. douglasiana* en campo. SF: sin fertilización adicional, F: con fertilización adicional, SR: sin riego continuo y R: con riego continuo.  $n = 2$ ,  $P \leq 0,05$ , LSD (promedio  $\pm$  SD).

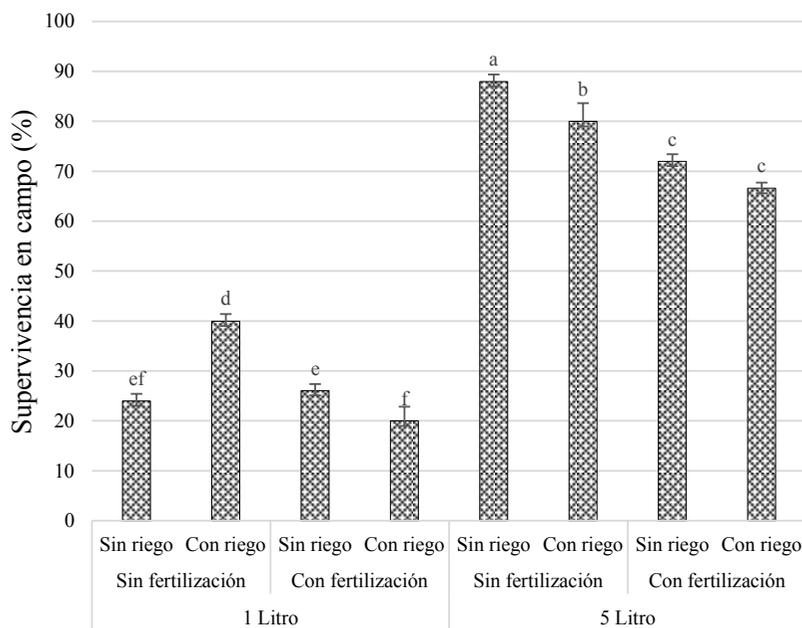
Effect of double interactions between container volume and fertilization (CxF), container volume and irrigation (CxR), fertilization and irrigation (FxR) on height (A), diameter (B), lignification area (C) and ectomycorrhization (D) of *P. douglasiana* in the field. SF: without additional fertilization, F: with additional fertilization, SR: without continuous irrigation and R: with continuous irrigation.  $n = 2$ ,  $P \leq 0.05$ , LSD (mean  $\pm$  SD).

**Cuadro 6.** Valores *p* del ANOVA para altura, diámetro, lignificación, ectomicorrizas y porcentaje de supervivencia de *P. douglasiana*, a los doce meses de ser establecidos en campo.

*p* value of the ANOVA for height, diameter, lignification, ectomycorrhizas and survival rate of *P. douglasiana*, at twelve months after field establishment.

Factores	Altura	Diámetro	Porcentaje del área de lignificación	Porcentaje de ectomicorrización	Porcentaje de supervivencia
Volumen contenedor (C)	0,00*	0,00*	0,470	0,120	0,00*
Fertilización (F)	0,980	0,220	0,00*	0,01*	0,00*
Riego (R)	0,00*	0,00*	0,01*	0,420	0,510
CxF	0,060	0,350	0,00*	0,710	0,05*
CxR	0,00*	0,00*	0,110	0,120	0,00*
FxR	0,05*	0,05*	0,01*	0,880	0,00*
CxFxR	0,730	0,250	0,360	0,02*	0,00*

(\*) Significancia con un nivel de confianza del 95,0 %. n = 2.



**Figura 5.** Valor promedio del porcentaje de supervivencia a los doce meses en campo por los ocho tratamientos establecidos en el experimento de precondicionamiento del *P. douglasiana* por efecto del volumen de contenedor, fertilización y riego. n = 2,  $P \leq 0,05$ , LSD (promedio  $\pm$  SD).

Average value of the survival percentage at twelve months in the field for the eight treatments established in the preconditioning of *P. douglasiana* due to the effect of container volume, fertilization and irrigation. n = 2,  $P \leq 0.05$ , LSD (mean  $\pm$  SD).

## DISCUSIÓN

*Etapa de vivero.* En la figura 1, los resultados obtenidos demuestran que el volumen del contenedor ha tenido un efecto significativo en todas las variables morfológicas evaluadas, debido a que se utilizó contenedores de volúmenes trascendentales (1.000 y 5.000 cm<sup>3</sup>). Al respecto algunos estudios mencionan que, en la etapa de vivero, las plantas cultivadas

en contenedores de mayor volumen presentan un mejor crecimiento; esto debido a que, los contenedores están relacionados directamente con una mayor disponibilidad de agua, nutrientes y un mayor espacio, lo que permite un mejor desarrollo radical (Dominguez-Lerena *et al.* 2006, Gasparin *et al.* 2017). Esto puede deberse a que, al presentar un espacio mayor para el desarrollo radical, las especies de rápido crecimiento como esta pueden desarrollar más biomasa radical.

Sin embargo, otras investigaciones mencionan que el tamaño de contenedor no siempre tiene efecto significativo de manera directa en todas las variables relacionadas con el crecimiento de las especies forestales. Incluso, algunos trabajos reportan mejores resultados de contenedores de menor tamaño sobre las variables de crecimiento. Así por ejemplo, Domínguez-Lerena *et al.* (2006) al evaluar 16 diferentes tamaños, tipos y formas de los contenedores sobre el comportamiento de *Pinus pinea* L., reportaron un mayor desarrollo aéreo en plántulas que germinaron y crecieron en contenedores de menor tamaño que en los de mayor tamaño. Aunque este efecto fue positivo, cabe señalar que las variables morfológicas de calidad de planta en vivero, como la altura la cual aporta poca información, puesto que no existe una correlación (Grossnickle 2017) y puede ser negativa en la supervivencia en campo (Prieto *et al.* 2007). Esta respuesta de las plantas puede ser debido a un efecto no solo del volumen, sino de la forma del contenedor y al periodo del preacondicionamiento en el que las plantas se mantienen en dicho contenedor, ya que el volumen del contenedor no limitó al desarrollo de la parte radical en volumen y peso de raíz, por lo tanto, las plantas no crecieron en altura, pero sí se favoreció el volumen y peso aéreo por una buena formación de acículas y diámetro del tallo. Por lo que es importante para futuros trabajos, elegir el volumen y diseño del contenedor de acuerdo al comportamiento morfológico de cada especie y al tiempo que se mantendrán las plantas en vivero.

García *et al.* (2015), al evaluar el efecto de la condición ambiental y la fertilización en el preacondicionamiento en vivero durante dos meses de *Pinus engelmannii* Carr., no encontraron diferencias significativas en el diámetro, volumen de raíz, biomasa aérea y radical entre plantas mantenidas en la intemperie sin fertilización y las plantas mantenidas en la intemperie con fertilización. Por el contrario, en este trabajo al igual que Vázquez-Cisneros *et al.* (2018) la fertilización empleada en vivero favorece todas las variables de crecimiento en comparación con las que no recibieron fertilización adicional.

Por otro lado, Jeong *et al.* (2010) mencionan que en las plantas de *Pinus densiflora* Siebold y Zucc y *Pinus thunbergii* Thunb. desarrolladas en contenedores de 250, 350 y 500 cm<sup>3</sup>, no muestran un efecto significativo en términos de altura debido al volumen del contenedor, al igual que en esta investigación para *Pinus douglasiana*. Pero por otro lado, estos mismos autores reportan un efecto significativo en la interacción entre el volumen del contenedor y la fertilización (Cx<sub>F</sub>), encontrando mejores valores en plantas establecidas en contenedores de mayor volumen y fertilizadas. Esto parcialmente coincide con los resultados reportados, debido a que en este estudio las plantas con fertilizante adicional y trasplantadas a contenedores de cinco litros solo presenta efecto sobre la biomasa radical (figura 1D y 1E). Esto debido a que, el volumen del contenedor es una de las variables con mayor impacto en el desarrollo de la planta en vivero, de forma particular en la estructura

del sistema radical, así como en la supervivencia en campo (Grossnickle 2017). La biomasa aérea fue mejor en cinco litros, pero sin fertilización adicional (figura 1B y 1C). Este comportamiento puede deberse a que las plantas generan reservas de nutrientes en la biomasa aérea, específicamente en el tallo, debido a las bajas concentraciones en los contenedores. Esto concuerda con lo evaluado por Madrid *et al.* (2021) donde las plantas producidas en el contenedor de mayor volumen (volumen y profundidad: 380 mL y 20,5 cm) facilitan la circulación y absorción de nutrientes, al presentar un mayor espacio interno, ya que por el contrario, con fertilizante adicional se favorece al desarrollo de la raíz al no verse limitada en espacio ni en nutrientes. Esto significa que esta especie presenta requerimientos nutrimentales menores a los suministrados con la fertilización adicional.

Respecto a los resultados encontrados por efecto de la interacción entre el volumen de contenedor y riego (Cx<sub>R</sub>), las plantas de *P. douglasiana* sometidas a riego continuo (sin estrés hídrico) presentan un mayor crecimiento en diámetro y peso seco radical que las que estuvieron sin riego continuo (con estrés hídrico). A pesar de ello, no se reflejó el efecto del riego sobre la supervivencia en campo (figura 1A y 1F). Ávila *et al.* (2014) describen un comportamiento similar encontrado en el presente estudio al evaluar tres frecuencias de riego: 48, 96 y 192 h en el preacondicionamiento de plántulas de *Pinus engelmannii* durante 40 días en vivero. Los autores encontraron que las plantas menos estresadas, registraron mayores valores en diámetro y biomasa total. También, Salle *et al.* (2008) han reportado que el estrés hídrico (sin riego continuo) estimula el crecimiento de la raíz siempre y cuando la parte aérea tenga una tasa fotosintética adecuada. Sin embargo, en *P. douglasiana* se presentó un efecto contrario (figura 1F), lo cual puede deberse a un menor periodo de estrés lo cual se vio reflejado en un menor crecimiento, al que reportan dichos autores.

El índice de contenedor raíz (ICR) presenta un mayor valor en el tratamiento de cinco litros sin fertilización adicional e independientemente del riego (figura 2) dichos tratamientos presentan los mayores porcentajes de supervivencia en campo. Por ello, con los valores obtenidos en la evaluación de este índice y en comparación con el porcentaje de supervivencia obtenido en campo, es posible establecer que ICR resulta ser un adecuado indicador de la calidad de planta que será llevada a campo. Al respecto, en un estudio con *Pinus hartwegii* L. realizado por Bernaola *et al.* (2015), en condiciones de vivero, los autores señalan que cuanto más alto sea el valor del ICR (27,5 y 125,0), mayor será el porcentaje de supervivencia después de dos años del establecimiento en campo (13 % y 94 % respectivamente). Sin embargo, el índice de tallo raíz (ITR), en la evaluación de la presente especie no presentó una relación con el porcentaje de supervivencia en campo.

El mayor volumen de contenedor y la aplicación de una fertilización adicional presenta efecto favorable para la asimilación del nitrógeno (figura 3A), debido al mayor desarrollo de la biomasa radical para *P. douglasiana*. Re-

sultado contrario reporta Jeong *et al.* (2010) para *P. densiflora* y *P. thunbergii*, donde en tamaño de contenedor no presentó un efecto significativo. Sin embargo, emplear contenedores de mayor volumen propiciarán una mejor fertilización, la cual tendrá un efecto positivo en el crecimiento y el estado del nitrógeno en las plantas. Por su parte Domínguez-Lerena *et al.* (2006), reportan un efecto favorable en la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en *Pinus pinea* debido a la fertilización aplicada y no por el volumen de contenedor, dado que los niveles adecuados de nitrógeno generan un mejor crecimiento de las plantas. Por otro lado, South *et al.* (2005) en plantas de *Pinus palustris* Mill., reportan un efecto significativo por el tipo y tamaño de contenedor sobre la concentración de fósforo, contrario con este estudio, ya que solamente el factor riego presentó diferencias significativas en la concentración de fósforo. García *et al.* (2015), mencionan que la aplicación de una fertilización adicional en *Pinus engelmanni* genera una mayor concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en plantas durante la etapa de preacondicionamiento (dos meses) sin protección de malla sombra. En este estudio la restricción del volumen de contenedor fue favorable para la acumulación del azufre y sodio (figuras 3C y 3D). Por otro lado, las plantas con riego restringido generaron menor biomasa por el limitado contenido de humedad en el sustrato, lo cual tuvo un efecto negativo en la absorción de nutrientes y en el crecimiento de las mismas, debido a que el principal factor para el adecuado crecimiento y formación de tejidos vegetales (biomasa) está dado por el fácil acceso a agua y nutrimentos disueltos en la misma. Por lo tanto, las plantas con suministro limitado de agua y con mínima cantidad de nutrimentos, no crecieron. Las discrepancias observadas entre los resultados del presente estudio con respecto a los reportes de otros trabajos se deben a las diferencias en las condiciones de los experimentos, a la especie en estudio, la dosis de fertilización empleada y a las condiciones ambientales de cada trabajo, pero sobre todo, al volumen de contenedor evaluado. Mientras que en este trabajo se consideran de 1.000 y 5.000 cm<sup>3</sup>, la mayoría de los trabajos mencionados utilizan entre 93 a 350 cm<sup>3</sup> y solo algunos utilizan como máximo 500 cm<sup>3</sup>. Esto significa que para *P. douglasiana*, la fertilización adicional no es relevante para la absorción de minerales cuando se desarrollan en volúmenes mayores a 1.000 cm<sup>3</sup>. También bajo condiciones de estrés (sin riego continuo), se deben utilizar contenedores de mayor volumen para lograr una mejor absorción de fósforo y manganeso (figuras 3B y 3E). Independientemente del volumen de contenedor y la fertilización utilizada, se aprecia una diferencia altamente significativa en la concentración de prolina por efecto del factor riego observándose una mayor concentración de prolina en las plantas sin riego continuo (87,83  $\mu\text{moles g}^{-1}$ ) que en las plantas expuestas con riego continuo (23,50  $\mu\text{moles g}^{-1}$ ) (figura 3F). Este hallazgo, es un resultado esperado por los autores en la acumulación de prolina, el cual tiene una relación con un descenso en el potencial hídrico del sue-

lo. Una tendencia similar a la observada en este estudio, pero con diferentes valores en la concentración de prolina fue reportada por Ortiz (2006) en *Pinus greggi* E. y *Pinus patula* Schl., quienes registraron incrementos de prolina de 23,3 - 49,3 y de 20,0 - 55,6  $\mu\text{moles g}^{-1}$  a medida que disminuyó el potencial hídrico del suelo de -0,01 MPa a -1,5 MPa. El mayor contenido de prolina podría favorecer un mejor establecimiento en campo. Al respecto algunos autores han señalado que el estrés hídrico en la fase de preacondicionamiento ha sido frecuentemente relacionado con una mayor supervivencia y crecimiento de las plantas en campo (Cochard *et al.* 2009).

*Etapa en campo.* El mayor incremento de la altura se da principalmente como resultado del efecto del mayor volumen de contenedor e independientemente del riego (figura 4A). Dicho incremento propiciado por el volumen de contenedor fue favorable para la supervivencia de las plantas en campo. Por otro lado, el diámetro alcanza un mayor desarrollo en los contenedores de un litro cultivadas bajo riego continuo e independiente de la fertilización (figura 4B). Esto puede deberse a que la planta al no crecer en altura incrementa su diámetro, al verse afectada por la competencia de crecimiento de las malezas en campo y se refleja en su bajo crecimiento y menor porcentaje de supervivencia de estos tratamientos. Por lo mencionado, se reporta que el control químico de las malezas en *Prosopis alba* contribuye a mejorar significativamente el crecimiento del diámetro y en altura total las plantas (Atanasio *et al.* 2021).

En este estudio la figura 4C, muestra que las plantas cultivadas en contenedores de mayor volumen, con fertilización adicional y sin tener un riego continuo influyeron de manera significativa en el área de lignificación. Sin embargo, el mayor porcentaje del área de lignificación no se relacionó con el mayor porcentaje de supervivencia en campo, lo que no concuerda con lo que ha sido reportado en otros trabajos que aseguran que una mayor área de lignificación favorece e incrementa la supervivencia de las plantas en campo (Prieto *et al.* 2007). En este sentido es importante aclarar que el porcentaje del área de lignificación registrada en el presente trabajo, no necesariamente es relativo al concepto del índice de lignificación empleado de manera convencional.

Se presentó un alto porcentaje de ectomicorrización en plantas cultivadas en contenedores de un litro sin fertilización y sin riego (figura 4D), ya que estas tienden a desarrollarse en las raíces cortas y absorbentes del sistema radical. Esto se vio reflejado en una mayor proporción en las plantas en contenedores de 1 L. Así mismo, algunas investigaciones indican que altas concentraciones de nitrógeno en el sustrato inhiben el desarrollo de ectomicorrizas (Honrubia *et al.* 1997), lo cual también se presentó en el presente trabajo, menor presencia de ectomicorriza en plantas fertilizadas, excepto cuando el riego era continuo. Por otro lado, se observó que cuando las plantas están con un mayor volumen de contenedor, el porcentaje de ectomicorrización en campo

es menor, ya que esta asociación es precisamente para que las plantas con limitado crecimiento de su raíz y en condiciones de estrés, favorezcan o propicien la colonización y presencia de estos organismos con la finalidad de tener una mayor y mejor exploración de su raíz en el suelo o sustrato. En cambio, en condiciones donde no se limita su raíz, no requieren de una gran colonización de las ectomicorizas.

Los resultados mostraron que la mayor supervivencia después de doce meses en campo fue para el volumen de contenedor de cinco litros, sin fertilización adicional independientemente del riego (figura 5). Estos resultados concuerdan con los de Vásquez-Cisneros *et al.* (2018), quienes tampoco encontraron influencia de los tratamientos con aplicación de fertilización sobre la supervivencia. En este sentido, aunque el manejo y las condiciones durante el preacondicionamiento fueron diferentes al estudio de Prieto *et al.* (2007), donde no encontraron diferencias significativas en la supervivencia en campo de *Pinus cooperi*, ya que el utilizar contenedores de mayor volumen les genera un mayor desarrollo radical, y de esta forma les confiere una mayor probabilidad de sobrevivir en campo, ya que disminuye el riesgo al estrés hídrico (Grossnickle 2017). Por el contrario, South *et al.* (2005) en coincidencia con este estudio reportaron un efecto positivo del volumen de contenedor sobre la supervivencia en campo de *Pinus palustris*, aunque las diferencias observadas por estos investigadores fueron atribuidas a la profundidad del contenedor y no al volumen. Respecto al efecto del riego sobre la supervivencia, Prieto *et al.* (2007), evaluaron plantas de *Pinus cooperi* trasplantadas en campo después de haber sido sometidas a diferentes frecuencias de riego (48, 96 y 168 horas) durante preacondicionamiento en vivero durante 45 días, y sus resultados no mostraron diferencias significativas en la supervivencia. Sin embargo, algunos autores señalan que el estrés hídrico (sin riego continuo) en la fase de preacondicionamiento ha sido frecuentemente relacionado con una mayor supervivencia y crecimiento de las plantas en campo, debido a un incremento potencial en la formación de raíces (Hölttä *et al.* 2012).

Finalmente es importante considerar la importancia de la interacción de los factores de manejo en plantas del género *Pinus* en vivero, sobre todo cuando se espera aplicar algunas técnicas de preacondicionamiento para lograr una mejor adaptación de estos en campo y resistencia a los factores de estrés en campo. Por el contrario, Buendía Velázquez *et al.* (2016), encontraron que los factores tipo de sustrato y suministro de nutrimentos fueron más significativos sobre las variables morfológicas y fisiológicas, más que su interacción. Pero ellos evaluaron plántulas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham, en comparación con el presente estudio que evaluó los factores sobre plantas mayores a un año de edad cuando se iniciaron con los tratamientos de manejo y las técnicas de preacondicionamiento (estrés hídrico y falta de fertilización). Por ello, es de esperarse que plantas de esta edad, requieran un mayor volumen de contenedor y siendo los contenedores de 1 L

un volumen insuficiente, lo que explica que el mayor volumen de contenedor permitió los mejores resultados. Sin embargo, el costo de adquisición de los contenedores de 5 L y del sustrato es mayor que de 1 L, lo cual incrementa su costo de producción, pero también se reporta que la relación: costo / beneficio también debe ser considerada en la producción de plantas del género *Pinus* ya que su inversión en vivero se compensa con los excelentes resultados en campo (Salcedo *et al.* 2012).

## CONCLUSIONES

En etapa de vivero, los contenedores de cinco litros al igual que la fertilización adicional, generaron incremento en todas las variables morfológicas y una mejor absorción de nutrimentos por el *Pinus douglasiana*, mientras que contenedores de un litro solo favorecen el diámetro. El riego no continuo limitó su crecimiento y el riego continuo mostró efecto positivo en el diámetro y peso seco de la biomasa aérea y de raíz. La fertilización adicional, al igual que el contenedor de mayor volumen, favoreció el crecimiento de las plantas. A un año de la plantación, en la evaluación de campo el volumen de contenedor y el riego continuo fueron los factores que más efecto positivo significativo tuvieron sobre el crecimiento y el porcentaje de supervivencia. Por el contrario, la mayor lignificación y ectomicorización se presentaron en las plantas de un litro y sin fertilización. Por lo tanto, la magnitud de este trabajo permite retroalimentar las diferentes opciones de producir *P. douglasiana* de mayor calidad en vivero. Es importante considerar el uso de contenedores de mayor volumen puesto que, la especie mejora significativamente su crecimiento y supervivencia en campo. El éxito en la repoblación de áreas perturbadas con *P. douglasiana* en sitios afines dependerá principalmente de la vigorosidad de las plantas adquirida con el manejo en vivero y algunas medidas de preacondicionamiento como es limitar el suministro de fertilizantes.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guadalajara, al CONACYT y al vivero forestal Valle de Ameca S. P. R. de R.L. por el apoyo durante la investigación.

## REFERENCIAS

- Alva-Rodríguez S, J López-Upton, J Vargas-Hernández, I Ruiz-Posadas. 2020. Biomass and growth of *Pinus cembroides* Zucc. and *Pinus orizabensis* D. K. Bayley and Hawksworth in response to water deficit. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 26(1): 71-83. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.chscfa.2019.02.015>
- Atanasio M, L Pernochi, B Burdyn, G Guevara. 2021. Efectos del control inicial de malezas sobre el crecimiento de *Prosopis alba* Griseb. en el departamento Comandante Fernández, Chaco Argentina. *Revista de investigaciones agropecuarias* 47(1):

- 110-115. Consultado sept. 2020. Disponible en <http://www.scielo.org.ar/pdf/ria/v47n1/0325-8718-RIA-47-01-00110>.
- Ávila-Flores I, J Prieto-Ruiz, J Hernández-Díaz, C Wehenkel, J Corral-Rivas. 2014. Preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. mediante déficit de riego en vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 20(3): 237-245. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchsc-fa.2014.02.004>
- Bates L, R Waldren, I Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39: 205-207. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bernaola-Paucar R, E Pimienta, P Gutiérrez, V Ordaz, G Alejo, E Salcedo. 2015. Volumen del contenedor en calidad y supervivencia de *Pinus hartwegii* Lindl en sistema doble-trasplante. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(28): 174-187. Consultado sept. 2020. Disponible en [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322015000200012](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000200012).
- Buendía M, M López, V Cetina, L Diakite. 2016. Substrates and nutrient addition rates affect morphology and physiology of *Pinus leiophylla* seedlings in the nursery stage. *iForest* 10: 115-120. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor1982-009>
- Céspedes-Flores S, E Moreno-Sánchez. 2010. Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación Ambiental* 2(2): 5-10. Consultado sept. 2020. Disponible en <https://uiimseminario.files.wordpress.com/2014/05/estimacion.pdf>.
- Cochard H, T Hölttä, S Herbet, S Delzon, M Mencuccini. 2009. New insights into the mechanisms of water-stress-induced cavitation in conifers. *Plant Physiology* 151(2): 949-954. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.109.138305>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, MX). 2019. Consulta temática. Gerencia de reforestación, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Consultado sept. 2020. Disponible en [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_RFOR-ESTA09\\_06&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce&NOMBREENTIDAD=\\* &NOMBREANIO=\\*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RFOR-ESTA09_06&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=* &NOMBREANIO=*).
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, MX). 2019. Fichas de Monitoreo y Evaluación 2017-2018 de los Programas y las Acciones Federales de Desarrollo Social, CONEVAL. Ciudad de México, 2018. Consultado sept. 2020. Disponible en <https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/Documents/Fichas-Monitoreo-y-Evaluacion-2017-2018.pdf>.
- Domínguez-Lerena S, N Herrero, I Carrasco, L Ocaña, J Peñuelas, J Mexal. 2006. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest ecology and management* 221(1): 63-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.031>
- García-Pérez J, A Aldrete, J López-Upton, J Vargas-Hernández, J Prieto-Ruiz. 2015. Efecto de la condición ambiental y la fertilización en el preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38(3): 297-304. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2015.3.297>.
- Gasparin E, M Machado, T Claudino, S Carpenedo, E Benítez, A Pasquetti. 2017. Supervivencia y crecimiento inicial de *Parapiptadenia rigida* en campo. *Revista Floresta* 47(4): 533-541. DOI: <https://doi.org/10.5380/rf.v47i4.54234>.
- Grossnickle S, JE MacDonald. 2017. Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New Forests* 49(1): 1-34. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9606-4>
- Harrington J, J Mexal, J Fisher. 1994. Volume displacement provides a quick and accurate way to quantify new root production. *Tree Planters Notes* (3): 121-124. Consultado sept. 2020. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/268431929\\_Volume\\_Displacement\\_Provides\\_a\\_Quick\\_and\\_Accurate\\_Way\\_To\\_Quantify\\_New\\_Root\\_Production](https://www.researchgate.net/publication/268431929_Volume_Displacement_Provides_a_Quick_and_Accurate_Way_To_Quantify_New_Root_Production).
- Hölttä T, E Juurola, L Lindfors, A Porcar-Castell. 2012. Cavitation induced by a surfactant leads to a transient release of water stress and subsequent run away embolism in Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings. *Journal of Experimental Botany* 63(2): 1057-1067. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/err349>.
- Honrubia M, C Carrillo, J Peñuelas, S Domínguez, P Villar, L Ocaña. 1997. Influencia de la fertirrigación en la micorrización controlada de *Pinus halepensis* en vivero. II Congreso Forestal Español. I Congreso Forestal Hispano Luso. Pamplona junio de 1997. Libro de Actas Tomo III. p. 307-311. Consultado sept. 2020. Disponible en <http://www3.uah.es/pedro-villar/PDF/Honrubia%20et%20al%201998.pdf>.
- IEEG (Instituto de Información Estadística y Geografía, MX). 2018. Diagnóstico del municipio de Ameca, Ameca, Jalisco, México, 34p. Consultado sept. 2020. Disponible en <https://ieeg.gob.mx/contenido/Municipios/Ameca.pdf>.
- Jeong J, P Jun-Ho, K Jong-Ik, L Jong-Taek, L Sang-Rai, K Choonsig. 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. DOI: <https://doi.org/10.1080/21580103.2010.9671975>
- Madrid-Aispuro R, Á Prieto-Ruiz, J Hernández-Díaz, A Aldrete, C Wehenkel, J Chávez-Simental. 2021. Crecimiento de *Pinus cembroides* Zucc. en vivero y campo producido en diferente tipo de contenedor. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44(3): 435-442.
- Ortiz M. 2006. Respuesta fisiológicas y bioquímicas de dos especies de pino en condiciones limitantes de humedad. Tesis. Pachuca de Soto, México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 58 p. Consultado sept. 2020. Disponible en [https://www.uaeh.edu.mx/nuestro\\_alumnado/icap/licenciatura/documentos/Respuestas%20fisiologicas%20y%20bioquimicas.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/nuestro_alumnado/icap/licenciatura/documentos/Respuestas%20fisiologicas%20y%20bioquimicas.pdf).
- Prieto J, P Domínguez, E Cornejo, J Nívar. 2007. Efecto del envaso y del riego en viveros en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. *Madera y Bosques* 13(1): 79-97. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2007.1311237>
- Salcedo E, R Bernaola-Paucar, E Hernández, F López-Dellamary, J Villa. 2012. Propuesta metodológica para la reforestación de áreas con condiciones edafoclimáticas especiales. Estudio de caso *Pinus hartwegii* Lindl en el Nevado de Colima. In Salcedo PE, E Hernández, JA Vázquez G, T Escoto, N Díaz eds. Recursos Forestales en el Occidente de México. Diversidad, manejo, producción, aprovechamiento y conservación. Tomo I. Jalisco, México. Amaya ediciones S. de R.L. de C.V. p. 226-243.
- Salle A, H Ye, A Yart, F Lieutier. 2008. Seasonal water stress and the resistance of *Pinus yunnanensis* to a barkbeetle-associated fungus. *Tree physiology* 28(5): 679-687. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/28.5.679>.

- South B, W Harris, P Barnett, J Hains, 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 Management* 204(2-3): 385-398. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.09.016>.
- Vázquez-Cisneros I, J Prieto-Ruiz, M López-López, C Wehenkel, P Domínguez-Calleros, F Muñoz-Sáez. 2018. Growth and survival of a plantation of *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* under different fertilization treatments. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 24(2): 251-264. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchsc-fa.2017.05.036>
- Zavaleta-Mancera H, E Engleman. 1991. Anatomía de la semilla de *Casimiroa edulis* (Rutaceae) “zapote blanco”, durante su desarrollo. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 51: 53-65. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1398>

Recibido: 17.09.20

Aceptado: 16.06.22

