

PRECONDICIONAMIENTO DE *Pinus engelmannii* Carr. MEDIANTE DÉFICIT DE RIEGO EN VIVERO

PRECONDITIONING *Pinus engelmannii* Carr. SEEDLINGS BY IRRIGATION DEFICIT IN NURSERY

Israel J. Ávila-Flores¹; José A. Prieto-Ruíz²; José C. Hernández-Díaz¹; Christian A. Wehenkel¹; J. Javier Corral-Rivas¹.

¹Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. Prol. Blv. Guadiana núm. 501, fracc. Cd. Universitaria. C. P. 34160. Durango, Dgo. MÉXICO.

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. Blv. Durango y ave. Papaloapan, col. Valle del Sur, s/n. C. P. 34120. Durango, Dgo. MÉXICO.

Correo-e: jprieto@ujed.mx Tel.: +52(618)1301148 (*Autor para correspondencia).

RESUMEN

Con el objetivo de mejorar el preacondicionamiento de plántulas de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero, se evaluaron tres frecuencias de riego: 48, 96 y 192 h. Las plántulas de ocho meses de edad se evaluaron durante 40 días. El ensayo se desarrolló en condiciones de invernadero en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana del INIFAP. Los datos se analizaron mediante prueba de permutaciones. Los resultados muestran que el riego cada 48 h causó los mejores efectos en altura (7.70 cm), diámetro (4.38 mm), biomasa total (6.59 g) e índice de calidad de Dickson (0.55). Por otro lado, el estrés hídrico originado por el tratamiento con riego cada 192 h (-1.22 MPa) limitó el crecimiento de las plántulas; sin embargo, el índice de lignificación (26.63) fue significativamente mejor ($P = 0.0001$) con esta frecuencia de riego. A pesar de haberse encontrado diferencias importantes ($P = 0.0001$) en el potencial hídrico y en las variables morfológicas, no se encontró evidencia suficiente que permita definir un tratamiento absolutamente superior para mejorar el preacondicionamiento de las plántulas en vivero. Por lo tanto, es recomendable evaluar dichos tratamientos durante mayor tiempo, además de evaluarlos en campo.

PALABRAS CLAVE: Potencial hídrico, calidad de planta, estrés hídrico, lignificación.

ABSTRACT

Three irrigation periods (every 48, 96 and 192 hours) were evaluated with the purpose of improving the preconditioning *Pinus engelmannii* Carr. seedlings in nursery. Eight months old seedlings were evaluated for 40 days. The study was conducted under greenhouse conditions at the nursery of the Experimental Station Valle del Guadiana of INIFAP. The data were analyzed with a permutations test. The results show that irrigation every 48 h caused the best effects in height (7.70 cm), diameter (4.38 mm), total biomass (6.59 g) and Dickson's quality index (0.55). In contrast, water stress caused by treatment with irrigation every 192 h (-1.22 MPa) limited the growth of seedlings; however, the lignification index (26.63) was significantly better ($P = 0.0001$) with this frequency of irrigation. Despite having significant differences ($P = 0.0001$) in the hydric potential and morphological variables, there was not sufficient evidence to define an absolutely superior treatment to improve the preconditioning of seedlings in the nursery. Therefore, it is advisable to evaluate these treatments for a longer time; moreover, it is suggested to evaluate the same treatments in the plantation field.

KEYWORDS: Hydric potential, plant quality, water stress, lignification.



Recibido: 02 de febrero, 2014

Aceptado: 20 de octubre, 2014

doi: 10.5154/r.rchscfa.2014.02.004

<http://www.chapingo.mx/revistas>

INTRODUCCIÓN

El preacondicionamiento de la planta en viveros forestales consiste en incrementar tiempo entre riegos, reducir el nivel de nitrógeno y aumentar el potasio. Esto propicia que previo a la reforestación, la lignificación de los individuos sea mayor, lo que incrementará sus posibilidades de supervivencia en los sitios donde se plante (Prieto-Ruíz, Almaraz, Corral, & Díaz-Vázquez, 2012).

La aplicación de riegos más espaciados produce déficit hídrico en las plantas, lo que genera balance hídrico negativo, reduce la turgencia, contrae la elongación celular, disminuye el crecimiento aéreo, altera la concentración de solutos orgánicos y modifica la actividad metabólica celular (Davis & Jacobs, 2005). Sin embargo, la inducción al estrés hídrico estimula el crecimiento de la raíz y favorece la absorción de agua, siempre y cuando la parte aérea tenga una tasa de fotosíntesis adecuada (Salle, Ye, Yart, & Lieutier, 2008). El estrés hídrico también favorece que las plantas resistan la sequía y las temperaturas bajas (Landis, Tinus, McDonald, & Barnett, 1989). Algunos autores señalan que el estrés hídrico, en la última fase de cultivo, puede incrementar el potencial de formación de raíces, factor que con frecuencia se ha relacionado con mayor supervivencia y crecimiento de las plantas en campo (Candel, Lucas, & Linares, 2012; Cochard, Hölttä, Herbette, Delzon, & Mencuccini, 2009; Hölttä, Juurola, Lindfors, & Porcar-Castell, 2012). Se considera que una planta carece de estrés hídrico si muestra valores de potencial hídrico (Ψ) superiores a -0.05 MPa; las condiciones de estrés son moderadas cuando Ψ oscila entre -0.05 y -1.0 MPa; valores de estrés entre -1.1 a -1.4 se consideran intermedios y cuando Ψ es menor a -1.5 MPa, el estrés hídrico es severo y restringe el crecimiento de las plántulas (Cleary, Zaerr, & Hamel, 1998; Lopushinsky & Max, 1990; Ritchie & Landis, 2010; Prieto-Ruíz et al., 2012).

Las condiciones climáticas que ocurrieron en el norte de México en los años 2011 y 2012 ocasionaron sequías importantes que contribuyeron a incrementar la mortalidad del arbolado en los bosques y en las reforestaciones (Sánchez et al., 2012). La sequía es la causa de muerte más común de las reforestaciones en el norte de México. En el estado de Durango, debido a la recurrente y prolongada ausencia de lluvia, y a otros factores ambientales y antropogénicos, la supervivencia promedio anual de la reforestación es inferior a 50 % (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2011). El preacondicionamiento de las plantas a la sequía contribuye a disminuir su mortandad en el campo (Moreno, 2009). La hipótesis en este trabajo es que el preacondicionamiento en vivero, mediante déficit hídrico, propicia que se incremente la lignificación, pero disminuye el crecimiento en plántulas de *Pinus engelmannii* Carr. En tal contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de tres frecuencias de riego: 48, 96 y 192 h, sobre las variables morfológicas y los índices de lignificación, esbeltez y calidad de Dickson.

INTRODUCTION

Preconditioning the plant in forest nurseries is to increase the time between irrigations, reduce the level of nitrogen and increase potassium. This causes that prior to the reforestation, lignification is greater, increasing their chances of survival in places where it is planted (Prieto-Ruíz, Almaraz, Corral, & Díaz-Vázquez, 2012).

Applying more spaced irrigation produces water deficit in plants, resulting in negative water balance, reduces turgor, shorten cell elongation, reduces shoot growth, alters the concentration of organic solutes and modifies cellular metabolic activity (Davis & Jacobs, 2005). However, induction of water stress stimulates root growth and promotes the absorption of water, as long as the aerial part has an adequate rate of photosynthesis (Salle, Ye, Yart, & Lieutier, 2008). Water stress also helps plants resist drought and low temperatures (Landis, Tinus, McDonald, & Barnett, 1989). Some authors suggest that water stress, in the last growth phase, may increase the potential for root formation, a factor that has often been associated with increased survival and growth of plants in the field (Candel, Lucas, & Linares, 2012; Cochard, Hölttä, Herbette, Delzon, & Mencuccini, 2009; Hölttä, Juurola, Lindfors, & Porcar-Castell, 2012). It is considered that a plant has no water stress when it has hydric potential values (Ψ) higher than -0.05 MPa; stress conditions are moderate when Ψ is between -0.05 and -1.0 MPa; stress values between -1.1 to -1.4 are considered intermediate and when Ψ is lower than -1.5 MPa means water stress is severe and restricts the growth of seedlings (Cleary, Zaerr, & Hamel, 1998; Lopushinsky & Max, 1990; Ritchie & Landis, 2010; Prieto-Ruíz et al., 2012).

The climatic conditions in 2011 and 2012 in northern Mexico caused significant drought that contributed to increase mortality in woodland forests and reforestation (Sánchez et al., 2012). Drought is the most common cause of death of reforestation in northern Mexico. In the state of Durango, due to the recurrence of prolonged absence of rain and other environmental and anthropogenic factors, average annual reforestation survival is less than 50 % (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2011). Preconditioning of plants to drought contributes to decrease their mortality in the field (Moreno, 2009). The hypothesis of this study is that the nursery preconditioning through water deficit, causes that lignification increases, but the growth in seedlings of *Pinus engelmannii* Carr. decreases. In this context, the aim of this study was to evaluate the effect of three periods of irrigation: 48, 96 and 192 h, on the morphological variables and indices of lignification, slenderness and Dickson's quality.

MATERIALS AND METHODS

Condition, production and morphology of *P. engelmannii* seedling

Seedling production was in charge of the nursery of the community of Santiago Bayacora, municipality of Durango,

MATERIALES Y MÉTODOS

Condición, producción y morfología de la plántula de *P. engelmannii*

La producción de la plántula estuvo a cargo del responsable del vivero de la comunidad Santiago Bayacora, municipio de Durango, en el estado de Durango, México; dicho vivero se ubica en 23° 53' 43.3" N y 104° 36' 58.6" O, a una altitud de 1,892 m. La semilla utilizada se colectó en un rodal semillero ubicado en las coordenadas 25° 04' 19.6" N y 104° 56' 27.0" O, a una altitud de 2,170 m, en el ejido Valle Florido, municipio de Nuevo Ideal, Durango. El tratamiento pregerminativo se hizo por lixiviación en agua durante 24 h. La plántula se produjo en charolas o bloques de poliestireno de 77 cavidades (170 mL por cavidad). El sustrato utilizado estuvo compuesto con una mezcla de turba (55 %) y agrolita (45 %). A partir del cuarto mes de edad, las plántulas se fertilizaron durante un mes con 1.5 g·litro⁻¹ de una formulación de triple 19 (N-P-K), posteriormente, a los ocho meses de edad se aplicaron 1.5 g·litro⁻¹ del fertilizante finalizador compuesto por 12-43-12 de N-P-K; ambos fertilizantes de liberación lenta.

La plántula de ocho meses de edad se seleccionó a partir de un lote de 10,000 plantas, del cual se tomaron 18 charolas equivalentes a 1,260 plántulas. Posteriormente, 126 plántulas se eligieron al azar y se caracterizaron respecto a su altura, diámetro del cuello de la raíz, longitud de la raíz y biomasa (Cuadro 1).

Con el fin de mantener condiciones ambientales estables y facilitar el acceso al equipo requerido para medir el estrés hídrico, la plántula se trasladó al vivero forestal del campo experimental Valle del Guadiana, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en el km 4.5 de la carretera Durango-El Mezquital, en Durango, Dgo. Durante la evaluación experimental, las plántulas estuvieron en un invernadero cubierto con plástico protegido contra rayos ultravioleta y malla de sombreado de 40 %. Diariamente, a diferentes horas, la temperatura y la humedad relativa se registraron, así como los valores máximos y mínimos, mediante un termómetro e higrómetro digital (AVALY, modelo DST-1001S, México) (Cuadro 2).

Durango, Mexico; this nursery is located at 23° 53' 43.3" N and 104° 36' 58.6" W, at an altitude of 1,892 m. The seed used was collected on a seed stand at coordinates 25° 04' 19.6" N and 104° 56' 27.0" W, at an altitude of 2,170 m, in the ejido Valle Florido, municipality of Nuevo Ideal, Durango. The pregerminative treatment was done by water leaching for 24 h. The seedling was placed on trays or polystyrene blocks with 77 cavities (170 mL per cavity). The substrate used was a mixture of peat (55 %) and perlite (45 %). From the fourth month-old, seedlings were fertilized for a month with g·liter⁻¹ of triple 19 (N-P-K), then, at eight months old 1.5 g·liter⁻¹ of finisher fertilizer composed of 12-43-120 N-P-K; both slow-release fertilizers.

The eight months old seedling was selected from a batch of 10,000 plants, from which 18 trays equivalent to 1,260 seedlings were taken. Subsequently, 126 seedlings were randomly selected and characterized regarding height, root collar diameter, root length and biomass (Table 1).

In order to maintain stable environmental conditions and facilitate access to the equipment required to measure water stress, the seedling was taken to the tree nursery of the experimental field Valle del Guadiana, of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), located at km 4.5 of the Durango-El Mezquital road in Durango, Durango. During the experimental evaluation, the seedlings were protected from ultraviolet rays in a greenhouse covered with plastic and shading mesh of 40 %. Every day, at different times, temperature and relative humidity were recorded the maximum and minimum values, using a thermometer and digital hygrometer (AVALY model DST-1001S, Mexico) (Table 2).

Evaluation and experimental design

The effect of water stress in seedlings from *P. engelmannii* was evaluated under three irrigation periods (treatments): every 48, 96 and 192 h, with three replications per treatment. Seedlings were placed in 18 trays (each experimental unit consisted of two trays), which were evaluated for 40 days. The assessment cycle lasted eight days and started with soil moisture saturation by immersing the container in water.

CUADRO 1. Características morfológicas de las plántulas de *Pinus engelmannii* al inicio del experimento (ocho meses de edad).

TABLE 1. Morphological characteristics of *Pinus engelmannii* seedlings at the beginning of the experiment (eight months of age).

Variables morfológicas / Morphological variables	Promedio / Average	Desviación estándar / Standard deviation	Error estándar / Standard error
Altura a la yema apical / Apical bud height (cm)	6.04	0.62	0.10
Diámetro del cuello de la raíz / Root collar diameter (mm)	3.20	0.44	0.07
Longitud de la raíz / Root length (cm)	12.00	0.77	0.13
Biomasa total / Total biomass (g)	3.68	0.03	0.11

CUADRO 2. Temperatura y humedad relativa durante el ensayo (40 días de evaluación) de preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* mediante déficit de riego.

TABLE 2. Temperature and relative humidity during the test (40 days of evaluation) of preconditioning *Pinus engelmannii* by irrigation deficit.

Hora / Time	Temperatura / Temperature (°C)		Humedad relativa / Relative humidity (%)	
	Promedio / Average	Error estándar / Standard error	Promedio / Average	Error estándar / Standard error
05:00	13.1	0.44	98.8	0.20
10:30	22.7	0.67	78.6	2.70
13:30	28.2	0.69	34.2	3.90
17:30	31.5	0.35	30.1	0.78
Máxima (diaria) / Maximum (daily)	34.5	0.56	96.9	0.50
Mínima (diaria) / Minimum (daily)	9.3	0.49	28.7	1.09

Evaluación y diseño experimental

El efecto del estrés hídrico en las plántulas de *P. engelmannii* se evaluó bajo tres frecuencias (tratamientos) de riego: cada 48, 96 y 192 h, con tres repeticiones por tratamiento. Los individuos se produjeron en 18 charolas (cada unidad experimental estuvo compuesta por dos charolas), las cuales se evaluaron durante 40 días. El ciclo de evaluación duró ocho días e inició con una condición de saturación de humedad del sustrato, mediante inmersión del contenedor en agua. El valor del Ψ por tratamiento se determinó en cuatro tiempos: a las 24, 48, 96 y 192 h. Al finalizar cada ciclo se continuó regando cada charola conforme a su tratamiento respectivo durante otros ocho días, para después iniciar un ciclo nuevo de mediciones, dando en total cinco periodos de 192 h. En total se tuvieron tres ciclos de mediciones alternados y dos ciclos donde sólo se aplicó riego. El diseño experimental fue completamente al azar. En el primer y segundo ciclo se midieron 12 plántulas al azar por tratamiento, mientras que en el último, para ampliar la base de datos, se muestrearon 24 plántulas por tratamiento. El Ψ del tallo se registró en el xilema del cuello de la raíz. El tallo se cortó con tijera para obtener una medición apropiada y facilitar su inserción en la cámara de presión (PMS Instruments Co., modelo 1000, Corvallis, OR, USA). Al finalizar los tres ciclos de estrés hídrico, de cada unidad experimental se muestrearon 12 plántulas al azar, para evaluar la altura (cm), diámetro del cuello (mm) y longitud de la raíz (cm); además, se calcularon los índices de esbeltez (*Ie*), lignificación (*Il*) y calidad de Dickson (*IcD*) (Dickson, Leaf, & Hosner, 1960), cuyas expresiones matemáticas son las siguientes:

Índice de esbeltez:

$$Ie = \frac{\text{Altura}}{\text{Diámetro}}$$

The value of Ψ per treatment was determined in four times: at 24, 48, 96 and 192 h. At the end of each cycle each tray was continued irrigating under their respective treatment for eight days, for later to start a new measurement cycle, a total of five periods of 192 h. Altogether there were three cycles of alternating measurements and two cycles with irrigation only. The experimental design was completely random. In the first and second cycle, 12 seedlings per treatment were randomly measured, while in the last cycle, to expand the database, 24 seedlings per treatment were sampled. The Ψ of the stem was recorded in the xylem of the root collar. The stem was cut with scissor for proper measurement and easy insertion in the pressure chamber (PMS Instruments Co., Model 1000, Corvallis, OR, USA). At the end of the three cycles of water stress, 12 seedlings were randomly sampled from each experimental unit to evaluate height (cm), collar diameter (mm) and root length (cm); also slenderness ratios (*Si*), lignification (*Il*) and Dickson's quality (*Dqi*) (Dickson, Leaf, & Hosner, 1960) were calculated, their mathematical expressions are as follows:

Slenderness index:

$$Si = \frac{\text{Height}}{\text{Diameter}}$$

Lignification index:

$$Il = \frac{TDW}{TWW} * 100$$

Dickson's quality index:

$$Dqi = \frac{TDW}{Si + (apDW / rDW)}$$

Índice de lignificación:

$$Il = \frac{PST}{PHT} * 100$$

Where:

TDW = total dry weight (g)
 TWW = total wet weight (g)
 apDW = Aerial part dry weight (g)
 rDW = Root dry weight (g)

Statistical Analysis

Normality and homogeneity of variance of the experimental data was verified with the Shapiro-Wilk test for normality; data were analyzed by permutation tests, when seeing that assumptions were not met. To verify whether the observed differences between the mean values are due to the effect of any treatment or due to chance, the data were permuted 100,000 times to contrast the values of *P* against a significance level $\alpha = 0.001$ (Manly, 2007).

RESULTS Y DISCUSSION

Hydric potential of *P. engelmannii* seedlings

Figure 1 shows the trend of Ψ per treatment (irrigation frequency) was similar in all three cycles. The stress was evident after 48 h from the first irrigation and deepened at the end of the irrigation cycles.

Table 3 presents the Ψ under the three irrigated conditions. Seedlings subjected to a lower deficit of water (irrigation every 48 h) reached -0.44 MPa average water stress. When irrigation was applied every 96 h, the average water stress on seedlings was -0.66 MPa. In contrast, when irrigation was applied every 192 h, seedlings had average values of -1.22 MPa.

Seedlings watered every 192 h reached a maximum value of stress of -2.90 MPa, which decreased the growth of seedlings, according to the morphological variables evaluated (Tables 1 and 4), coinciding with that found by authors like Lopushinsky and Max (1990), Cleary, Zaerr and Hamel (1998), Ritchie and Landis (2010) and Prieto-Ruíz et al. (2012). Seedlings watered every 96 h, had a maximum hydric potential of -1.00 MPa; also, seedling growth was intermediate with respect to the watered every 48 h and 192 h (Tables 1 and 4).

Preconditioning time in the evaluated treatments influenced water relations of seedlings and consequently led to differences in growth in some variables, behavior similar to that reported by Prieto et al. (2004). Seedlings subjected to treatment of irrigation every 48 h reached hydric potential of -0.44 MPa, favoring their growth. Martiñón-Martínez et al. (2010) evaluated plant growth of *Pinus pinceana* Gordon subjected to two conditions of the substrate hydric potential (greater than -0.5 MPa and lower than -1.5 MPa) for 160 days and found that drought reduced the increase in height of approximately 80 % and the diameter at 49 %.

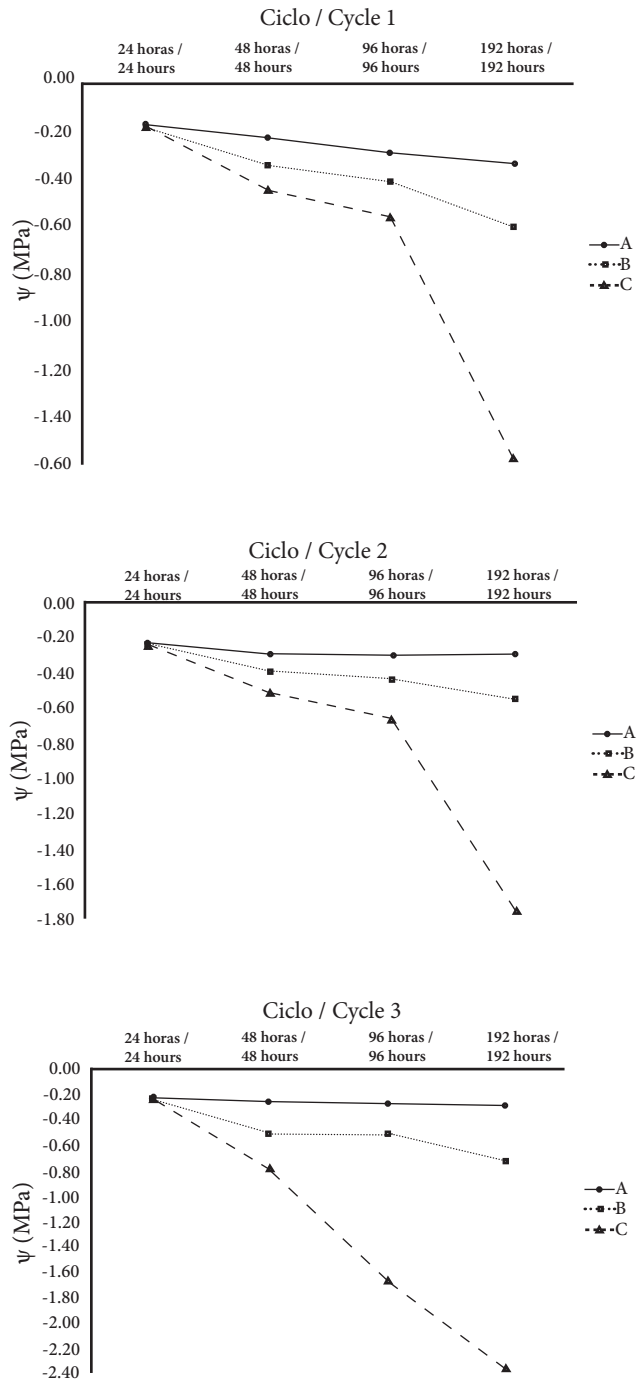


FIGURA 1. Potencial hídrico (Ψ) de plántulas de *Pinus engelmannii* en tres ciclos con tres frecuencias de riego durante 40 días: cada 48 horas (A), cada 96 horas (B), cada 192 horas (C).

FIGURE 1. Hydric potential (Ψ) of *Pinus engelmannii* seedlings in three cycles with three irrigation frequencies for 40 days: every 48 hours (A), every 96 hours (B), every 192 hours (C).

Índice de calidad de Dickson

$$IcD = \frac{PST}{Ie + (PSpa / PSr)}$$

Donde:

PST = Peso seco total (g)

PHT = Peso húmedo total (g)

PSpa = Peso seco parte aérea (g)

PSr = Peso seco de la raíz (g)

Análisis estadístico

La normalidad y homogeneidad de varianza de los datos experimentales se verificaron con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk; al observar que los supuestos no se cumplían, los datos se analizaron mediante pruebas de permutaciones. Para

Effects of hydric potential on the morphology of *P. engelmannii* seedlings

Seedlings watered every 48 h showed better morphological characteristics (height, diameter and biomass). Plant height was statistically different ($P = 0.0001$) when seedlings were watered every 48 h with respect to the irrigation every 96 and 192 h. With irrigation every 48 h, the height difference between the average initial evaluation (6.04 cm) and the final after the 40 day of the experiment (7.70 cm) was only 1.66 cm. This slow growth is due to the grass stage that *P. engelmannii* shows during nursery production.

The growth of the diameter of the neck was greater in seedlings watered every 48 h (4.38 mm) and showed significant differences ($P = 0.0001$) compared to the other two treatments. Similarly, the dry root biomass (2.81 g) of the

CUADRO 3. Potencial hídrico (Ψ) en plántulas de *Pinus engelmannii* bajo tres condiciones de riego.

TABLE 3. Hydric potential (Ψ) in *Pinus engelmannii* seedlings under three irrigation conditions.

Tratamiento / Treatment (riego / Irrigation)	Ψ máximo / Ψ Maximum (MPa)	Ψ mínimo / Ψ minimum (MPa)	Ψ Promedio / Ψ Average (MPa)	P		
				A vs B	A vs C	B vs C
A (48 horas / hours)	-0.58	-0.33	-0.44	0.00001***	0.00001***	0.00001***
B (96 horas / hours)	-1.00	-0.44	-0.66	0.00001***	0.00001***	0.00001***
C (192 horas / hours)	-2.90	-0.54	-1.22	0.00001***	0.00001***	0.00001***

*** Diferencias significativas para $P = 0.001$ / *** Significant differences at $P = 0.001$.

CUADRO 4. Variables morfológicas evaluadas en plantas de *Pinus engelmannii* bajo tres niveles de estrés hídrico: 48 horas (A), 96 horas (B) y 192 horas (C).

TABLE 4. Morphological variables evaluated in *Pinus engelmannii* plants under three levels of water stress: 48 hours (A), 96 hours (B) and 192 hours (C).

Variable	Promedio / Average			P		
	A	B	C	A vs B	A vs C	B vs C
Altura a la yema apical / Height at the apical bud (cm)	7.70	7.05	7.01	0.0001***	0.0001***	0.1478ns
Diámetro del cuello de la raíz / Root collar diameter (mm)	4.38	4.35	4.35	0.0001***	0.0001***	0.1300ns
Biomasa seca raíz / Root dry biomass (g)	2.81	2.48	2.52	0.0001***	0.0001***	0.0279ns
Biomasa seca aérea / Aerial dry biomass (g)	3.78	3.57	3.69	0.0001***	0.0002***	0.0003***
Biomasa seca total / Total dry biomass (g)	6.59	6.21	6.05	0.0001***	0.0001***	0.0001***
Índice de lignificación / Lignification index	24.30	25.03	26.63	0.0004***	0.0001***	0.0005***
Índice de esbeltez / Slenderness index	1.64	1.65	1.54	0.2375ns	0.0001***	0.0002***
Índice de calidad de Dickson / Dickson quality index	0.55	0.50	0.48	0.0002***	0.0001***	0.1078ns

*** Diferencias significativas para $P = 0.001$, ns: no significativo / *** Significant differences at $P = 0.001$, ns: non-significant.

verificar si las diferencias observadas entre los valores medios se deben al efecto de algún tratamiento o si se deben al azar, los datos se permutaron 100,000 veces para contrastar los valores de P contra un nivel de significancia $\alpha = 0.001$ (Manly, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potencial hídrico de las plántulas de *P. engelmannii*

La Figura 1 muestra que la tendencia del Ψ por tratamiento (frecuencia de riego) fue similar en los tres ciclos. El estrés fue evidente a las 48 h de haberse aplicado el primer riego y se acentuó en la parte final de los ciclos de riego.

El Cuadro 3 presenta el Ψ bajo las tres condiciones de riego. Las plántulas sometidas a un menor déficit de agua (con riego cada 48 h) alcanzaron estrés hídrico promedio de -0.44 MPa. Cuando el riego se aplicó cada 96 h, el estrés hídrico promedio en los individuos fue de -0.66 MPa. En cambio, cuando el riego se aplicó cada 192 h, las plántulas alcanzaron valores promedio de -1.22 MPa.

Las plántulas regadas cada 192 h alcanzaron un valor de estrés máximo de -2.90 MPa, lo cual disminuyó el crecimiento de los individuos, de acuerdo con las variables morfológicas evaluadas (Cuadros 1 y 4), coincidiendo con lo encontrado por autores como Lopushinsky y Max (1990), Cleary, Zaerr, y Hamel (1998), Ritchie y Landis (2010) y Prieto-Ruiz et al. (2012). Cuando se regó cada 96 h, el potencial hídrico máximo fue de -1.00 MPa; asimismo, el crecimiento en las plántulas fue intermedio con respecto a las regadas cada 48 h y 192 h (Cuadros 1 y 4).

El tiempo de preconditionamiento en los tratamientos evaluados influyó en las relaciones hídricas de las plántulas y, en consecuencia, propició diferencias en el crecimiento en algunas variables, comportamiento similar a lo reportado por Prieto et al. (2004). Las plántulas sometidas al tratamiento de riego cada 48 h alcanzaron potenciales hídricos promedio de -0.44 MPa, lo que favoreció el crecimiento de los individuos. Martiñón-Martínez et al. (2010) evaluaron el crecimiento de planta de *Pinus pinceana* Gordon sometida a dos condiciones de potencial hídrico del sustrato (mayor a -0.5 MPa e inferior a -1.5 MPa) durante 160 días y encontraron que la sequía redujo el incremento en altura aproximadamente 80 % y el diámetro en 49 %.

Efectos del potencial hídrico en la morfología de las plántulas de *P. engelmannii*

Las plántulas regadas cada 48 h presentaron mejores características morfológicas (altura, diámetro y biomasa). La altura de las plantas fue estadísticamente diferente ($P = 0.0001$) cuando se regaron cada 48 h con respecto a los riegos cada 96 y 192 h. Con el riego cada 48 h, la diferencia de altura entre la evaluación inicial promedio (6.04 cm) y la final después de los 40 días de prueba (7.70 cm) fue de tan solo 1.66 cm. Este crecimiento lento se debe al estado cespitoso que

aerial parts (3.78 g) and total (6.59 g) were higher with irrigation every 48 h and showed significant differences ($P = 0.0001$) compared to the other two treatments (96 and 192 h), which was due to the growth in the variables root, height and diameter (Table 4). Water stress tended to be extreme when irrigation was spaced every 192 h, which impacted on the indicator variables of seedling development because they had significantly lower values with respect to irrigation every 48 h.

Effect of hydric potential on indices of lignification, slenderness and Dickson's quality

Table 4 shows the indices of slenderness, lignification and Dickson's quality obtained in plants of *P. engelmannii*. The indices of slenderness in irrigation every 48 h (1.64) and 96 h (1.65) were not significantly different ($P = 0.0001$), but there were differences with respect to irrigation applied every 192 h. Therefore, we found seedlings with greater ratio aerial dry biomass/root dry biomass, similar to that reported by Ritchie and Landis (2010). Thompson (1985) showed that the slenderness index with values lower than 6.0, are associated with better quality, having vigorous stems. In this study, the results of the three treatments showed lower indices than the recommended because *P. engelmannii* has caespitose growth habits, which provokes that the growth in height usually be less than 10 cm at nine months of age in nursery production. This encourages the plant to be robust.

The significantly higher lignification index was recorded in seedlings under irrigation every 192 h, yielding stiffer seedlings. In this case there was a greater increase in dry weight relative to the wet weight, helping to increase the index of lignification (Table 4).

The Dickson quality index for irrigation of 48 h (0.55) showed significant differences ($P = 0.0001$) compared to irrigation every 96 h (0.50) and 192 h (0.48). This means that there was better balance between variables aerial part and root biomass, neck diameter and plant height, which, together, define the index. Also, seedlings watered every 48 h showed the minimum characteristics recommended by Prieto (2005): a) Height: 7-15 cm, b) neck diameter: 4-6 mm, c) unbranched, woody and undamaged stem.

CONCLUSIONS

The best morphological characteristics evaluated were found in seedlings watered every 48 h. The reduction of hydric potential by applying irrigation every 192 h, limited growth in height, collar diameter and biomass of *P. engelmannii*; however, this treatment favored more the lignification index. Although, significant differences in hydric potential and morphological variables between treatments assessed were found, the evidence was not sufficient to assert that any of them favors the quality of the plant in a

P. engelmannii manifiesta durante su producción en vivero. El crecimiento del diámetro del cuello fue mayor en las plántulas regadas cada 48 h (4.38 mm) y presentó diferencias significativas ($P = 0.0001$) con respecto a los otros dos tratamientos. De manera similar, la biomasa seca de la raíz (2.81 g), de la parte aérea (3.78 g) y la total (6.59 g) fueron mayores con el tratamiento de riego cada 48 h y presentaron diferencias significativas ($P = 0.0001$) respecto a los otros dos tratamientos (96 y 192 h), lo cual se debió al crecimiento en las variables raíz, altura y diámetro (Cuadro 4). El estrés hídrico tendió a ser extremo cuando el riego se espació cada 192 h, lo cual repercutió en las variables indicadoras del desarrollo de las plántulas pues tuvieron valores significativamente menores con respecto al riego cada 48 h.

Efecto del potencial hídrico sobre los índices de lignificación, esbeltez y calidad de Dickson

El Cuadro 4 muestra los índices de esbeltez, lignificación y calidad de Dickson obtenidos en las plantas de *P. engelmannii*. Los índices de esbeltez en el riego cada 48 h (1.64) y 96 h (1.65) no presentaron diferencias significativas ($P = 0.0001$), pero sí con respecto al riego aplicado cada 192 h. Por lo tanto, se encontraron plántulas con mayor relación biomasa seca aérea/biomasa seca raíz, similar a lo reportado por Ritchie y Landis (2010). Thompson (1985) demostró que el índice de esbeltez con valores menores de 6.0, está asociado con una mejor calidad de los individuos, al tener tallos vigorosos. En el presente ensayo, los resultados de los tres tratamientos mostraron índices inferiores al recomendado, debido a que *P. engelmannii* tiene hábitos de crecimiento cespitoso, lo que propicia que su crecimiento en altura generalmente sea menor de 10 cm a los nueve meses de edad en producción en vivero. Esto propicia que la planta sea robusta.

El índice de lignificación significativamente mayor se registró en las plántulas sometidas a riego cada 192 h, produciendo plántulas más rígidas. En este caso hubo mayor incremento de peso seco con relación al peso húmedo, lo que favoreció que el índice de lignificación aumentara (Cuadro 4).

El índice de calidad de Dickson en el riego de 48 h (0.55) presentó diferencias significativas ($P = 0.0001$) con respecto a los riegos cada 96 h (0.50) y 192 h (0.48). Esto significa que existió mejor equilibrio entre las variables biomasa de la parte aérea y de la raíz, diámetro del cuello y altura de la planta, las cuales, en conjunto, definen dicho índice. Asimismo, las plántulas regadas cada 48 h presentaron las características mínimas recomendadas por Prieto (2005): a) altura: 7 a 15 cm, b) diámetro del cuello: 4 a 6 mm, c) tallo sin ramificaciones, lignificado y sin daños.

CONCLUSIONES

Las mejores características morfológicas evaluadas se encontraron en las plántulas regadas cada 48 h. La reducción del potencial hídrico, mediante la aplicación del riego cada

more comprehensive manner. Therefore, in future work, it is advisable to increase the duration of the experiment, and to establishing study plots to evaluate the yield of the preconditioning treatments of seedlings in the field.

End of English Version

192 h, limitó el crecimiento en altura, diámetro del cuello y biomasa de *P. engelmannii*; sin embargo, este tratamiento favoreció más el índice de lignificación. Pese a que se encontraron diferencias significativas en el potencial hídrico y en las variables morfológicas entre los tratamientos evaluados, las evidencias no fueron suficientes para aseverar que alguno de ellos favorezca más la calidad de la planta de una manera integral. Por lo tanto, en trabajos futuros, es recomendable incrementar el tiempo de duración del experimento, además de establecer parcelas de estudio para evaluar el desempeño de los tratamientos preacondicionadores de las plántulas en campo.

REFERENCIAS

- Candel, P. D., Lucas, B. M., & Linares, J. C. (2012). Predicciones del crecimiento en poblaciones de pino laricio (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*) bajo diferentes escenarios futuros de cambio climático. *Revista Ecosistemas*, 21(3), 41–49. doi: 10.7818/ECOS.2012.21-3.06
- Cleary, B., Zaerr, J., & Hamel, J. (1998). Guidelines for measuring plant moisture stress with a pressure chamber. Oregon, USA: SPM Instrument Company.
- Cochard, H., Hölttä, T., Herbette, S., Delzon, S., & Mencuccini, M. (2009). New insights into the mechanisms of water-stress-induced cavitation in conifers. *Plant Physiology*, 151(2), 949–954. doi: 10.1104/pp.109.138305
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2011). Informe anual de reforestación. Consultado 14-06-2012 en <http://www.conafor.gob.mx/portal/>
- Davis, A. S., & Jacobs, D. F. (2005). Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests*, 30(2-3), 295–311. doi: 10.1007/s11056-005-7480-y
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10–13. doi: 10.5558/tfc36010-1
- Hölttä, T., Juurola, E., Lindfors, L., & Porcar-Castell, A. (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: 10.1093/jxb/err349
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (1989). *Seedling nutrition and irrigation*. Washington, DC, USA: Department of Agriculture-USDA Forest Service.
- Lopushinsky, W., & Max, T. A. (1990). Effect of soil temperature on root and shoot growth and on budburst timing in conifer seedling transplants. *New Forest*, 4(2), 107–124. doi: 10.1007/BF00119004

- Manly, B. F. J. (2007). Randomization, bootstrap and Monte Carlo methods in biology (3rded.). Boca Raton, FL, USA: Chapman & Hall-CRC Press.
- Martiñón-Martínez, R. J., Vargas-Hernández, J., López-Upton, J., Gómez-Guerrero, A., & Vaquera-Huerta, H. (2010). Respuesta de *Pinus pinceana* Gordon a estrés por sequía y altas temperaturas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(3), 239–248. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61014249007>
- Moreno, L. P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico: Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179–191. Obtenido de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11131/11799>
- Prieto, R., J. A. (2005). Características de la planta y recomendaciones para su transporte al sitio de plantación. Durango, México: CEVAG-CIRNOC-INIFAP
- Prieto, R. J., Cornejo, O. E., Calleros, D. P., Návar, C. J., Marmolejo, M. J., & Jiménez, P. J. (2004). Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr., producido en vivero. *Forest Systems*, 13(3), 443–451. Obtenido de http://www.inia.es/gcontrec/pub/443-451-%286704%29-Estres_1161947232765.pdf
- Prieto-Ruiz J., Almaraz, R. R., Corral, R. J., & Díaz-Vázquez. A. (2012). Efecto del estrés hídrico en *Pinus cooperi* Blanco durante su precondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(12), 19–28. Obtenido de <http://revistas.inifap.gob.mx/index.php/Forestales/article/view/1845/1837#>
- Ritchie, G. A., & Landis, T. D. (2010). Assessing plant quality. Seedling processing, storage and outplanting. Washington, DC, USA: US Department of Agriculture Forest Service,
- Salle, A., Ye, H., Yart, A., & Lieutier, F. (2008). Seasonal water stress and the resistance of *Pinus yunnanensis* to a bark-beetle-associated fungus. *Tree physiology*, 28(5), 679–687. doi: 10.1093/treephys/28.5.679.
- Sánchez, S. R., Navarro, C. R., Camarero, J. J., Fernández, C. A., Swetnam, T. W., & Zavala, M. A. (2012). Vulnerabilidad frente a la sequía de repoblaciones de dos especies de pinos en su límite meridional en Europa. *Revista Ecosistemas*, 21(3), 31–40. doi: 10.7818/ECOS.2012.21-3.05
- Thompson, B. E. (1985). Seedling morphological evaluation. Seedling morphology. In Duryea M. L. (Ed.), *Evaluating seedling quality: Principles, procedures and predictive abilities of major tests* (pp. 59–71). Corvallis, OR, USA: Forest Research Laboratory, Oregon State University.