



Artículo / Article

Preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. bajo diferentes condiciones ambientales en vivero

Pre-conditioning of *Pinus engelmannii* Carr. under different environmental conditions in a nursery

Sergio Rosales Mata¹, José Ángel Prieto Ruíz², José Leonardo García Rodríguez¹, Rosa Elvira Madrid Aispuro³ y José Ángel Sigala Rodríguez¹

Resumen

La disminución de los índices de mortalidad de las plantaciones forestales requiere usar técnicas de producción de planta que promuevan su calidad, y garanticen su establecimiento en campo. Una etapa importante durante el cultivo en vivero es el preacondicionamiento o endurecimiento, el cual tiene la finalidad de propiciar mayor vigor en los individuos para lograr mejores rendimientos en los sitios de plantación. El efecto de las diferentes condiciones ambientales en esa etapa favorece los mecanismos de resistencia a la sequía de los árboles en el campo. Durante 113 días se realizó un ensayo con planta que tenía siete y medio meses de edad al momento de iniciar el estudio. Los factores evaluados fueron: 1) invernadero; 2) malla sombra al 70 %; 3) malla sombra al 60 %; 4) malla sombra al 50 %; y 5) intemperie. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Los resultados evidenciaron que la condición ambiental influyó en el crecimiento de los individuos; de tal manera que la mejor calidad de planta se obtuvo en las condiciones de intemperie, malla sombra al 50 y 60 %; en las cuales se observaron resultados similares para las variables morfológicas diámetro de cuello (4.53, 4.52 y 4.30 mm) e Índice de Calidad de Dickson (0.39, 0.37 y 0.36).

Palabras Clave: Atributos morfológicos, calidad de planta, crecimiento, preacondicionamiento, producción de planta forestal, supervivencia.

Abstract

The effect of different environmental conditions during the pre-conditioning phase promotes mechanisms of drought resistance in trees after planting. During 113 days an experiment was performed with seedlings, aged seven and a half months at the beginning of evaluation. Factors evaluated were: 1) at the nursery; 2) shade mesh at 70 %; 3) shade mesh at 60 %; 4) shade mesh at 50 %; and 5) outdoors, under a totally randomized experimental design. An influence of environmental conditions on seedling growth was found; the highest seedling quality was obtained under outdoor conditions and shade mesh at 40 % and 60 %, which showed similar results in the morphological variables root collar diameter (4.53, 4.52 and 4.30 mm, respectively) and Dickson's quality index (0.39, 0.37 and 0.36, respectively).

Key words: Morphological attributes, seedling quality, growth, pre-conditioning, forest plant production, survival.

Fecha de recepción/date of receipt: 7 de octubre de 2013; Fecha de aceptación/date of acceptance: 12 de diciembre de 2014.

¹ Campo Experimental Valle del Guadiana. CIR-Norte Centro. INIFAP. Correo-e: rosales.sergio@inifap.gob.mx

² Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango.

³ Maestría Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango.

Introducción

En México durante los últimos años, la visión respecto a la conservación de los recursos forestales ha cambiado, y se ha enfocado en la restauración de los ecosistemas forestales mediante acciones conjuntas de conservación de suelo y agua, así como de reforestación (Rodríguez, 2008).

De acuerdo al programa estratégico forestal para México 2025, la búsqueda del desarrollo forestal sustentable es una prioridad en el mediano y largo plazo; las políticas y programas contenidos en este así lo establecen, con prioridad en el establecimiento de plantaciones con fines de reforestación (Conafor, 2011). Sin embargo, pese a que cada año se plantan árboles en aproximadamente 180 mil hectáreas, las tasas anuales de mortalidad son cercanas a 45 %, debido a causas diversas entre las que destaca la calidad deficiente de la planta utilizada (Magaña *et al.*, 2007).

Para disminuir los índices de mortalidad de las plantaciones forestales, es necesario aplicar técnicas de producción de planta que favorezcan su calidad, y garanticen su establecimiento en campo (Navarro *et al.*, 2006). Una etapa importante durante el desarrollo de la planta en vivero es el preacondicionamiento o endurecimiento, el cual tiene la finalidad de propiciar mayor vigor en los individuos para lograr mejores rendimientos en los sitios de plantación (Dumroese, 2003). Para ello es necesario eliminar las condiciones favorables de humedad y temperatura que prevalecen en el invernadero, para que exista una mejor adaptación a las condiciones del sitio de plantación (Ritchie *et al.*, 2010). Asimismo es conveniente aplicar potasio en dosis altas, y disminuir la cantidad de nitrógeno, además se deben quitar o limitar las condiciones de sombra (Landis *et al.*, 1989).

La función del agua en las plantas es importante para sus procesos fisiológicos durante la fase de preacondicionamiento. Disminuir el aporte del vital líquido crea condiciones de estrés hídrico: reduce el crecimiento en altura, promueve la aparición de la yema apical e incrementa la resistencia a bajas temperaturas (Villar-Salvador *et al.*, 1999). Por lo tanto, el preacondicionamiento por estrés hídrico, aplicado de manera controlada en el vivero, reduce la tasa de crecimiento de las plantas (Zwiazek y Blake, 1989); fortalece el crecimiento en diámetro e incrementa la producción de biomasa. Todos estos atributos morfológicos son importantes para su mejor adaptación en el campo (Prieto *et al.*, 2012).

El uso del sombreado durante la fase de preacondicionamiento depende, en principio, de la tolerancia de la especie a la sombra y de las condiciones en el sitio de plantación. La mayoría de las especies crecen mejor bajo el sol y en situaciones de sombra excesiva tienden a crecer más en altura, lo que provoca desequilibrio entre la parte aérea y la raíz de los individuos (Rivera *et al.*, 2005; Dumroese *et al.*, 2009; Santelices *et al.*, 2013).

Introduction

In Mexico, in the course of the last years, the view on the preservation of forest resources has changed and has focused on the restoration of forest ecosystems through joint actions for the preservation of the soil and of water, as well as on reforestation (Rodríguez, 2008).

According to the 2025 Strategic Forest Program for Mexico, the search of a sustainable forest development is a priority in the medium and long term; the policies and programs contained in it establish this and prioritize the establishment of plantations for reforestation purposes (Conafor, 2011). However, although each year trees are planted in approximately 180 thousand hectares, the annual mortality rates are close to 45 % due to various causes, among which the deficient quality of the utilized plants is prominent (Magaña *et al.*, 2007).

In order to reduce the mortality rates of forest plantations, plant productions techniques favoring their quality and ensuring their field establishment must be applied (Navarro *et al.*, 2006). An important phase during the development of the plant in the nursery is the pre-conditioning or hardening, whose purpose it is to promote greater vigor in the individuals so as to achieve a better yield in the plantation sites (Dumroese, 2003). In order to do this, the favorable humidity and temperature conditions that prevail in the nursery must be eliminated to promote a better adaptation to the conditions of the plantation site (Ritchie *et al.*, 2010). Furthermore, it is convenient to apply high doses of potassium and reduce the amount of nitrogen; also, the shade conditions must be eliminated or limited (Landis *et al.*, 1989).

Water plays an important role in the physiological processes of plants during the pre-conditioning phase. Reducing the input of this vital fluid generates water stress conditions: it diminishes the height growth, promotes the emergence of the apical bud and increases resistance to low temperatures (Villar-Salvador *et al.*, 1999). Therefore, water stress pre-conditioning, applied in a controlled way at the nursery reduces the growth rate of the plants (Zwiazek and Blake, 1989), enhances diameter growth and increases biomass production. All these morphological attributes are important to improve its field adaptation (Prieto *et al.*, 2012).

The use of shading during the pre-conditioning phase depends, in principle, on the tolerance of the species to the shade and on the conditions in the plantation site. Most species grow better under the sunlight, while in situations of excessive shade they tend to grow more in height, which produces an imbalance between the aerial part and the root of the individuals (Rivera *et al.*, 2005; Dumroese *et al.*, 2009; Santelices *et al.*, 2013).

In most forest nurseries of the state of Durango, there is no experience of the effect of pre-conditioning practices on the

En la mayoría de los viveros forestales del estado de Durango, se carece de experiencias sobre el efecto en la calidad de planta de las prácticas de preacondicionamiento. Por tal motivo, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el impacto de cinco condiciones ambientales: invernadero, intemperie además de mallas al 50, 60 y 70 %, de capacidad de retención de luz sobre los parámetros morfológicos en *Pinus engelmannii* Carr., durante la fase de preacondicionamiento en vivero.

Materiales y Métodos

Localización del área de estudio

El experimento se desarrolló en el vivero forestal del Campo Experimental "Valle del Guadiana", del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el km 4.5 de la carretera Durango-El Mezquital, Durango, Dgo. (24°01' N y 104°44' O), a una altitud de 1 860 m.

Condiciones de producción

Previo a la siembra, la semilla se remojó en agua durante 24 horas, y se desinfectó por cinco minutos en una solución compuesta de 90 % de agua y 10 % de cloro comercial. La planta se produjo en un invernadero con cubierta de plástico de polietileno calibre 720, bajo una malla sombra de 60 %. Se utilizaron charolas de 77 cavidades con 170 mL por cavidad; el sustrato consistió en una mezcla de corteza de pino compostada (60 %) y turba o peatmoss (40 %), a la que se le agregaron 5 kg m⁻³ del fertilizante de liberación lenta Osmocote® (17-7-12 de N-P-K). Para prevenir *Damping off*, semanalmente, en los primeros dos meses de crecimiento de las plantas, se adicionó Captán™ 50 en dosis de 2.5 g L⁻¹ de agua.

Asimismo, durante el desarrollo de los individuos, se fertilizó dos veces por semana con *Peters Professional*™ (PP) soluble en agua. En la fase de crecimiento rápido, se agregaron 300 ppm de nitrógeno de PP Desarrollo™ (20-7-19 N-P-K) por 4.5 meses. En la etapa de preacondicionamiento se aplicaron 100 ppm de nitrógeno PP Finalizador™ (4-25-35 N-P-K) por 3.7 meses.

Características de la planta evaluada

Previo al inicio del experimento, se determinaron las características morfológicas de la planta, para ello se extrajeron 40 individuos al azar de las unidades experimentales bajo prueba (Cuadro 1).



plant quality. For this reason, the purpose of the present paper is to evaluate the impact of five environmental conditions -nursery, outdoors, and meshes with a 50, 60 and 70 % light retention capacity- on the morphological parameters in *Pinus engelmannii* Carr. during the nursery pre-conditioning phase.

Materials and Methods

Location of the study area

The experiment took place at the forest nursery of the "Valle del Guadiana" Experimental Field of the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias* (INIFAP), located on km 4.5 of the Durango-El Mezquital highway in Durango, Dgo. (24°01' N y 104°44' W), at an altitude of 1 860 m.

Production conditions

Before the planting, the seeds were soaked in water during 24 hours and disinfected during five minutes in a solution of 90 % water and 10 % commercial chlorine. The plant was produced in a nursery with a plastic cover made of 720 gauge polyethylene and a 60 % shade mesh. Trays with seventy-seven 170 mL cavities; the substratum consisted of a mixture of composted pine bark (60 %) and peat moss (40 %), to which 5 kg m⁻³ of the Osmocote® slow release fertilizer (NPK 17-7-12) were added. Captán™ 50 was added in doses of 2.5 g L⁻¹ of water each week during the first two months of growth of the plants in order to prevent damping off.

Furthermore, during their development, the individuals were fertilized twice a week with water-soluble *Peters Professional*™ (PP). 300 ppm of PP-nitrogen were added in the form of Desarrollo™ (NPK 20-7-19) during 4.5 months. In the pre-conditioning phase, 100 ppm of PP-nitrogen were applied, using Finalizador™ (NPK 4-25-35), during 3.7 months.

Characteristics of the evaluated plant

Previously to the start of the experiment, the morphological characteristics of the plant were determined; for this purpose, 40 individuals were extracted at random from the experimental units being tested (Table 1).



Tratamientos utilizados y diseño experimental

En la fase de preacondicionamiento de 3.7 meses, se evaluaron cinco condiciones ambientales (invernadero, intemperie, 50, 60 y 70 % de malla sombra). Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones.

Modelo experimental y análisis estadístico

El modelo estadístico para los datos fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t; j = 1, 2, \dots, r_i$$

Donde:

- t = Número de tratamientos
- r_i = Número de repeticiones para el i -ésimo tratamiento
- Y_{ij} = Respuesta obtenida en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento
- μ = Efecto medio general
- T_i = Efecto atribuido al i -ésimo tratamiento.
- e_{ij} = Término de error aleatorio. Donde los e_{ij} tienen una distribución normal e independiente con media 0 y varianza σ^2

Los análisis estadísticos consistieron en un análisis de varianza, mediante el uso del paquete *Statistical Analysis System* (SAS) versión 9.1 (SAS, 2000). Para las variables en las que existieron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) se realizaron pruebas de medias de Tukey.

Variables evaluadas

La evaluación se realizó al finalizar la etapa de preacondicionamiento, a los once meses de edad de las plantas. De cada unidad experimental se consideraron cinco plantas seleccionadas aleatoriamente; las variables fueron diámetro del cuello, medida con un vernier digital Mitutoyo CD-6 C5; altura de la parte aérea, con una regla graduada de 30 cm Baco®; biomasa de la parte aérea y del sistema radical (mediante su secado durante 72 horas a 68 °C para obtener el peso anhidro de las muestras), con una balanza de precisión Ohaus SC2020, Línea Scout II. Posteriormente, se determinó el índice de robustez, el índice de lignificación y el índice de calidad de Dickson.

Resultados y Discusión

Las condiciones ambientales influyeron en el crecimiento de las plantas. Los resultados más favorables se obtuvieron en la condición de intemperie (figuras 1 y 2). En el caso de la

Cuadro 1. Condición morfológica inicial de la planta a los siete meses y medio de edad, al iniciar la etapa de preacondicionamiento.

Variables morfológicas	Media $\pm$ Error estándar
Altura (cm)	6.42 $\pm$ 0.13
Diámetro (mm)	2.24 $\pm$ 0.05
Biomasa seca total (g)	0.59 $\pm$ 0.02
Índice de robustez	2.91 $\pm$ 0.07
Relación parte aérea/raíz	6.11 $\pm$ 0.14
Índice de Calidad de Dickson	0.07 $\pm$ 0.002

Table 1. Baseline morphological condition at the age of seven-and-a-half months, at the beginning of the pre-conditioning phase.

Morphological variables	Mean $\pm$ Standard error
Height (cm)	6.42 $\pm$ 0.13
Diameter (mm)	2.24 $\pm$ 0.05
Total dry biomass (g)	0.59 $\pm$ 0.02
Robustness rate	2.91 $\pm$ 0.07
Aerial part/root ratio	6.11 $\pm$ 0.14
Dickson's quality index	0.07 $\pm$ 0.002

Treatments and experimental design

During the 3.7 month pre-conditioning phase, five environmental conditions were evaluated (nursery, outdoors, 50, 60 and 70 % shade mesh). The treatments were distributed in a totally random experimental design, with four repetitions.

Experimental model and statistical analysis

The statistical model for the data was:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t; j = 1, 2, \dots, r_i$$

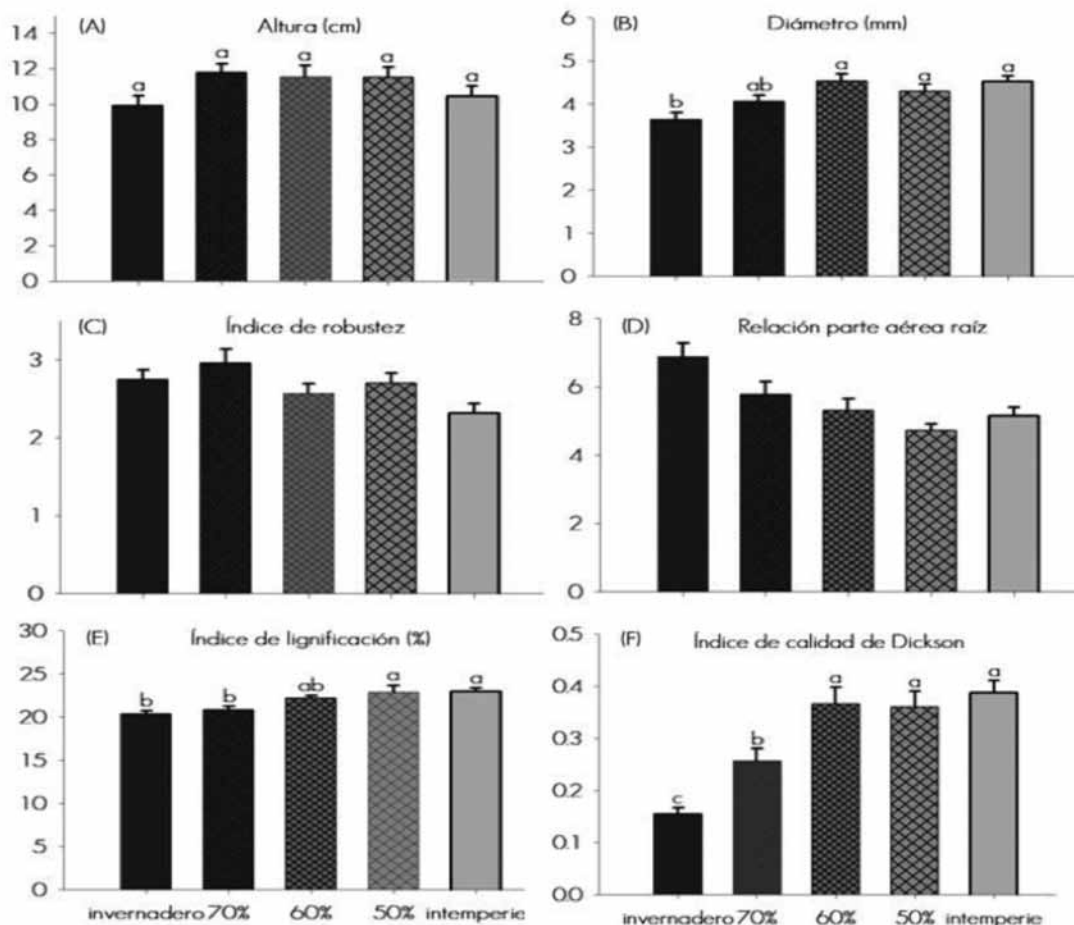
Where:

- t = Number of treatments
- r_i = Number of repetitions for the i^{th} treatment
- Y_{ij} = Response obtained in the j^{th} repetition of the i^{th} treatment
- μ = Mean general effect
- T_i = Effect ascribed to i^{th} treatment.
- e_{ij} = Random error term, where the e_{ij} are normally and independently distributed with a 0 mean and a σ^2 variance



altura, los valores variaron de 9.93 a 10.77 cm; sin embargo, no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Figura 1A).

The statistical analyses included a variance analysis using the Statistical Analysis System (SAS) version 9.1 package (SAS, 2000). Also, mean Tukey tests were carried out for those variables for which statistically significant differences ($p < 0.05$) were found.



Valores con letras distintas en la misma variable, indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), según Tukey. Values with different letters for the same variable indicate the existence of statistically significant differences ($p < 0.05$), according to Tukey's test.

Figura 1. Valores medios, por tratamiento de las variables morfológicas evaluadas en *Pinus engelmannii* Carr. a los 11 meses de edad.

Figure 1. Mean values, by treatment, of the morphological variables evaluated in *Pinus engelmannii* Carr. at 11 months of age.

Los resultados del diámetro del cuello evidenciaron que los valores medios del grupo estadístico superior correspondieron a la planta producida en condiciones de intemperie, malla sombra de 50 y 60 %; mientras que la condición de invernadero fue la más baja, con 3.64 mm (Figura 1B). Mattsson (1996) señala que el diámetro del tallo es un indicador de la supervivencia en campo de las plantas, entre mayor sea su valor, mejor adaptabilidad presentarán.

En cuanto a la producción de biomasa seca radical, aérea y total de la planta también existieron diferencias significativas

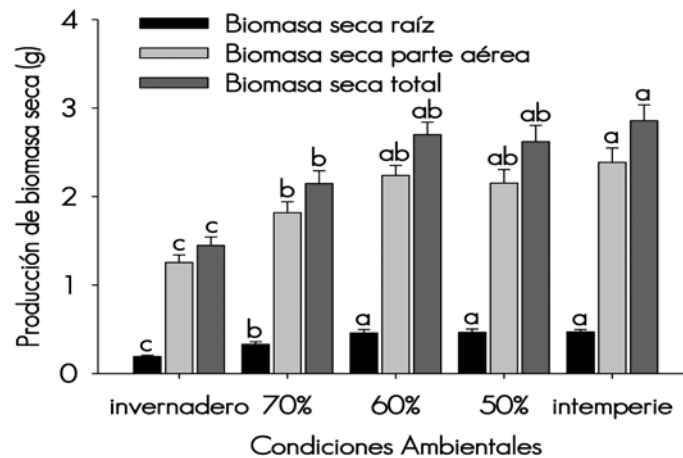
Evaluated variables

The evaluation was made at the end of the pre-conditioning phase of plants aged 11 months. Five randomly selected plants were considered out of each experimental unit; the variables were the root collar diameter, measured with a Mitutoyo CD-6 C5 digital vernier; the height of the aerial part, with a Baco® 30 cm



($p < 0.05$). De nuevo los valores mayores se obtuvieron en la condición de intemperie, y la menor producción de biomasa ocurrió en los individuos producidos en invernadero (Figura 2).

rule; the biomass of the aerial part and of the root system (dried during 72 hs at 68 °C to obtain the anhydrous weight of the samples), with a Ohaus SC2020, Scout II precision balance. Robustness and lignification rates and Dickson's quality index were subsequently determined.



Valores con letras distintas en la misma variable, indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), según Tukey.

Values with different letters for the same variable indicate the existence of statistically significant differences ($p < 0.05$), according to Tukey's test.

Figura 2. Producción de biomasa seca, por tratamiento, en *Pinus engelmannii* Carr., a los 11 meses de edad.

Figure 2. Dry biomass production, by treatment, in *Pinus engelmannii* Carr. at 11 months of age.

El aporte más grande de biomasa se obtuvo en el componente biomasa aérea; por ello, la relación parte aérea-raíz varió de 4.72 a 6.89; es decir, fue superior en más de cuatro veces con respecto al sistema radical (Figura 1D). Esta relación se expresa con base en el peso seco de ambas partes, y establece el balance entre el consumo de agua por el follaje y la capacidad de absorción por parte de la raíz (Cortina *et al.*, 2006).

La variable índice de lignificación tuvo diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), con valores de 20.38 a 22.95 % (Figura 1E). Por su parte, el índice de calidad de Dickson combina los datos de altura, diámetro, peso seco; y los ajusta por el efecto del tamaño de la planta. Un aumento en el índice representa ejemplares de mejor calidad, lo cual implica mayor desarrollo dimensional de la planta (Reyes-Reyes *et al.*, 2005). Este índice presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p < 0.05$); el grupo estadístico superior se generó en las condiciones de intemperie, malla sombra de 50 y 60 % con 0.39, 0.37 y 0.36, respectivamente (Figura 1F).

Con base en los resultados antes descritos, se considera que la condición ambiental influyó en el crecimiento de las plantas.

Results and Discussion

The environmental conditions exerted an influence on the plant growth. The most favorable results were obtained outdoors (figures 1 and 2). As for the height, values ranged between 9.93 and 10.77 cm; however, there were no statistically significant differences between treatments (Figure 1A).

The results for the root collar diameter show that the mean values of the higher statistical group corresponded to the plant produced outdoors, beneath 50 and 60 % shade meshes, while the nursery-grown plants had the lowest values, with 3.64 mm (Figure 1B). Mattsson (1996) points out that the stem diameter is an indicator of field survival of the plants; the higher its value, the greater their adaptability.

There were also statistically significant differences ($p < 0.05$) in the root, aerial and total dry biomass production of the plant. Again, the highest values were obtained under outdoor conditions, and the lowest, in nursery-grown individuals (Figure 2).

The largest biomass contribution was obtained from the aerial biomass component; for this reason, the aerial part/root

Landis (2005) indica que la planta forestal producida bajo sombra densa tiende a crecer excesivamente en altura. Además, el endurecimiento se retrasa y muestra un desequilibrio entre la parte aérea y la raíz. En el caso de *Pinus engelmannii* no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, debido a que tiene un hábito de crecimiento cespitoso, lo cual provocó que existiera un incremento similar en altura durante su desarrollo en vivero.

Conclusiones

Con base en los resultados de las variables morfológicas evaluadas, excepto la altura, la condición ambiental influyó en el preacondicionamiento de las plantas de *Pinus engelmannii*. La mejor calidad de planta se obtuvo cuando creció en condiciones de intemperie, malla sombra de 50 y 60 %.

La menor calidad de la planta de *Pinus engelmannii* se presentó en la condición de invernadero en la etapa de preacondicionamiento evaluada.

Para obtener plantas de mayor calidad, se recomienda intemperizarlas por lo menos un mes antes de transplantarlas. 🌱

Agradecimientos

A La Fundación Produce Durango, A.C. por el apoyo económico para la realización de este trabajo.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por Autor

Sergio Rosales Mata: establecimiento de ensayo en vivero, muestreo de planta, captura de datos y análisis estadístico, estructuración del manuscrito; José Angel Prieto Ruíz: diseño experimental, establecimiento de ensayo, estructuración y revisión del manuscrito; José Leonardo García Rodríguez: revisión de literatura, análisis bases de datos, estructuración y revisión del manuscrito; Rosa Elvira Madrid Aispuro: revisión de literatura, muestreo de planta, captura de datos, mantenimiento de planta en vivero; José Angel Sigala Rodríguez. Análisis estadístico, revisión de manuscrito.

Referencias

- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2011. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México. Comisión Nacional Forestal, Colegio de Posgraduados. Montecillo, Edo. de Méx., México. 472 p.
- Cortina, J., J. L. Peñuelas, J. Puértolas, R. Savé y A. Villagrosa. 2006. Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos. Organismo Autónomo Parques Nacionales Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. 191 p.

ratio ranged between 4.72 and 6.89, being more than four times higher than that of the root system (Figure 1D). This ratio is expressed based on the dry weight of both parts and establishes the balance between the consumption of water by the foliage and the absorption capacity of the root (Cortina *et al.*, 2006).

The lignification rate variable showed statistically significant differences ($p<0.05$) between treatments, with values ranging from 20.38 to 22.95 % (Figure 1E). On the other hand, Dickson's quality index combines the data of height, diameter and dry weight, and adjusts them for the effect of the plant size. An increase in this rate signifies specimens with a higher quality, which in turn means a greater dimensional development of the plant (Reyes *et al.*, 2005). This rate showed statistically significant differences ($p<0.05$) between treatments; the highest statistical group was generated under outdoor conditions and under 50 and 60 % shade meshes with 0.39, 0.37 and 0.36, respectively (Figure 1F).

Based on the results described above, the environmental condition is considered to have had an influence on the plants. Landis (2005) points out that the forest plants produced under a dense shade tend to grow excessively in height. Besides, their hardening is delayed and shows an imbalance between the aerial part and the root. In the case of *Pinus engelmannii*, no statistically significant differences were found between treatments, as they have a grass-like growth habit, which caused a similar increase in height during their development in the nursery.

Conclusions

Based on the results for the evaluated morphological variables, with the exception of the height, the environmental condition exerted an influence on the pre-conditioning of *Pinus engelmannii* plants. The best plant quality was obtained when the plants were grown in outdoor condition, under 50 and 60 % shade meshes.

In the evaluated pre-conditioning phase, the lowest quality of the *Pinus engelmannii* plant occurred under nursery conditions.

It is recommended to adapt the plants to the outdoors for at least one month before transplant in order to obtain higher quality individuals. 🌱

Acknowledgments

The authors wish to express their gratitude to the Fundación Produce Durango, A.C., for the financial support they provided for this work.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interests.

- Dumroese, R. K. 2003. Hardening fertilization and nutrient loading of conifer seedlings. In: Riley, L. E., R. K. Dumroese and T. D. Landis. (coords.). Technical coordinators. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2002. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Proceedings RMRS-P-28. Ogden, UT, USA. pp. 31-36.
- Dumroese, R. K., T. Luna and T. D. Landis. 2009. Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries. Volume 1. Nursery management. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, USA. Agriculture Handbook 730. 302 p.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett. 1989. Seedling nutrition and irrigation. In: Tinus, R. W., S. E. McDonald and J. P. Barnett. (comps.). The container tree nursery manual. USDA, Forest Service. Washington, DC, USA. Agriculture Handbook Vol. 4. (674). 119 p.
- Landis, T. D. 2005. Cooling with Shade. Summer Forest Nursery Notes. <http://www.rngr.net/publications/fnn/2005-summer> (15 de enero de 2013).
- Magaña T., O., M. Vanegas L., M. Castillo C., P. Lozano C., C. Hernández G. y B. Gamaz Z. 2007. Evaluación externa de los apoyos de reforestación, obras y prácticas de conservación de suelos y sanidad forestal. Ejercicio Fiscal 2006. Universidad Autónoma Chapingo-Gerencia de Servicios Profesionales. http://portal.chapingo.mx/ceprae/archivos/1204225351_Suelos_Forestales_2006.pdf (20 de enero de 2013).
- Mattsson, A. 1996. Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests* 13(1-3):223-248.
- Navarro R., M., D. Del Campo A., y J. Cortina. 2006. Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta. In: Cortina, J., L. Peñuelas L., J. Puértolas, A. Vilagrosa y R. Savé. (coords.). Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes Mediterráneos. Estado actual de conocimientos. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. pp. 1-23.
- Prieto R., J. A., R. J. Almaraz R., J. J. Corral R. y A. Díaz V. 2012. Efecto del estrés hídrico en *Pinus cooperi* Blanco durante su preacondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(42):19-28.
- Reyes-Reyes, J., A. Aldrete, V. M. Cetina-Alcalá y J. López-Upton. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrabus* var. *apulcensis* en sustratos a base de aserrín. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11(2):105-110.
- Rivera, L., J. López y M. Triana. 2005. Efecto del sombreado en vivero en el crecimiento y mortalidad de plántulas de regeneración natural de palo sangre (*Brosimum rubescens* Taub.) en el sur del trapezoid amazónico. *Revista Colombia Forestal* 9(18): 60-69.
- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi Prensa México. México. D.F., México. 156 p.
- Ritchie G., A. T., D. Landis, R. K. Dumroese and D. L. Haase. 2010. Handling and Shipping. Seedling Processing, Storage and Outplanting. In: The container tree nursery manual. <http://www.rngr.net/publications/ctnm/volume-7> (3 de marzo de 2012).
- Santelices M., R., M. Espinoza S. y A. Cabrera A. 2013. Efecto del nivel de sombra en la calidad de plantas de *Nothofagus alessandrii* Espinoza cultivadas en vivero. In: VI Congreso Forestal Español. 10-14 de junio de 2013. Vitoria-Gasteiz, España. 12 p.
- Statistical Analysis System (SAS). 2000. SAS. Ver. 9.1. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. s/p
- Villar-Salvador, P., L. Ocaña, J. Peñuelas and I. Carrasco. 1999. Effect of water stress conditioning on the water relations, root growth capacity, and the nitrogen and non-structural carbohydrate concentration of *Pinus halepensis* Mill. (Aleppo pine) seedlings. *Annals of Forest Science* 56(6):459-465.
- Zwiazek, J. J. and T. J. Blake. 1989. Effects of preconditioning on subsequent water relations, stomatal sensitivity, and photosynthesis in osmotically stressed black spruce. *Canadian Journal of Botany* 67:2240-2244.

Author Contributions

Sergio Rosales Mata: Establishing trial nursery, plant sampling, data collection and statistical analysis, structuring the manuscript; José Ángel Prieto Ruiz: Experimental design, test establishment, structuring and revising the manuscript; José Leonardo García Rodríguez: Literature review, database analysis, structuring and revising the manuscript; Rosa Elvira Madrid Aispuro: Literature review, sampling plant, data capture, maintenance of plant nursery; José Ángel Rodríguez Sigala: Statistical analysis, review of manuscript.

End of the English version

