

Artículo / Article



Efecto del volumen del contenedor en la calidad y supervivencia de *Pinus hartwegii* Lindl. en sistema doble-trasplante

Effect of container volume on quality and survival of *Pinus hartwegii* Lindl. using a two-step transplant system

Rosario Marilú Bernaola-Paucar¹, Eulogio Pimienta Barrios¹, Porfirio Gutiérrez González², Víctor Manuel Ordaz Chaparro³, Gelacio Alejo Santiago⁴ y Eduardo Salcedo Pérez²

Resumen

El éxito de la reforestación está determinado por el sistema de producción, la calidad de planta, el manejo y las condiciones edáficas y climáticas. El sistema de producción intensivo en charola bajo invernadero es de los más utilizados para planta forestal. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del volumen de contenedor sobre la calidad de planta de *Pinus hartwegii* y la supervivencia en campo. Los ejemplares vegetales fueron propagadas en sistema intensivo y cultivadas durante doce meses en charolas (0.165 L por cavidad) y se trasladaron al vivero temporal del sitio de plantación. 350 plantas se dejaron en las charolas (T0), 350 fueron trasplantadas a contenedores de un litro (T1) y 350 a contenedores de cinco litros (T2), y se mantuvieron durante ocho meses más. Las variables de crecimiento, índices de calidad y el porcentaje de supervivencia fueron ponderadas. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos para todas las variables. Las plantas obtenidas del T2 registraron mayor altura (cm), diámetro del tallo (mm), volumen aéreo (cm³), peso aéreo (g), volumen radical (cm³) y los mejores índices de calidad y el mayor porcentaje de supervivencia (96 %). El índice de Dickson (IQ) no presentó diferencia estadística entre el tratamiento 1 y 2; por el contrario, el índice de contenedor raíz (ICR) si mostró diferencia entre tratamientos, por lo que se propone como un indicador de la calidad de planta y de la supervivencia en campo.

Palabras clave: Calidad de planta, contenedor, índice de Dickson, *Pinus hartwegii* Lindl., reforestación, vivero forestal.

Abstract

The success of reforestation is determined by the production system, the forest plant quality, management and of the environmental conditions. The production forest planting container nursery is the mostly used method. The aim of the study was to evaluate the effect of the volume container in the plant quality of *Pinus hartwegii* and to determine survival rate in the field. The plants were grown in container of 0.165 L during 12 months and then were moved at the reforestation site for their acclimatization. 350 plants were grown in the same container (T0), 350 plants were transplanted in container of 1L (T1) and 350 plants in container of 5L (T2). The plants were kept in this condition for 8 months. Growth variables, quality index and survival rate were evaluated. The analysis of variance showed significant differences ($P \leq 0.05$) among treatments for all variables. The plants of T2 exhibited the best height of plant (cm), stem diameter (mm), aerial biomass (cm³), aerial biomass (g), root volume (cm³), and the best quality index nursery and the highest survival rate (96 %) was also presented. The Dickson index (IQ) did not show statistical difference between treatments 1 and 2. On the contrary, the root container index (ICR) did show differences between treatments and so it is proposed in this study as an indicator to evaluate plant quality and the survival rate in the field.

Key words: Quality of plant, container, Dickson Index, *Pinus hartwegii* Lindl., reforestation, forest nursery.

Fecha de recepción/date of receipt: 26 de noviembre de 2014; Fecha de aceptación/date of acceptance: 19 de febrero de 2015.

¹ Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara.

² Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería, Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara. Correo-e: esalcedo@dmcyca.ucei.udg.mx

³ Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados.

⁴ Universidad Autónoma de Nayarit.

Introducción

El propósito de todo vivero forestal es hacer más eficiente la producción de planta, individuos de bajo costo y en menor tiempo. La interacción de las condiciones edáficas y climáticas de los sitios de plantación y el manejo en campo impactan también, de manera directa, en el porcentaje de supervivencia (Bernaola, 2012). En México, los programas de reforestación no han tenido el efecto esperado, ya que a nivel nacional, en promedio, se tiene un porcentaje de 50 % de supervivencia en campo durante el primer año, lo cual se relaciona a la presencia constante de sequías, la fecha inadecuada de plantación y la baja calidad de las plantas (Conafor, 2010).

En este contexto, el volumen del contenedor, el tipo y estado físico del sustrato y el manejo silvicultural en vivero son factores importantes para mejorar la calidad de planta (Ritchie, 1983; Folk y Grossnickle, 1997; Birchler *et al.*, 1998); esto es extensivo a la capacidad que tiene la planta para alcanzar las expectativas de supervivencia y crecimiento en campo (Duryea, 1985), a partir de su forma, estructura, así como de las funciones vitales y procesos metabólicos (Johnson y Cline, 1991; Cortina *et al.*, 2006). South (2000) y Prieto *et al.* (1999) opinan que la respuesta inicial de la plantación está influida por las condiciones ambientales, el manejo, las características morfológicas y procesos fisiológicos de los ejemplares, lo cual incide fuertemente en su supervivencia después del periodo de estrés por el trasplante, sobre todo bajo sequía estacional prolongada, que propicia una mayor mortalidad (Haase y Rose, 1993).

El sistema de producción de doble-trasplante se basa en el traspaso de las plantas de la charola a contenedores de mayor volumen con la finalidad de producir ejemplares mas grandes, que logren adaptarse morfológica y fisiológicamente a las condiciones en las que se establecerá la plantación (Salcedo *et al.*, 2012).

El sistema contenedor-contenedor genera plantas grandes y de buena calidad morfológica, pero eleva los costos (Hahn, 1984). Estudios realizados por Pineda *et al.* (2004) en *Pinus greggii* Engelm. con tres sistemas de producción, evidenciaron que las plantas producidas bajo el sistema contenedor-raíz desnuda tuvieron mejores resultados, en todas las variables morfológicas, que las de contenedor-contenedor y charola sin trasplante; se atribuye esta calidad a un mayor espacio en la cama de crecimiento para su desarrollo. Becerra *et al.* (2013) obtuvieron mejor calidad en las plantas trasplantadas a contenedores de mas capacidad (volumen de 10 L). En contraste Hahn (1990), Owston (1990) y Dumroese *et al.* (1998) han registrado inconvenientes operativos y económicos por la implementación de estos sistemas.

Introduction

The purpose of all forest nurseries is to produce plant more efficiently, individuals of low cost and in less time. The interaction of soil and climatic conditions of planting sites and field management directly impact on the survival rate (Bernaola, 2012). In Mexico, reforestation programs have not been as successful as expected, since at a national scope, the average survival percentage in the field during the first year has been 50 %, which is related to the constant presence of drought, incorrect planting dates and poor quality of plants (Conafor, 2010).

In this context, the container volume, the type and physical state of the substrate and the forestry nursery management are important factors in improving the quality of plant (Ritchie, 1983; Folk and Grossnickle, 1997; Birchler *et al.*, 1998); this is valid, as well, for the ability of the plant to meet the expectations of survival and growth in the field (Duryea, 1985), from its form and structure, and vital functions and metabolic processes (Johnson and Cline, 1991; Cortina *et al.*, 2006). South (2000) and Prieto *et al.* (1999) believe that the initial reaction of a plantation is influenced by environmental conditions, management, morphological and physiological processes in plants, which strongly affects their survival after the period of transplantation stress especially under conditions of prolonged seasonal drought which favors high mortality (Haase and Rose, 1993).

The production system of double-transplant is based on the transfer of the plants from the tray to higher volume containers in order to produce larger individuals, which morphologically and physiologically adapt to the conditions in which the plantation is established (Salcedo *et al.*, 2012).

The container-container system generates large and good morphological quality plants but it raises costs (Hahn, 1984). Studies by Pineda *et al.* (2004) in *Pinus greggii* Engelm. under three production systems revealed that container bare-root system plants accomplished better results on all morphological aspects than those under the container-container system and tray without transplant; this quality is attributed to a larger space in the growth-bed for its development without restriction. Becerra *et al.* (2013) demonstrated better quality in plants transplanted to larger volume containers (10 L). In contrast, Hahn (1990), Owston (1990) and Dumroese *et al.* (1998) have recorded some operational and economic drawbacks by implementing these systems.

Moreover, Bernaola (2012) reported 94 % survival for *Pinus hartwegii* Lindl. under the double-transplant option when using five-liter containers, after two years of being installed in the field. It also stresses that at the end of production, the benefit-cost ratio under this mode is feasible if one takes into account the percentage of survival since the unit cost of nursery production was \$ 16.00 Mexican pesos.

Por otra parte Bernaola (2012) registró una supervivencia de *Pinus hartwegii* Lindl. de 94 % con la opción de doble-trasplante al usar contenedores de cinco litros, a los dos años de haberlos instalados en campo. Además, destaca que al final de la producción, la relación beneficio-costo bajo este contexto es viable si se toma en cuenta el porcentaje de supervivencia, pues el costo unitario de producción en vivero fue de \$16.00.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del volumen del contenedor sobre la calidad de planta de *P. hartwegii* en vivero y la supervivencia en campo a un año de su establecimiento.

Materiales y Métodos

El área de estudio

El estudio se realizó en dos etapas. La primera consistió en evaluar la calidad de planta en dos viveros forestales: el vivero de producción "Masvi", situado en la localidad de San Andrés, Ciudad Guzmán, Jalisco, ubicado a 1 543 msnm; y el vivero temporal Pico del Águila, a 3 849 msnm en el Parque Nacional Nevado de Colima, en la región sur del estado de Jalisco.

La segunda etapa fue la evaluación en campo, en la zona denominada Pico del Águila, a una altitud de 3 849 msnm, entre los 19°30'21" N y 103°54'42" O, con clima semi-seco, temperatura media anual de 20 °C (27 °C a 12.1 °C), precipitación media de 694.4 mm y 10 días con heladas en promedio anual (Conanp, 2006).

El suelo del lugar es de tipo Andosol, la vegetación está representada por bosques de pino (*Pinus hartwegii*), acompañado de oyamel (*Abies flinckii* Rushford), pastizales (*Agrostis* sp.) y otras especies (*Arenarya bryoides* Boiss., *Senecio toluicans* DC., *Solanum verrucosum* Schlecht., *Pteridium feei* (W. Schaffn. ex Fée) Faull and *Brassica campestris* L.) (Inegi, 1999; Conanp, 2006).

Materiales

Se utilizaron plantas de *Pinus hartwegii* de 12 meses de edad procedentes del Vivero "Masvi", en charolas de poliestireno de 60 cm de largo x 36 cm de ancho x 10.4 cm de alto y con 60 cavidades de 0.165 L de volumen. La descripción de las plantas medidas al inicio del experimento se presenta en el Cuadro 1, las cuales fueron determinadas en el Laboratorio Forestal del Departamento de Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara.

In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of the volume of the container on the quality of *P. hartwegii* plant at the nursery and its survival at the field after one year of its establishment.

Materials and Methods

The study area

The study was conducted in two stages. The first was to assess the quality of ground in two forest nurseries: the Masvi production nursery located in the village of San Andrés, Ciudad Guzmán, Jalisco, located at 1 543 masl; and temporary nursery Pico del Águila (Eagle Pick) at 3 849 m at the Nevado de Colima National Park, in the southern region of the state of Jalisco.

The second stage was the evaluation in the field, in the area called Pico del Águila, at an altitude of 3 849 m, between 19°30'21"N, 103°54'42" W, with semi-dry climate, annual average temperature of 20 °C (27 °C to 12.1 °C), rainfall of 694.4 mm and 10 frost days in annual average (Conanp, 2006).

The soil at the site is of the Andosol type, vegetation is represented by pine (*Pinus hartwegii*) together with fir (*Abies flinckii* Rushford), pasture (*Agrostis* sp.) and other species (*Arenarya bryoides* Boiss., *Senecio toluicans* DC., *Solanum verrucosum* Schlecht., *Pteridium feei* (W. Schaffn. ex Fée) Faull and *Brassica campestris* L.) (Inegi, 1999; Conanp, 2006).

Materials

Pinus hartwegii of 12 months old from Masvi nursery were used in polystyrene trays 60 cm long x 36 cm wide x 10.4 cm high and 60 cavities of 0.165 L. The description of plants measured at the beginning of the experiment are presented in Table 1 which were determined in the Forestry Department Laboratory of Pulp and Paper, Universidad de Guadalajara.

Black polypropylene containers specially designed for the development of conifers (of semi-conical shape, with vertical interior ribs and only the base cover with a square grid) were used. The one liter container had a wall thickness of 118 mm, 18.5 cm long and diameter of 10.7 cm above and less than 8.2 cm at the bottom. The five liter container was 152 mm in terms of the first feature, over 45 cm long, diameter of 17.8 cm at the top and 14.5 cm at the bottom.



Cuadro 1. Promedio de las variables: altura, diámetro y biomasa de *Pinus hartwegii* Lindl. al inicio de la evaluación (12 meses de edad) en el vivero de producción Masvi.

Table 1. Mean of height, diameter and biomass variables of *Pinus hartwegii* Lindl. at the beginning of the evaluation (12 months old) in Masvi production nursery.

Altura (cm)	Diámetro (mm)	Volumen de la parte aérea (cm ³)	Peso de la parte aérea (g)	Volumen radicular (cm ³)	Peso radicular (g)
4.3 (0.4)	5.17 (0.3)	5.67 (0.5)	1.52 (0.2)	3.53 (0.3)	0.91 (0.1)

*El valor entre paréntesis es el error estándar.

*The number in parenthesis is standard error.

Se usaron contenedores de polipropileno negro con diseño especial para el desarrollo de coníferas (semicónico, con costillas interiores verticales y con la base cubierta solo con una malla cuadrículada). El contenedor de un litro tenía un espesor de pared de 118 mm, 18.5 cm de largo y diámetro superior a 10.7 cm e inferior a 8.2 cm. El de cinco litros era de 152 mm en cuanto a la primera característica, largo de 45 cm y diámetro superior a 17.8 cm e inferior a 14.5 cm.

El sustrato utilizado para el trasplante lo describieron en el Laboratorio de Física de Suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México. Estaba compuesto por composta de corteza de pino triturada, con una porosidad total de 59 %, de aireación de 18 %, de retención de agua de 41 %, con tamaño de partícula (diámetro medio ponderado) de 4.7 mm y una densidad aparente de 0.25 g cm⁻³. Con el fin de prevenir daños por patógenos, este material se desinfectó con un fungicida de amplio espectro (BUSAN 30 WB, TCMTB-tiacinometiltiobenzotrazol).

Primera etapa: Establecimiento en vivero

Las plantas procedentes del vivero Masvi se trasladaron en charolas al vivero temporal Pico del Águila. Las producidas en la misma charola con volumen de cavidad de 0.165 L se consideraron como testigo (tratamiento T0), mientras que los contenedores con volúmenes de 1 y 5 L como tratamientos T1 y T2, respectivamente. Cada uno de ellos estaba integrado por 350 plantas o unidades experimentales y los tres tratamientos se mantuvieron en vivero temporal durante ocho meses más. Todos ellos recibieron riegos periódicos cada dos días, lo que generó un gasto de 1.13 L seg⁻¹, con leves variaciones dependiendo de las condiciones climáticas. Además, soluciones nutritivas foliares a base de nitrato de magnesio (40 g); nitrato de calcio (40 g); fosfato monopotásico (50 g); nitropotasio (50 g); Urea (40 g); Gro-green® (40 g) y Multi-micro Haifa® (10 g) disueltas en 25 L fueron aplicadas dos veces por semana en 527 m² cubiertos por planta.

Diseño experimental en vivero

Para la primera etapa, se consideraron como tratamientos los tres volúmenes de contenedor T0 (0.165 L), T1 (1 L) y T2 (5 L). Los

The substrate used for transplantation was described in the Laboratorio de Física de Suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México (Laboratory of Soil). It was composed of compost made up by crushed pine bark, with a total porosity of 59 %, aeration, 18 %, water retention, 41 %, with particle size (weight average diameter) of 4.7 mm and a bulk density of 0.25 g cm⁻³. In order to prevent damage by pathogens, this material was disinfected with a broad spectrum fungicide (WB BUSAN 30, TCMTB-tiacinometiltiobenzotrazol).

First stage: Establishment nursery

The plants from the Masvi nursery were moved in trays into Pico del Águila temporary nursery. The plants produced in the same tray with volume cavity of 0.165 L were considered as control (treatment T0), while containers with volumes of 1 and 5 L as T1 and T2 treatments, respectively. Each one consisted of 350 plants or experimental units and three treatments were kept in the temporary nursery for eight months. All of them received periodic watering every other day, generating an expense of 1.13 L s⁻¹, with slight variations depending on weather conditions. Additionally, a foliar nutrient solution based on magnesium nitrate (40 g), calcium nitrate (40 g), monopotassium phosphate (50 g), nitropotassium (50 g), urea (40 g); Gro-green® (40 g) and Multi-micro Haifa® (10 g) dissolved in 25 L were applied twice a week in 527 m² covered by plants.

Experimental design at the nursery

For the first stage, the three container volumes of T0 (0.165 L), T1 (1 L) and T2 (5 L) were considered as treatments. The treatments were arranged in a complete block design at random. Each treatment consisted of three replications and five randomly selected plants per replication (15 samples as total).



tratamientos se distribuyeron en un diseño en bloques completamente al azar. Cada tratamiento consistió de tres repeticiones y se seleccionaron aleatoriamente cinco plantas por cada repetición (15 plantas).

Evaluación en vivero

La evaluación (ocho meses después del trasplante) de la calidad de planta se realizó a partir de las variables de crecimiento: altura (cm), diámetro de tallo en la base del cuello de la raíz (mm), volumen de la parte aérea y radicular (cm³) por desplazamiento de agua (Harrington *et al.*, 1994), peso seco del tallo y de la raíz (g). Con estos datos se calculó el Índice de Robustez, la relación parte aérea/raíz, el Índice de Dickson (Dickson *et al.*, 1960) e Índice de Contenedor de Raíz (ICR), el cual consiste en un cociente entre el volumen del contenedor (cm³) y el volumen de la raíz (cm³).

En junio de 2011, las plantas se incorporaron al campo en la zona denominada Pico del Águila (330 plantas por cada tratamiento); dichas plantaciones fueron establecidas bajo diferentes distanciamientos 3 x 3 m, 4 x 4 m y 5 x 5 m (T0, T1 y T2, respectivamente) y el área de plantación presentó las características edáficas descritas en el Cuadro 2.

Durante el primer año de la plantación, los ejemplares estuvieron bajo manejo silvícola primordialmente de protección; el suelo de cada hoyo fue fertilizado al momento de la plantación con 10 g de la mezcla comercial "Nutriforest" (23 % de fósforo, 9 % de nitrógeno, 14 % de potasio, 4 % de magnesio y 0.1 % de boro) y no se aplicaron riegos.



Cuadro 2. Composición química del suelo de la zona Pico del Águila- Parque Nacional Nevado de Colima.
Table 2. Soil chemical composition of the Pico del Águila area - Nevado de Colima National Park.

Textura	pH	CE (dS m ⁻¹)	MO %	C.I.C (meq 100 g ⁻¹)	Nitrógeno total (mg g ⁻¹)
Arena migajonosa	5.88	0.04	6.5	19.67	1.34
Nitrógeno amoniacoal (mg kg ⁻¹)	Carbono orgánico total (%)	Potasio (meq 100 g ⁻¹)	Magnesio (meq 100 g ⁻¹)	Calcio (meq 100 g ⁻¹)	Sodio (meq 100 g ⁻¹)
40.0	7	0.47	0.65	0.65	0.28

Fuente: Delgado. (2012).
Source: Delgado. (2012).

Diseño experimental en campo

Se consideraron los tres tratamientos establecidos en vivero (T0, T1 y T2), los cuales se distribuyeron en un diseño en

Evaluation at the nursery

The evaluation (eight months after transplantation) of plant quality was conducted from growth variables. The variables were: height (cm), stem diameter at the base of the neck of the root (mm), volume of air and root portion (cm³) by water displacement (Harrington *et al.*, 1994), stem and root dry weight (g). With these data robustness index was calculated, the ratio air/root part, Dickson Index (Dickson *et al.*, 1960) and root index container (ICR) which is a ratio of the volume of the container (cm³) and the root volume (cm³).

In June 2011, plants were added to the field in the area called Pico del Águila (330 plants per treatment); these plantations were established under different spacings, 3 x 3 m, 4 x 4 m and 5 x 5 m (T0, T1 and T2, respectively) and the soil characteristics of the planting area are in Table 2.

During the first year of planting, the samples were under silvicultural management primarily of protection; the soil from each hole was fertilized at planting time with 10 g of the commercial mixture "Nutriforest" (23 % phosphorus, 9 % nitrogen 14 % potassium 4 % magnesium and 0.1 % boron) and irrigations were not.

Experimental design at the field

The three treatments set out in the nursery (T0, T1 and T2), which were distributed in a randomized complete block design with three replications per treatment (110 plants) were considered; the effect of distancing that occurred in each treatment, in order to evaluate its effect on survival in the first year after planting was blocked.

Field evaluation

The field evaluation was made after six and twelve months of having established the treatments (December 2011 and July

bloques completamente al azar con tres repeticiones por cada tratamiento (110 plantas); se bloqueó el efecto del distanciamiento que se dio en cada tratamiento, con la finalidad de evaluar su efecto en la supervivencia al primer año de su plantación.

Evaluación en campo

La evaluación en campo se llevó a los seis y doce meses de ser establecidos los tratamientos (diciembre de 2011 y julio de 2012), con un muestreo sistemático de 100 % a cada tratamiento se dividió en tres 3 sub-bloques.

Análisis estadístico

Los datos generados se capturaron y organizaron en el programa Excel de Microsoft 2007. Se realizó un análisis de varianza mediante el modelo unifactorial en el programa *Statgraphics Centurion XV.11 Versión 15.2.06*; así como previas pruebas de normalidad (CHI- cuadrada y Estadístico W de *Shapiro-Wilk*). A partir de las diferencias entre tratamientos ($P \leq 0.05$), se aplicó una comparación de medias con la prueba de Diferencia Mínima Significativa (LSD, por sus siglas en inglés), con un nivel de confianza de 95 %.

Resultados y Discusión

Variables morfológicas

Se obtuvo una relación directa entre las variables evaluadas, la calidad de planta y el volumen del contenedor. Las plantas del contenedor de cinco litros (T2) presentaron diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$) en el desarrollo de las variables morfológicas con excepción de la altura y el peso radicular en comparación con los demás tratamientos (Cuadro3).

Cuadro 3. Comparación de medias entre los tratamientos y *P*-valor del ANOVA de la altura, diámetro y biomasa de *Pinus hartwegii* Lindl. en el vivero temporal Pico del Águila.

Table 3. Comparison of media between treatments and the *P*-value of ANOVA in terms of height, diameter and biomass of *Pinus hartwegii* Lindl. in *Pico del Águila* temporary nursery.

Tratamientos	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Volumen de la parte aérea (cm ³)	Peso de la parte aérea(g)	Volumen radicular (cm ³)	Peso radicular (g)
T0	10.4 (0.6) ^a	7.8 (0.2) ^a	13.63 (1.1) ^a	3.98 (0.3) ^a	8.17 (0.7) ^a	2.63 (0.1) ^a
T1	12.53 (0.6) ^a	9.89 (0.4) ^b	26.07 (1.9) ^b	5.87(0.3) ^b	15.47(0.9) ^b	3.77(0.2) ^b
T2	16.11(0.9) ^b	11.36 (0.4) ^c	40.33 (2.2) ^c	8.31(0.4) ^c	18.87 (1.3) ^c	4.10 (0.2) ^b
ANOVA (gl = 2)	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*

T0 = Contenedor de 0.165 L; T1 = Contenedor de 1 L; T2 = Contenedor de 5 L; gl = Grados de libertad. Las medias seguidas por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí (n = 15, $P \leq 0.05$, LSD); * = Significancia con un nivel de confianza de 95 %.

T0 = 0.165 L container; T1 = 1 L container; T2= 5 L container; gl = Degrees of freedom. The means followed by the same letter in column do not significantly differ among them (n = 15, $P \leq 0.05$, LSD); (*) = Significance with a 95 % confidence level.

2012), with a systematic sampling of 100 %; each treatment was divided into three 3 sub-blocks.

Statistical Analysis

The generated data were captured and organized in the Microsoft Excel 2007 program. An analysis of variance following the unifactor model in the *Statgraphics Centurion XV.11 Version 2.15.06* program and normality preliminary tests (CHI- square and the *Shapiro- Wilk W*-test). As differences between treatments ($P \leq 0.05$) were observed, comparison of means by the Least Significant Difference (LSD), with a confidence level of 95 % was applied.

Results and Discussion

Morphological variables

A direct relationship was found among the assessed variables, plant quality and the container volume. The plants from the 5 L container (T2) showed a significant statistical difference ($P \leq 0.05$) in the development of the morphological variables except for height and root weight compared to the rest of the treatments (Table 3).

Results show that the size of the container (T2) has a positive influence on plant height (16.11 cm), because small plants with lower photosynthetic area have lower growth, while large plants with higher photosynthetic surface have a better aerial development. However, when selecting plant at the nursery, it is preferable to consider that they have the height according to their root volume, enabling it to adapt to field conditions and grow vigorously (Thompson, 1985; Prieto *et al.*, 1999).

Los resultados demuestran que el tamaño del contenedor (T2) influye positivamente sobre la altura de la planta (16.11 cm), debido a que plantas pequeñas con menor superficie fotosintética presentan menor crecimiento, mientras que plantas grandes con mayor superficie fotosintética tienen un mejor desarrollo aéreo. Sin embargo, al seleccionar la planta en vivero, es preferible considerar que tenga la altura acorde a su volumen radicular, que le permita adaptarse a las condiciones de campo y crecer vigorosamente (Thompson, 1985; Prieto *et al.*, 1999).

El diámetro de tallo del T2 fue mayor en relación a las plantas del T0 y T1. Aquellas con diámetros grandes tienden a desarrollar sistemas radicales mayores, lo cual produce plantas con mejor soporte y resistencia contra temperaturas extremas y proveen cantidades superiores de sustancias de reserva, por lo que sufren pocos daños por calor o sequía (Cleary *et al.*, 1978). Además Mexal y Landis (1990) señalan que individuos con diámetros entre 5 y 6 mm logran un porcentaje de supervivencia superior a 80 %.

Las plantas de contenedores más grandes (T2) registraron el volumen foliar (40.33 cm³) y el volumen radicular (18.87 cm³) más alto con respecto a los demás tratamientos (T0 y T1); por ello se considera que las que portan mayor volumen de raíces al momento de la plantación ofrecen porcentajes de supervivencia más prometedores y mejor crecimiento inicial en altura y diámetro que aquellas con un menor volumen después del primer año en campo, lo que concuerda con los resultados de Quiroz *et al.*, (2014). Además, las plantas establecidas en condiciones naturales dependen solo de las características de sus raíces y de su capacidad de absorción de agua y nutrientes del suelo y las que poseen raíces más poderosas son capaces de tolerar mejor el estrés al trasplante, debido a la eficiente conductividad hidráulica de tales estructuras (Ritchie, 2003; Quiroz *et al.*, 2014).

En estas condiciones, a medida que la temporada de crecimiento avanza, la temperatura del suelo disminuye, por lo tanto las plantas de más volumen radical presentaron mayor capacidad para la absorción de agua sobre aquellas con menor volumen, los cuales requieren de la aplicación de agua en la temporada de sequía. Por otra parte, la oferta de agua más grande también favorece el incremento en la supervivencia en especies con volumen de raíz más abundante, debido a que, le permite una mejor absorción y distribución de nutrimentos para su crecimiento (Rose *et al.*, 1991; Wenny *et al.*, 1998; Quiroz *et al.*, 2014).

Índices de calidad

Para el índice de relación parte aérea y raíz, la mejor calidad de planta de acuerdo con Thompson (1985), es aquella donde la distribución de su biomasa aérea y radical esta equilibrada, lo que garantiza una mayor supervivencia porque se evita

The stem diameter of T2 was greater in regard to T0 and T1 plants. Those with large diameters tend to develop larger root systems, which produce plants with better support, greater resistance to extreme temperatures and provide a larger amount of reserve substances, so they suffer less damage from heat or drought (Cleary *et al.*, 1978). In addition, Mexal and Landis (1990) point out that if plants have diameters between 5 and 6 mm, it is possible to achieve a higher survival rate up to 80 %.

The plants of larger containers (T2) showed the largest leaf (40.33 cm³) and root (18.87 cm³) volume relative to other treatments (T0 and T1); therefore, it is considered that individuals with a greater volume of roots at the time of planting offer promising survival rates and better initial growth in height and diameter than those with a lower volume after the first year in the field, which is consistent with the results of Quiroz *et al.* (2014). In addition, established plants under natural conditions depend only on the characteristics of their roots and their ability to absorb water and nutrients from the soil and those possessing more powerful roots are able to tolerate better transplant stress, due to the efficient hydraulic conductivity of such structures (Ritchie, 2003; Quiroz *et al.*, 2014).

Under these conditions, as the growth season goes forward, soil temperature gets lower, and thus, the plants that have larger root volume showed a greater ability for water absorption against those of smaller volume, which demands water in the drought season. On the other hand, the greater water offer also favors the increment in the survival in species with more abundant root volume, since, in addition, it allows a better absorption and distribution of nutrients for their growth (Rose *et al.*, 1991; Wenny *et al.*, 1998; Quiroz *et al.*, 2014).

Quality indexes

For the aerial part: root ration index, the best plant quality according to Thompson (1985) is that in which the distribution of its aerial and root biomass is in equilibrium, which guarantees a higher survival as it prevents that transpiration exceeds its water absorption capacity (May, 1984).

In this experiment, such index was of regular quality for the T2 treatment, since the aerial part increased more than the root part, from the effect of the container volume (Figure 1). In spite of it, in treatments T0 and T1 there was no statistical significant difference and they were the closest to the recommended value of 1.5 and 2 (Sáenz *et al.*, 2010). In this sense, it will be important to check if the use of this relation is really useful to assess the quality of plant for other Mexican pine species and thus to predict with certainty their survival at the field, when they are produced in larger volume containers.



que la transpiración de la planta exceda a su capacidad de absorción de agua (May, 1984).

En el presente trabajo, dicho índice resultó ser de regular calidad para el tratamiento T2, debido a que la parte área aumentó más que la parte radical, por efecto del volumen del contenedor (Figura 1). A pesar de ello, en los tratamientos T0 y T1 no se registró diferencia estadística significativa alguna y fueron los que estuvieron más cerca del valor recomendado de 1.5 a 2 (Sáenz *et al.*, 2010). Por lo anterior será importante verificar si el uso de esta relación es realmente útil para evaluar la calidad de planta para otras especies de pinos mexicanos y con ello predecir con certeza la supervivencia en campo, cuando su producción se realice en contenedores de mayor volumen.

De acuerdo con los resultados obtenidos para *P. hartwegii*, a medida que aumenta el tamaño del contenedor, el incremento del peso aéreo y peso radicular se manifestó de manera no proporcional a lo que se esperaba. Al respecto, los resultados de Pineda *et al.* (2004) concuerdan con los obtenidos en este estudio, ya que la producción en charola fue la que registró el valor más adecuado para dicha relación (1.8 L); por el contrario, para los tratamientos de charola- contenedor y charola-raíz desnuda sus valores fueron muy superiores a lo esperado (3.02 y 2.84, respectivamente).

El índice de robustez (IR) está asociado a una planta robusta y con tallo vigoroso, el cual deberá presentar un valor menor a 6 de acuerdo a Thompson (1985); por lo tanto, el índice resultó ser adecuado para la planta y la especie evaluada en los tratamientos del presente estudio (Figura 1), valores concordantes a los indicados por Sáenz *et al.* (2010).

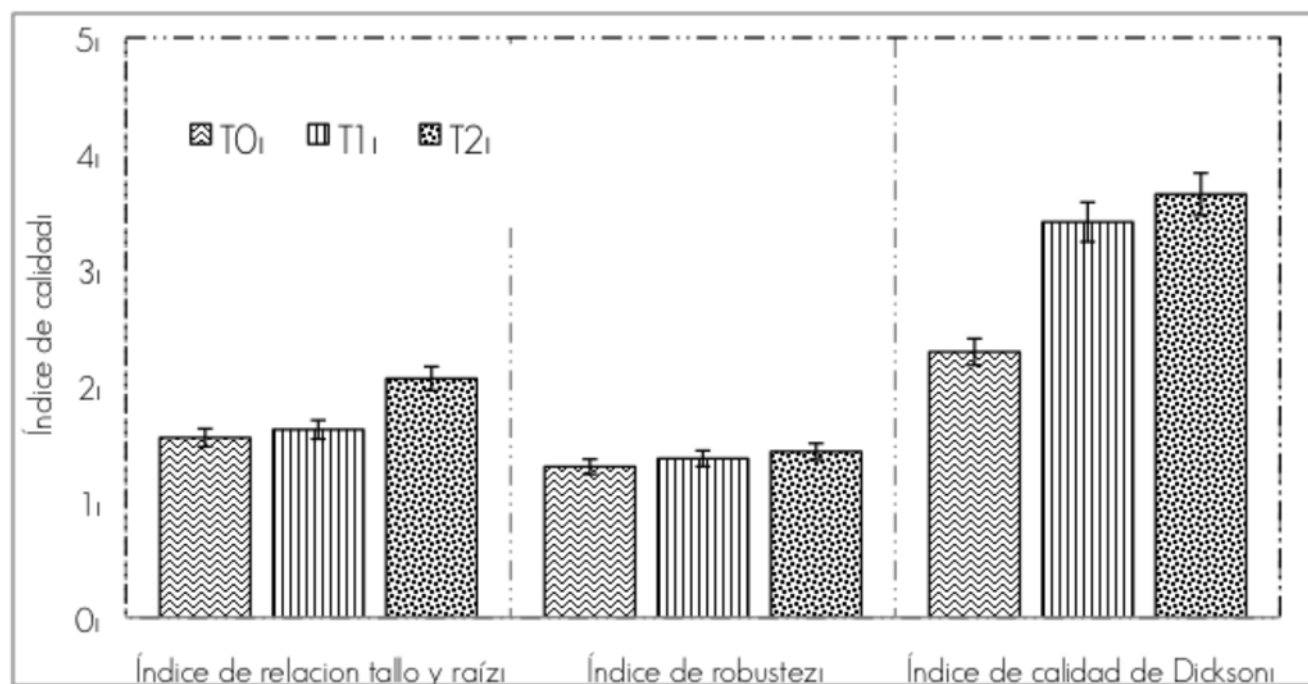
Según estos últimos autores, el Índice de Dickson (IQ) debe ser mayor a 0.5. Los datos del IQ en los tratamientos T1 y T2 no tuvieron diferencias significativas, pero sí los mejores valores comparados con T0 (Figura 1); por ello ese índice de calidad también se reveló como parámetro valioso para predecir la supervivencia en campo. Incluye los valores de las variables morfológicas más influyentes en la calidad de las plantas, lo que lo convierte en uno de los más importantes para definir la calidad de planta forestal en vivero (Thompson, 1985), y que ha sido reconocido por diversos autores para evaluar otras especies de pino y predecir su comportamiento futuro (Sánchez *et al.*, 2008; Maldonado *et al.*, 2011).

According to the results from *P. hartwegii*, as the size of the container becomes bigger, the increment in the aerial and root weight resulted non proportional as expected. In this sense, the results found by Pineda *et al.* (2004) coincide with those obtained in the actual study, since the tray production showed the most convenient number for this relation (1.8 L); conversely, for the tray-container treatment and tray-naked root treatment, their ciphers were much higher than those expected (3.02 and 2.84, respectively).

The robustness index (IR) is linked to a strong plant and a vigorous stem, which should have a value under 6 according to Thompson (1985); therefore, this index became right for the plant and assessed specie in the treatments of the actual study (Figure 1), values that agree with those reported by Sáenz *et al.* (2010).

Just as these latter authors stated, Dickson's Index (IQ) must be above 0.5. The IQ data of T1 and T2 treatments did not have significant differences, but did get the best values compared to T0 (Figure 1); therefore, this quality index also was revealed as a valuable parameter to predict survival at the field. It includes the values of the most influential morphological variables in plant quality, which make it one of the most important to define forest plant quality in the nursery (Thompson, 1985), and that has been recognized by other authors to assess different pine species and to predict their future behavior (Sánchez *et al.*, 2008; Maldonado *et al.*, 2011).





T0 = Contenedor de 0.165 L; T1 = Contenedor de 1 L; T2 = Contenedor de 5 L. Las medias seguidas por la misma letra dentro del mismo índice no difieren significativamente entre sí ($n=15$, $P \leq 0.05$, LSD).

T0 = 0.165 L container; T1 = 1 L container; T2 = 5 L container; gl = Degrees of freedom. The means followed by the same letter do not significantly differ among them ($n=15$, $P \leq 0.05$, LSD).

Figura 1. Comparación de medias entre los tratamientos sobre los Índices de calidad del *Pinus hartwegii* Lindl. en el vivero temporal Pico del Águila.

Figure 1. Comparison of means among treatments over the quality indexes of *Pinus hartwegii* Lindl. at Pico del Águila temporary nursery.

Índice de contenedor raíz (ICR) y porcentaje de supervivencia en campo

El ICR es una propuesta nueva obtenida en el presente trabajo. Este índice resulta del cociente entre el volumen del contenedor (cm^3) y el volumen radicular (cm^3), se reconoce que cuanto más alto sea su valor, se obtendrá mayor porcentaje de supervivencia en campo. Se fundamenta en el buen desarrollo de la raíz y su mejor distribución en el sustrato, a partir de una relación directa con el volumen del contenedor utilizado. Con los resultados del volumen del contenedor y el volumen de la raíz, se determinó un cociente que resultó ser un buen indicador de calidad de planta en vivero y asegura la supervivencia en campo de *P. hartwegii* para el sistema doble trasplante (Cuadro 4). El tratamiento T2 registró el mayor índice (284.64), con una diferencia significativa en referencia a T0 y T1, los cuales presentaron los mejores valores, que se relacionaron de manera directa con la supervivencia obtenida en campo a un año de su establecimiento; es decir las plantas del T2 registraron 96.07 % de supervivencia contra 9.7 % para las del T0.

Root container index (ICR) and percentage of survival at the field

ICR is a new proposal from the actual research. This index comes out of the quotient between the container volume (cm^3) and the root volume (cm^3); it recognizes that as far as values get higher, a greater percentage of survival at the field is got. It is based on the good development of the root and its better distribution in the substrate, from a direct relation with the volume in the container used. With the results of the container volume and the root volume, a quotient that was a good indicator of plant quality at the nursery and to guarantee the survival at the field of *Pinus hartwegii* for the double-transplant system was determined (Table 4). This index was established because T2 recorded the greatest index (284.64) with a significant difference in regard to treatments T0 and T1, which had the highest values and that relate directly with the survival in the field after one year of their establishment; that is, the plants of T2 had 96.07 % of survival against 9.7 % for those of T0.



Cuadro 4. Comparación de medias entre los tratamientos del índice de contenedor raíz (ICR) en plantas de *Pinus hartwegii* Lindl. producidas en el vivero temporal Pico del Águila.

Table 4. Comparison of means among the treatments of the root container index (ICR) in *Pinus hartwegii* Lindl. plants produced in Pico del Águila temporary nursery.

Tratamiento	Volumen de contenedor (cm ³)	Volumen radicular (cm ³)	Índice de contenedor raíz(ICR)
T0	165	8.17 (0.7) ^a	23.56 (2.9) ^a
T1	1000	15.47 (0.9) ^b	68.32 (4.3) ^b
T2	5000	18.87 (1.3) ^c	284.64 (20) ^c

T0 = Contenedor de 0.165 L; T1 = Contenedor de 1 L; T2=Contenedor de 5 L. Las medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente entre sí (n = 15, $P \leq 0.05$, LSD).

T0 = 0.165 L container; T1 = 1 L container; T2 = 5 L container; gl = Degrees of freedom. The means followed by the same letter do not significantly differ among them (n=15, $P \leq 0.05$, LSD).

Los parámetros descritos para la producción de plantas ayudan a tener un mejor manejo en vivero y facilitan la toma de decisiones de acuerdo al destino final de las plantaciones forestales: conservación o comerciales (Montoya y Cámara, 1996). Sin embargo, aunque los índices considerados en este trabajo son los más comunes (ITR, IR e IQ) para evaluar la calidad de planta en vivero, no se verificó una congruencia en la selección en vivero del tratamiento que tendrá mejor desempeño en campo. Por el contrario, el ICR resultó ser el índice más confiable que definió a los tratamientos con una diferencia estadística significativa; las correspondientes al T2 fueron las que mejor respondieron (Cuadro 5).

The described parameters for plant production help to have a better management at the nursery and facilitate decision making according to the last destination of forest conservation or commercial plantations (Montoya and Cámara, 1996). However, even though the indexes considered in this study are very common (ITR, IR and IQ) to assess plant quality at the nursery, there was found no congruence in the selection of the treatment which will have a better development at the field. Conversely, ICR was the most reliable index which defined a statistical significant difference to the treatments. The plants from T2 were those which reacted better (Table 5).

Cuadro 5. Evaluación de los tratamientos mediante los índices de calidad de *Pinus hartwegii* Lindl. en el vivero temporal Pico del Águila.

Table 5. Assessment of the treatments by quality index of *Pinus hartwegii* Lindl. in Pico del Águila temporary nursery

Tratamientos	Relación parte aérea y raíz (ITR)	Índice de robustez (IR)	Índice de Dickson (IQ)	Índice de contenedor raíz (ICR)
To	√	√	X	X
T1	√	√	√	X
T2	√	√	√	√

T0 = Contenedor de 0.165 L; T1 = Contenedor de 1 L; T2 = Contenedor de 5 L. Índice que califica los tratamiento como adecuados (√) e inadecuados (X) en la supervivencia en campo.

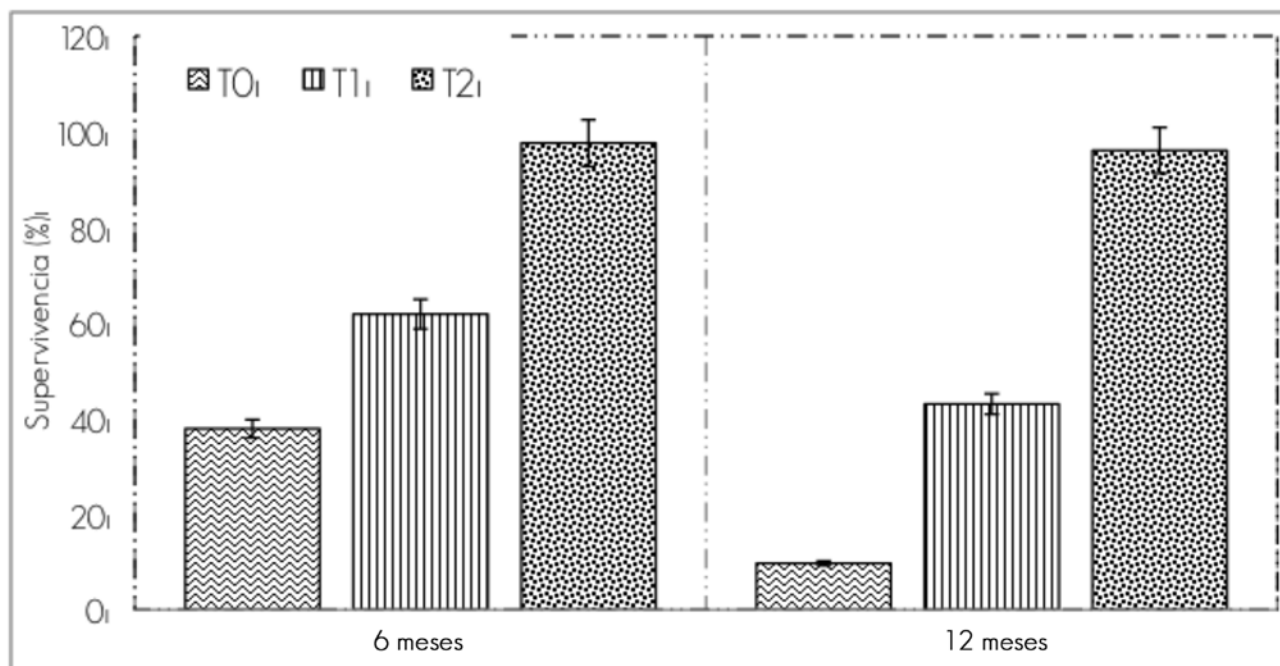
T0 = 0.165 L container; T1 = 1 L container; T2 = 5 L container. Index that grades the treatments as proper (√) and unsuitable (X) in survival at the field.

Después de 6 meses de haber sido incorporados a la plantación, los ejemplares de los tratamientos T1 y T2 mostraron un porcentaje de supervivencia aceptable con 61.83 y 97.6, respectivamente; sin embargo en las evaluaciones realizadas a los 12 meses disminuyeron hasta 43.03 y 96.07 %, mientras que el testigo (T0) llegó hasta 9.7 % (Figura 2). No obstante, se pudo advertir que las plantas del contenedor de mayor volumen (T2) lograron el porcentaje de supervivencia en campo más alto, en comparación con los de menor volumen (T0 y T1) en los que se registró un valor inferior con respecto a T2. En este sentido, Becerra *et al.*, (2013) recomiendan también el uso de contenedores

After six months of having been placed into the plantation, the samples of treatments T1 and T2 showed a rather good survival percentage with 61.83 and 97.6, respectively; however, in the assessments made after 12 months, they got lower, up to 43.03 and 96.07 %, while control (T0) reached 9.7 % (Figure 2). Nevertheless, it was possible to observe that the plants in the container of greatest volume (T2) accomplished the highest survival at the field, compared to those of less volume (T0 and T1) in which a lower value in regard to T2 was recorded. In this sense, Becerra *et al.* (2013) advise too, the use of containers over one liter for the cultivation of native forest plants in Mediterranean

mayores a un litro para el cultivo de plantas forestales nativas en ambientes mediterráneos. Los resultados demuestran que las plantas en contenedores de mayor volumen y cultivadas en el vivero temporal por ocho meses desarrollan elementos morfológicos más importantes, así como una mejor adaptación a las condiciones ambientales de los sitios de la plantación, que aquellas producidas en contenedores de menor volumen.

environments. These results show that the plants in containers of greater volume and cultivated in the temporary nursery for eight months, developed greater morphological as well as a better adaptation to environmental conditions of the plantation sites than those produced in smaller volume container.



T0 = 0.165 L container; T1 = 1 L container; T2 = 5 L container. The means followed by the same letter do not significantly differ among them ($n=15$, $P \leq 0.05$, LSD).

T0 = 0.165 L container; T1 = 1 L container; T2 = 5 L container. The means followed by the same letter do not significantly differ among them ($n=15$, $P \leq 0.05$, LSD).

Figura 2. Porcentaje de supervivencia de *Pinus hartwegii* Lindl. a los seis y 12 meses de plantadas en campo, bajo tres tratamientos.

Figure 2. Survival percentage of *Pinus hartwegii* Lindl. after six and 12 months of plantation at the field under three treatments.

Finalmente en la selección del contenedor, además de considerar su funcionalidad en el crecimiento de las plantas, también se deben tomar en cuenta los costos de producción. Sin embargo, en los programas de reforestación, es necesario revisar la relación del costo de aplicar un sistema de producción con doble trasplante para mejorar las características morfológicas y la aclimatación al sitio de reforestación, con el beneficio que esto aportaría al éxito de la plantación (Salcedo *et al.*, 2012).

Conclusiones

El volumen del contenedor es determinante en la calidad de planta en vivero, y ésta a su vez tiene una relación directamente proporcional con el porcentaje de supervivencia en campo.

En este trabajo, el índice que mejor define la calidad de planta en vivero y que también predice con mayor certeza la supervivencia en campo para *P. hartwegii* es el Índice

Finally, when selecting the container, in addition to their functionality in plant growth it must be considered as well, production costs. However, in reforestation programs, it is necessary to review the relation of the costs when applying a double transplant production system to improve the morphological characterization and acclimatization to the reforestation site, with the benefits that it brings to the success of the plantation (Salcedo *et al.*, 2012).

Conclusions

The container volume is mandatory in plant quality at the nursery, which, by itself, is directly proportional to the percentage of survival at the field.

In this study, the index that best defines plant quality at the nursery, and that even predicts with greater certainty the survival at the field of *P. hartwegii* is the Index of volume and root container (ICR).

El sistema de doble trasplante en contenedores de mayor volumen es un método que garantiza la mejor calidad de planta y el mayor porcentaje de supervivencia de *P. hartwegii* en el Nevado de Colima. 

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Rosario Marilú Bernaola-Paucar: responsable del trabajo experimental, redacción y corrección del escrito; Eulogio Pimienta Barrios: facilidades de laboratorio e infraestructura para evaluar los árboles y realización de sugerencias para mejorar el escrito; Porfirio Gutiérrez González: apoyo en los análisis estadísticos de los datos y en la redacción correspondiente a esta sección; Víctor Manuel Ordaz Chaparro: revisión del manuscrito y apoyo en las correcciones; Gelacio Alejo Santiago: colaboración en las determinaciones de minerales junto con la responsable del trabajo y en la revisión de la redacción correspondiente; Eduardo Salcedo Pérez: responsable de la propuesta de investigación, redacción y correcciones del escrito.

Agradecimientos

Se agradece al DAAD, a la dirección del patronato del Parque Nacional Volcán Nevado de Colima, al Departamento de Madera, Celulosa y Papel, al Laboratorio Forestal de la Universidad de Guadalajara y al Laboratorio de Física de Suelos del Colegio de Postgraduados, por el apoyo en la presente investigación.

Referencias

- Becerra, P. I., G. Cruz, R. Santiago and C. Giorgio. 2013. Importance of irrigation and plant size in the establishment success of different native species in a degraded ecosystem of central Chile. *Bosque* 34(1): 103-111.
- Bernaola P., R. M. 2012. Evaluación del sistema de doble trasplante de *Pinus hartwegii* para la restauración de suelos en el Parque Nacional Volcán Nevado de Colima. Tesis de Maestría. Departamento de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 99 p.
- Birchler, T., R. W. Rose, A. Royo y M. Pardos. 1998. La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales* 7(1-2): 110-121.
- Cleary, B., D. Greaves and K. Hermann. 1978. Regeneration of Oregon's Forest. A guide for regeneration forest. Oregon State University. School of Forestry. Corvallis, OR, USA. 242 p.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegida (Conanp). 2006. Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Volcán Nevado de Colima. Dirección General de Manejo para la Conservación Dirección Regional Occidente y Dirección Ejecutiva del Parque Nacional Volcán Nevado de Colima. México. Ciudad Guzmán, Jal., México. pp. 1-10.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2010. Evaluación externa de los apoyos de reforestación en México el 2009. Dirección General y Universidad Autónoma Chapingo. Ciudad, estado. México, D.F., México. 140 p.
- Cortina, J., R. M. Navarro y A. del Campo. 2006. Evaluación del éxito de la reintroducción de especies leñosas en ambientes mediterráneos. In: Cortina, J., J. L. Peñuelas, J. Puértolas, R. Savé y A. Villagrosa (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. 11-30.

The double transplant system in containers of greater volume is a method that guarantees the best plant quality and the greatest survival percentage of *P. hartwegii* in Nevado de Colima. 

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests.

Contribution by author

Rosario Marilú Bernaola-Paucar: responsible of the experimental work, writing and correction of the manuscript; Eulogio Pimienta Barrios: provider of the infrastructure and laboratory facilities to assess trees and application of suggestions to improve the document; Porfirio Gutiérrez González: statistical analysis and writing of the corresponding part of the manuscript; Víctor Manuel Ordaz Chaparro: review of the manuscript and collaboration in the application of its corrections; Gelacio Alejo Santiago: helping in the mineral determinations with the responsible of the actual work and in writing the corresponding section of the manuscript; Eduardo Salcedo Pérez: responsible of the original research project, and collaboration in the writing of the manuscript and corrections. investigación, redacción y correcciones del escrito.

Acknowledgements

The authors would like to thank the support provided by the DAAD, the administration of the *Parque Nacional Volcán Nevado de Colima* patronage, the *Departamento de Madera, Celulosa y Papel* (Department of Wood, Cellulose and Paper) and the *Laboratorio Forestal* (Forest Laboratory) of the *Universidad de Guadalajara* and to the *Laboratorio de Física de Suelos* (Soil Physics Laboratory) from *Colegio de Postgraduados*.

End of the English version

- Delgado R., I. E. 2012. Caracterización química preliminar de las reservas orgánicas edáficas en sitios con diferente uso de suelo en dos áreas forestales de Jalisco. Tesis de Maestría. Departamento de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. México. Guadalajara, Jal., México. 96 p.
- Dickson, A., A. L. Leaf and J. F. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. *Forest Chronicle* (36) 10-13.
- Dumroese, R., D. Landis and L. Wenny. 1998. Raising forest tree seedlings at home: Simple methods for growing conifers of the Pacific Northwest from seeds. Contribution number 860. Idaho Forest Wildlife and Range Experiment Station. Moscow, ID, USA. 54 p.
- Duryea, M.L. 1985. Evaluating seedling quality: Principles, procedures, and predictive abilities of major test. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR, USA. 143 p.
- Microsoft (2007). Excel 2007. Ver. 12. Microsoft Office. Redmond, WA, USA. s/p.
- Folk, R. S. and S. C. Grossnickle. 1997. Determining field performance potential with the use of limiting environmental conditions. *New Forests* 13: 121-138.
- Haase, D. L. and R. Rose. 1993. Soil moisture stress induces transplant shock in stored and unstored 2+0 Douglas-fir seedlings of varying root volumes. *Forest Science* 39: 275-294.
- Hahn, P.F. 1984. Plug+ 1 seedling production. In: Duryea, M. I. and T. D. Landis (eds.). Forest nursery manual: production of bareroot seedlings. *Forestry Sciences* 11: 165-181.
- Hahn, P. F. 1990. The Use of styroblock 1 & 2 containers for P+1 transplant stock production. In: Rose, R., S. J. Campbell and T. D. Landis (eds.). Target seedling symposium: Proceedings of the combined meeting of the Western forest nursery associations. USDA Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Roseburg, Oregon. Ft. Collins, CO, USA. Gen. Tech. Rep. RM-200. pp. 223-230.

- Harrington, J. T., J. G. Mexal and J. T. Fisher. 1994. Volume displacement provides a quick and accurate way to quantify new root production. *Tree Planters Notes*. Num. 3: 121-124.
- Hess, L. and H. De Kroon. 2007. Effects of rooting volume and nutrient availability as an alternative explanation for root self/non-self discrimination. *Journal of Ecology* 95: 241-251.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). 1999. Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana. México, D.F., México. pp. 1-19.
- Johnson, J. D. and M. L. Cline. 1991. Seedling quality of southern pines. In: Duryea, M. L. and P. M. Dougherty (eds.) *Forest regeneration manual*. Forestry Sciences 36: 143-159.
- Landis, T. D., R. K. Dumroese and D. L. Haase. 2010. The container tree nursery manual. Vol. 7. Seedling processing, storage, and outplanting. USDA Forest Service. Washington, DC, USA. Agriculture Handbook 674. 200 p.
- Maldonado, B., A. Arnulfo, U. López, H. Vaquera y A. Cetina. 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego en vivero. *Agrociencia* 45: 389-398.
- May, J. T. 1984. Seedling quality, grading, culling and counting. In: May, J. T., W. Belcher, C. E. Cordell, T. H. Filer D. South and C. W. Lantz (eds.). *Southern pine nursery handbook*. USDA Forest Service. Southern Region. Atlanta, GA, USA. pp. 83-97.
- Mexal, J. and Landis, T. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: Rose, R., S. J. Campbell and T. D. Landis (eds.). *Target seedling symposium: Proceedings of the combined meeting of the Western forest nursery associations*. USDA Forest Service. Roseburg, OR, USA. GTR: RM-200. pp. 17-34.
- Montoya, O. y O. Cámara. 1996. La planta y el vivero forestal. Mundi-Prensa. Barcelona, España. 127 p.
- Murillo, O. y P. Camacho. 1997. Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas. *Agronomía Costarricense* 21(2): 189-206.
- NeSmith, D. and J. Duval. 1998. The effect of container size. *Hort Technology* 8: 495-498.
- Owston, P. 1990. Target seedling specifications: Are stock type designations useful. In: Rose, R., S. J. Campbell and T. D. Landis (eds.). *Proceedings, Western Forest Nursery Association*. USDA Forest Service Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Roseburg, OR, USA. Gen. Tech. Rep. RM-200. pp. 9-16.
- Pineda O., T., V. M. Cetina A., J. A. Vera C., C. T. Cervantes M. y A. Khalil G. 2004. El trasplante contenedor-contenedor (1+1) y contenedor-raíz desnuda (P+1) en la producción de planta de *Pinus greggii* Engelm. *Agrociencia* 38: 679-686.
- Prieto R., J. A., G. Vera C. y E. Merlín B. 1999. Factores que influyen en la calidad de plantas y criterios para su evaluación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México, D. F., México. Folleto Técnico Núm. 12. 23 p.
- Quiroz, I., M. Pincheira, J. Hernández, M. González, E. García y H. Soto. 2014. Efecto del volumen radicular sobre el crecimiento de *Acacia dealbata* Link. en vivero y en terreno en el secano de la región del Biobío, Chile. *Revista Árvore* 38 (1): 55-164.
- Ritchie, G. A. 1983. Effect of freezer storage on bud dormancy release in Douglas-fir seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 14: 186-190.
- Ritchie, G. A. 2003. Root physiology and phenology: The key to transplanting success. In: Riley, L. E., R. K. Dumroese and T. D. Landis (coords.). *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations—2002*. USDA Forest Service Rocky Mountain Research Station Ogden, UT, USA. pp. 98-104.
- Rose, R. D., J. Gleason, M. Atkinson and T. Sabin. 1991. Grading ponderosa pine seedlings for outplanting according to their root volume. *Journal of Applied Forestry* 6: 11-15.
- Sáenz R., J. T., F. J. Villaseñor R., H. J. Muñoz F., A. Rueda S. y J. A. Prieto R. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich., México. Folleto Técnico Núm. 17. 48 p.
- Salcedo P., E., R. M. Bernalola P., E. Hernández A., F. López D. T. y J. Villa C. 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 P., E., E. Hernández A., J. A. Vázquez G., T. Escoto G. y N. Díaz E. (eds.) *Recursos forestales en el occidente de México. Diversidad, manejo, producción, aprovechamiento y conservación*. Amaya Ediciones Guadalajara, Jal., México. pp. 226-243.
- Sánchez C., T., A. Aldrete, V. M. Cetina A. y J. López U. 2008. Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques* 14(2):41-49.
- South, D. B. 2000. Planting morphologically improved pine seedlings to increase survival and growth. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University. Auburn, AL, USA. Forestry and Wildlife Research Series Num. 1. 12 p.
- Statgraphics Centurion. 2010. Statgraphics Centurion. XV.II Version 15.2.06. Statpoint Technologies Inc. Warrenton, VA, USA. s/p.
- Thompson, B. 1985. Seedling morphological evaluation- what you can tell by looking. In: Duryea, M. L. (eds.). *Proceedings: Evaluation seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of mayor test*. Oregon State University. Corvallis, OR, USA. pp. 59-71.
- Wenny, D. L., Y. Liu, R. K. Dumroese and H. L. Osborne. 1998. First year field growth of chemically root pruned containerized seedlings. *New Forest* 2 (2): 111-118.



