

INFLUENCIA DEL TIPO Y COLOR DE ENVASE EN EL DESARROLLO DE PLANTAS DE PINO EN VIVERO

INFLUENCE OF CONTAINER TYPE AND COLOR ON SEEDLING GROWTH OF PINE IN NURSERY

Hotón Sánchez-Aguilar¹, Arnulfo Aldrete^{1*}, Jesús Vargas-Hernández², Víctor Ordaz-Chaparro³

¹Postgrado Forestal, ³Postgrado en Edafología, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, km 36.5 carretera México-Texcoco. 56230. Montecillo, Texcoco, México. ²COMERGE A. C. Calle Nacional No. 25. 56208. San Miguel Tocuila, Texcoco, México.

RESUMEN

En el sistema de producción de planta con raíz cubierta, las características del envase son importantes porque pueden influir en la morfología y calidad de la planta, principalmente las características de la raíz. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del diseño (envase con y sin drenaje lateral) y color del contenedor (negro, transparente y blanco) en el crecimiento y desarrollo de plantas de *Pinus greggii* y *P. oaxacana*. El diseño experimental fue completamente al azar y con un arreglo factorial para el diseño de drenaje y color del envase. La evaluación de la planta se realizó con variables morfológicas: altura y diámetro del tallo, peso seco aéreo y radical, número de raíces vivas y volumen de la raíz; y además los índices de calidad: esbeltez, fibrosidad de la raíz, relación vástago/raíz, y de calidad de Dickson (ICD). Para color se encontraron diferencias significativas en el diámetro de *P. greggii*, y en ICD de *P. oaxacana*; en diseño, el envase sin drenaje lateral produjo plantas más altas ($p=0.002$), y diámetro del tallo ($p=0.015$), biomasa total ($p\leq 0.001$) y volumen de raíz ($p=0.002$) de *P. oaxacana*. Un comportamiento similar se obtuvo en *P. greggii* en estas variables; en cambio, el envase de drenaje lateral ocasionó un número mayor de raíces vivas en *P. greggii* (220.3 y 167.2; $p=0.002$), y *P. oaxacana* (372.8 y 246.5; $p=0.006$). Esta variable es importante pues tiene relación con los meristemos radicales activos, los cuales dan una probabilidad mayor de establecimiento de la planta en diferentes condiciones de sitio.

Palabras clave: Crecimiento potencial de la raíz, calidad de la planta, diseño de envase, atributos morfológicos, *Pinus greggii*, *Pinus oaxacana*.

ABSTRACT

In a covered root seedling production system, container characteristics are important because they can affect morphology and seedling quality, mainly root characteristics. The objective of this study was to evaluate the effect of container design (with and without lateral drainage) and color (black, transparent and white) on growth and development of *Pinus greggii* and *P. oaxacana* seedlings. The experimental design was completely randomized with a factorial array for drainage design and container color. Seedling evaluation assessed morphological variables: stem height and diameter, dry shoot and root weight, number of live roots, shoot/root ratio, and Dickson Quality Index (DQI). For color, significant differences were found in *P. greggii* stem diameter and in DQI in *P. oaxacana*; for the factor design, the container without lateral drainage produced taller plants ($p=0.002$) with larger stem diameter ($p=0.015$), as well as more total biomass ($p\leq 0.001$) and root volume ($p=0.002$) in *P. oaxacana*. Similar behavior was obtained in *P. greggii* for these variables, but the container with lateral drainage caused a larger number of live roots in *P. greggii* (220.3 and 167.2; $p=0.002$), and in *P. oaxacana* (372.8 and 246.5; $p=0.006$). This variable is important since it is related to active radical meristems, which give the seedlings a higher probability of successful establishment in different site conditions.

Key words: Root growth potential, seedling quality, container design, morphological attributes, *Pinus greggii*, *Pinus oaxacana*.

INTRODUCTION

Current demand for forest seedlings to establish commercial plantations and reforestation is constantly increasing. According to the Comisión Nacional Forestal (2014), in the recent

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: junio, 2014. Aprobado: octubre, 2015.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 50: 481-492. 2016.

INTRODUCCIÓN

La demanda actual de plantas forestales para establecer plantaciones comerciales y reforestaciones está en constante aumento. Según la Comisión Nacional Forestal (2014), en los cinco años recientes la producción anual fue más de 200 millones de plantas en sus programas de plantaciones forestales y reforestaciones. Lo anterior implica desarrollar e innovar sistemas nuevos de producción para satisfacer la demanda, reducir el tiempo de la planta en vivero, optimizar los insumos de producción y favorecer los estándares de calidad.

El concepto de calidad de la planta tiene enfoques diferentes y algunos investigadores la centran en la producción de planta en vivero (Ortega *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2011). Con esta perspectiva, la calidad de la planta es el conjunto de propiedades morfológicas y fisiológicas que la planta debe tener para lograr su establecimiento, supervivencia y crecimiento exitoso en campo e incremento inicial en altura y diámetro. La calidad es un concepto que además de considerar las características apropiadas de la planta en el vivero, considera los atributos con repercusión directa en el establecimiento de las plantaciones forestales, en función de las condiciones del sitio de la plantación (Rodríguez y Duryea, 2003; Palacios *et al.*, 2009; Grossnickle, 2012).

En los esquemas de producción en vivero es común producir planta con cepellón, por lo cual hay contenedores diversos en el mercado. El diseño del contenedor y el material de fabricación define una serie de variables en el cultivo: dimensiones de la planta, formación del sistema radical (arquitectura de la raíz), número de plantas a cultivar por unidad de superficie, cantidad de sustrato a utilizar y especies a producir. El volumen y el diseño del envase son las variables con mayor impacto en el tamaño de la planta en vivero; en particular para la conformación estructural del sistema radical, y por consiguiente, de la supervivencia en campo (Jacobs *et al.*, 2005; Prieto *et al.*, 2006; Grossnickle, 2012).

En México se han evaluado distintos tipos de envase en la producción forestal y no hay un diseño único, debido a las diferencias en el hábito de crecimiento de cada especie, el esquema de producción y las características edáficas y climáticas del sitio de plantación. Por lo tanto, el contenedor más apropiado depende de los objetivos del vivero, la especie, y el

five years, its programs of forest plantations and reforestation used an annual production of more than 200 million seedlings. This growing demand requires development and innovation of new production systems to meet the demand, reduce time of seedlings in the nursery, optimize production inputs and favor quality standards.

The concept of seedling quality has different approaches, and some researchers focus on seedling production in the nursery (Ortega *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2011). From this perspective, seedling quality is a set of morphological and physiological properties that the seedling must have to achieve establishment, survival and successful growth in the field, and initial increase in height and diameter. The quality is a concept that, besides considering appropriate characteristics of the seedling in the nursery, it considers the attributes that have direct repercussions on establishment of forest plantations, in function of site conditions of the plantation (Rodríguez and Duryea, 2003; Palacios *et al.*, 2009; Grossnickle, 2012).

In nursery production schemes, it is common to produce seedlings with root balls, which leads to offer diverse containers in the market. Container design and the material with which it is manufactured define a series of culture variables: seedling dimensions, formation of the radical system (root architecture), number of seedlings to cultivate per unit of area, amount of substrate to use and species to produce. The volume and design of the container are the variables that have greatest impact on the size of the seedling in the nursery, particularly on the structural conformation of the root system and, consequently, on survival in the field (Jacobs *et al.*, 2005; Prieto *et al.*, 2006; Grossnickle, 2012).

In Mexico, different types of containers for forest seedling production have been tested, but there is no single design because of the differences in growth habit of each species, production schemes, and soil and climate characteristics of the plantation site. Therefore, the most appropriate container depends on the objectives of the nursery, the species, and the production system, as well as site characteristics (Prieto *et al.*, 2006). Moreover, the color of the container has an important function in regions where temperatures are high and the use of colors that reflect solar radiation will minimize its effects.

sistema de producción, así como de las características del sitio (Prieto *et al.*, 2006). Además, el color del envase tiene una función importante en las regiones con temperaturas altas, donde el uso de colores que reflejen la radiación solar minimizaría los efectos provocados por la misma.

En este contexto, se evaluó la producción de planta forestal de *Pinus greggii* Engelm y *P. oaxacana* Mirov, en envases individuales de color blanco, negro y transparente, y diseño de drenaje típico y lateral. El objetivo fue evaluar el impacto del color de envase y el tipo de drenaje en la calidad de la planta. La hipótesis fue que la planta producida en envases con diseño de drenaje lateral tendría un sistema radical fibroso, con más raíces vivas, en comparación con aquellos de drenaje típico; además, no habría diferencia en el desarrollo de raíces en los tres colores de envases evaluados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las plantas de ambas especies se produjeron en envases individuales (220 mL) y con el mismo sustrato: turba de musgo (50 %), corteza de pino compostada (20 %), perlita (20 %) y vermiculita (10 %). Además, se adicionó fertilizante de liberación lenta de ocho a nueve meses (Osmocote Plus® formulación 15-9-12 de N-P-K), a una dosis de 7 g L⁻¹. La permanencia de la planta en el envase fue diferente para cada especie, y se hizo con base al tiempo requerido para que las plantas alcanzaran el tamaño adecuado, el cual y por sus hábitos de crecimiento, fue seis meses en *P. greggii* y ocho meses en *P. oaxacana*.

La producción de plantas se realizó en el Vivero Forestal del Postgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Estado de México, ubicado en 19° 29' N y 98° 54' O, a una altitud de 2240 m. El clima es tipo C (Wo) (w) b (1) g' que es templado subhúmedo con lluvias en verano, con precipitación media anual de 750 mm y temperatura media anual de 15.5 °C, y oscilación térmica de 5 a 7 °C (García, 1973).

El manejo de la planta en vivero fue riegos ligeros diarios durante la germinación y la primera etapa de desarrollo (seis semanas); riegos a saturación cada 2 d, durante la etapa de crecimiento rápido, y riegos ligeros cada 3 d, en el periodo de endurecimiento de la planta. Fertilizaciones complementarias con productos solubles (Peters Professional®) se aplicaron en el agua de riego una vez por semana. En la etapa de crecimiento rápido se usó la formulación 20-20-20 (N-P-K) y en la de endurecimiento 4-25-35 en dosis de 70 y 40 ppm, respectivamente.

In this context, the production of *Pinus greggii* Engelm. and *P. oaxacana* Mirov forest seedlings was evaluated in individual white, black and transparent containers, which had typical drainage design or lateral drainage. The objective was to evaluate the impact of container color, and the type of drainage on seedling quality. The hypothesis was that the seedling produced in containers with lateral drainage design would have a fibrous root system with more live roots, compared with those with typical drainage. Moreover, there would be no differences in terms of root development in the three colors of containers evaluated.

MATERIALS AND METHODS

Seedlings of both species were produced in individual containers (220 mL) and with the same substrate: peat moss (50 %), composted pine bark (20 %), perlite (20 %) and vermiculite (10 %). Eight-to-nine-month slow release fertilizer (Osmocote Plus™ formula 15-9-12 N-P-K) was also added at a dosage of 7 g L⁻¹. Seedling permanence in the container was different for the two species, based on the time required for the seedlings to reach a suitable size, depending on their growth habits. For *P. greggii*, this time was six months, and for *P. oaxacana* it was eight months.

Seedlings were produced in the Forest Nursery of the Graduate Program in Forest Science of the Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, located at 19° 29' N and 98° 54' W, at an altitude of 2240 m. Climate type is C (Wo) (w) b (1) g', corresponding to temperate subhumid climate with summer rains, a mean annual rainfall of 750 mm and mean annual temperature of 15.5 °C, whose thermal oscillation is 5 to 7 °C (García, 1973).

Seedling management in the nursery was light daily watering during germination and the first stage of development (six weeks), irrigation to saturation every other day during the stage of rapid growth and light daily watering every three days during the period of seedling hardening. Complementary fertilization with soluble products (Peters Professional™) was applied in the irrigation water once a week. During the rapid growth stage, the formula 20-20-20 (N-P-K) was used, and during the hardening stage 4-25-35 in dosages of 70 and 40 ppm, respectively.

Each species was evaluated independently with a completely randomized experimental design and factorial array for drainage design and container color. The design included two levels grouped by containers with typical drainage (holes at the bottom of the container) and containers with lateral drainage,

Cada especie se evaluó aparte, con un diseño experimental completamente al azar y un arreglo factorial para el diseño de drenaje y color del envase. El diseño incluyó dos niveles, agrupados por envases con drenaje típico (aberturas en el fondo del envase) y envases con drenaje lateral que incluyó las mismas aberturas en el fondo y, además, tres aberturas de 5 mm de ancho circundantes en las paredes laterales (Figura 1). El color del envase fue blanco, negro y transparente. La combinación de los dos factores dio seis tipos de envases (tratamientos) usados en el experimento en invernadero (Figura 1). La unidad experimental tenía rejillas de 25 plantas, con cinco cinco repeticiones para cada tipo de envase en cada especie.

La evaluación de la planta se realizó cuando tenían seis (*P. greggii*) y ocho (*P. oaxacana*) meses después de la siembra. Para cada tipo de envase se usó una muestra de 12 plantas, ubicadas en la parte central de cada unidad experimental sin considerar plantas del bordo, para evitar efectos de orilla. En la evaluación se midió la altura y el diámetro del tallo en el cuello de la raíz. Para evitar daños a la parte aérea y raíz, cada planta se extrajo del envase con cuidado, se eliminó el sustrato con agua corriente y se evitó la pérdida de raíces en el proceso.

La raíz se separó del follaje con un corte en el cuello de la raíz. El volumen del sistema radical se midió con un método basado en el Principio de Arquímedes (Landis *et al.*, 2010); se eliminó el exceso de agua con papel absorbente y se empaquetaron por separado ambas partes en bolsas de papel identificadas. El peso seco de las muestras se determinó después de secarlas en horno 72 h a 70 °C. Con los datos se calculó el índice de fibrosidad (relación del volumen de raíz entre el peso seco de raíz), el índice de esbeltez (relación entre la altura de la planta y el diámetro), la relación entre pesos seco de la parte aérea y la raíz, y el índice de calidad de Dickson (ICD), con la ecuación 1:

$$ICD = \frac{\text{peso seco total (g)}}{\frac{\text{altura (cm)}}{\text{diámetro (mm)}} + \frac{\text{peso seco aéreo (g)}}{\text{peso seco radical (g)}}} \quad (1)$$

La medición del potencial de crecimiento radical (PCR) se realizó en 15 plantas en cada tipo de envase. Esta prueba fue para identificar las raíces vivas de la planta al final de la fase de vivero. Para este proceso se lavó el sustrato del cepellón, se contaron las raíces vivas mayores a 1 cm de longitud, de color blanco, y se cortaron manualmente del sistema radical. Las plantas se trasplantaron a macetas de 10 L con una mezcla de corteza de pino compostada (70 %) y perlita (30 %), y se establecieron cinco plantas por tipo de envase (submuestras de cinco plantas con tres repeticiones). El PCR se evaluó a los 28 d de su establecimiento y consistió en medir las raíces nuevas emitidas, que se identificaron por el color blanco y longitud mayor a 1 cm; y se obtuvo la longitud acumulada y el peso seco de las raíces nuevas



Figura 1. Nomenclatura de tratamientos usados en los factores (color y diseño de envase).

Figure 1. Nomenclature of treatments used in the factors (container color and design).

which included the same holes on the bottom as well as 5 mm diameter circular holes in the lateral walls (Figure 1). The colors of the containers were white, black and transparent. The combination of the two factors resulted in six container types (treatments) used in the greenhouse experiment (Figure 1). The experimental unit comprised a rack containing 25 seedlings; each type of container with each species was replicated five times.

Seedlings were evaluated six (*P. greggii*) and eight (*P. oaxacana*) months after sowing. For each type of container, a sample of 12 seedlings located in the central part of each experimental unit was used, disregarding the seedlings on the edges to avoid edge effects. In the evaluation, height and stem diameter at the root neck were measured. To avoid damage to the shoot and root, each seedling was extracted from the container carefully, the substrate was eliminated with running water and loss of roots was avoided during the process.

The root was separated from the foliage by cutting at the root neck. The volume of the radical system was measured using a method based on the Archimedes Principle (Landis *et al.*, 2010). Excess water was then eliminated with absorbent paper and packed separately in paper bags labeled. Dry weight of the samples was determined after drying in an oven for 72 h at 70 °C. With these data, the woodiness index (ratio of root volume over root dry weight), sturdiness quotient (ratio between seedling height and diameter), ratio between shoot dry weight and root dry weight (shoot/root ratio), and the Dickson quality index (DQI) were calculated with equation 1:

por planta. Estas variables permitieron evaluar la capacidad del árbol para emitir nuevas raíces.

El análisis de los datos se realizó mediante un ANDEVA de dos factores (diseño de drenaje y color de envase) en cada especie. Las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para contrastar las diferencias en los valores de las variables morfológicas y de crecimiento potencial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estándares morfológicos de calidad de planta

En el análisis de varianza se examinaron las especies separadas, por las diferencias en las características morfológicas que se atribuyen al hábito de crecimiento de la planta en el vivero.

En *P. greggii* hubo diferencias significativas en el diámetro por el factor color, y en altura, diámetro y biomasa radical por el diseño de drenaje (Cuadro 1). La interacción color por diseño no fue significativa para las variables (datos no mostrados).

En el análisis de varianza de *P. oaxacana*, en color de envase, solo hubo diferencias en el ICD. Para el factor diseño de drenaje hubo diferencias significativas para todas las variables morfológicas y en el ICD (Cuadro 2). En la interacción de factores (color por diseño), no hubo efecto significativo (datos no mostrados).

Las variables de ICD de planta (fibrosidad de la raíz; índice de esbeltez y relación parte aérea/raíz) no tuvieron diferencias significativas en los factores color y diseño de envase (Cuadros 1 y 2). En cambio, el ICD muestra diferencias significativas en *P. oaxacana* para ambos factores. Pero incluso en las diferencias en las variables morfológicas, los resultados están dentro de los estándares de calidad de la normatividad mexicana (CONAFOR, 2014). El análisis morfológico indicó que es indistinto el color del envase, en la producción de planta forestal. La decisión de utilizar uno u otro está influida por el factor diseño, más que por el color de contenedor.

Un aspecto de análisis sobre el efecto del color del envase tiene que ver directamente con la alteración de la temperatura del sustrato, lo cual influye en el desarrollo de la raíz durante la etapa de crecimiento de la planta en el vivero (Landis *et al.*, 1990). Las consecuencias de este fenómeno son críticas en viveros ubicados en regiones con temperaturas altas ($>35^\circ\text{C}$), donde las propiedades de absorción y conducción

$$DQI = \frac{\text{dry weight total (g)}}{\frac{\text{height (cm)}}{\text{diameter (mm)}} + \frac{\text{shoot dry weight (g)}}{\text{root dry weight (g)}}} \quad (1)$$

Root growth potential (RGP) was measured in 15 seedlings in each type of container. The test consisted of identifying the seedling's live roots at the end of the nursery phase. For this process, the substrate was washed from the root ball and live white roots longer than 1 cm were counted and cut from the radical system manually. Five seedlings per container type (subsamples of five seedlings with three replications) were then transplanted to 10 L pots with a mixture of composted pine bark (79 %) and perlite (30 %). RGP was assessed 28 d after establishment. This consisted of measuring newly emitted roots, which were identified by their white color and length of more than 1 cm. Accumulated length and dry weight of new roots per seedling were obtained. These variables permitted evaluation of the tree's capacity to emit new roots.

Data of each species were analyzed with a two-factor ANOVA (drainage design and container color). Means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$) to contrast the differences in the values of morphological variables and growth potential.

RESULTS AND DISCUSSION

Seedling quality morphological standards

In the analysis of variance, the species were examined separately because of the differences in morphological characteristics that are attributed to the seedlings' growth habit in the nursery.

In *P. greggii* significant differences in diameter were found for the color, and for the drainage factor, differences were found in height, diameter and root biomass (Table 1). There were no significant differences in any variable by effect of the interaction color $\times$ design (data not shown).

The analysis of variance of *P. oaxacana* container color revealed differences only in DQI. For the factor drainage design, there were significant differences in all the morphological variables and in DQI (Table 2). The interaction of factors (color $\times$ design) had no significant effect (data not shown).

The seedling DQI variables (root fibrosity, sturdiness quotient and shoot/root ratio) were not significantly different by effect of the factors color and container design (Tables 1 and 2). In contrast, *P. oaxacana* exhibited significant differences in

Cuadro 1. Comparación de medias ($p \leq 0.05$) para los factores y variables en planta de *Pinus greggii* al final de la etapa de vivero.
Table 1. Comparison of means ($p \leq 0.05$) for factors and variables in *Pinus greggii* seedlings in the final nursery stage.

Factor	Altura (cm)	Diám. (mm) [†]	Biomasa (g)			Vol. raíz (cm ³) [†]	Fib. [†]	I. de esbeltez [†]	Rel. PA/R [†]	ICD [†]
			Aérea	Raíz	Total					
Factor color de envase										
Negro	26.68 a	3.83 b	2.93 a	0.72 a	3.65 a	5.57 a	7.80 a	6.96 a	4.08 a	0.33 a
Transp. [†]	28.03 a	4.06 ab	3.25 a	0.77 a	4.02 a	5.81 a	7.70 a	6.91 a	4.25 a	0.36 a
Blanco	27.97 a	4.14 a	3.22 a	0.77 a	3.99 a	5.59 a	7.32 a	6.74 a	4.20 a	0.36 a
Factor diseño de drenaje										
S. A. [†]	28.43 a	4.10 a	3.31 a	0.79 a	4.11 a	5.85 a	7.41 a	6.93 a	4.18 a	0.37 a
C. A. [†]	26.70 b	3.92 b	2.96 a	0.71 b	3.66 a	5.47 a	7.80 a	6.81 a	4.18 a	0.33 a

[†]Diám.: Diámetro del cuello de la raíz; Vol.: Volumen del sistema radical; Fib.: Fibrosidad de la raíz; I. de esbeltez: Índice de esbeltez; Rel. PA/R: relación parte aérea/raíz; ICD: índice de calidad de Dickson; Transp: Transparente; S. A.: Sin aberturas laterales; C. A.: Con aberturas laterales ♦ [†]Diám.: Root collar diameter; Vol.: Volume of root system; Fib.: Root fibrosity; I. de esbeltez: Sturdiness quotient; Rel. PA/R: Shoot/root ratio; ICD: Dickson quality index; Transp: Transparent; S. A.: Without lateral drainage holes; C. A.: With lateral drainage.

Cuadro 2. Comparación de medias ($p \leq 0.05$) para los factores y variables en las plantas de vivero de *Pinus oaxacana*.
Table 2. Comparison of means ($p \leq 0.05$) for factors and variables in *Pinus oaxacana* nursery seedlings.

Factor	Altura (cm)	Diám. [†] (mm)	Biomasa (g)			Vol. raíz (cm ³) [†]	Fib. [†]	I. de esbeltez [†]	Rel. PA/R [†]	ICD [†]
			Aérea	Raíz	Total					
Factor color de envase										
Negro	24.77 a	5.93 a	7.05 a	1.85 a	8.90 a	9.50 a	5.06 a	4.21 a	3.91 a	1.10 b
Transp. [†]	24.95 a	6.21 a	7.09 a	1.81 a	8.90 a	8.55 a	4.68 a	4.02 a	3.93 a	1.12 ab
Blanco	24.38 a	6.56 a	7.58 a	1.95 a	9.53 a	9.64 a	4.97 a	3.72 a	3.93 a	1.25 a
Factor diseño de drenaje										
S. A. [†]	25.73 a	6.52 a	8.31 a	2.17 a	10.48 a	11.02 a	5.03 a	3.97 a	3.88 a	1.34 a
C. A. [†]	23.67 b	5.95 b	6.17 b	1.57 b	7.73 b	7.44 b	4.78 a	4.00 a	3.97 a	0.97 b

[†]Diám.: Diámetro del cuello de la raíz; Vol.: Volumen del sistema radical; Fib.: Fibrosidad de la raíz; I. de esbeltez: Índice de esbeltez; Relación PA/R: relación parte aérea/raíz; ICD: índice de calidad de Dickson; Transp.: Transparente; S. A.: Sin aberturas laterales; C. A.: Con aberturas laterales ♦ [†]Diám.: Root collar diameter; Vol.: Volume of root system; Fib.: Root fibrosity; I. de esbeltez: Sturdiness quotient; Rel. PA/R: Shoot/root ratio; ICD: Dickson quality index; Transp: Transparent; S. A.: Without lateral drainage holes; C. A.: With lateral drainage.

del calor en el envase son importantes (Landis *et al.*, 1990). Temperaturas elevadas en el sustrato inhiben el desarrollo de la raíz y pueden provocar la muerte de la planta (Landis *et al.*, 2010). Sin embargo, el efecto es variable entre especies y variedades. En el monitoreo de las temperaturas durante la producción de la planta, se obtuvo un gradiente diferencial de 7 °C al comparar los envases con extremos de temperaturas (negro sin aberturas laterales *vs.* blanco con aberturas laterales), en una condición ambiental de temperatura de 36 °C en el sitio de producción.

DQI by effect of the two factors. However, even though there are differences in morphological variables, the results are within the quality standards of the Mexican norms (CONAFOR, 2014). The morphological analysis showed no difference for container color. The decision to use one or the other is influenced by the factor design, rather than by container color.

One aspect of the effect of container color to analyze has to do directly with alteration of substrate temperature, which affects root development

El tipo de drenaje generó diferencias significativas en la mayoría de las variables en ambas especies (Cuadro 1 y 2). En *P. greggii*, el envase con drenaje típico tuvo los valores más altos en altura (28.4 cm), diámetro (4.1 mm), biomasa aérea (3.3 g), raíz (0.8 g) y volumen de la raíz (5.8 cm³). El contenedor de aberturas laterales presentó valores inferiores en altura (26.7 cm), diámetro (3.9 mm), biomasa aérea (3.0 g) y de raíz (0.7 g), y volumen de raíz (5.5 cm³). En los ICD de las plantas no hubo diferencias significativas en cada uno de ellos.

En el análisis de *P. oaxacana* la tendencia es similar a *P. greggii* respecto al factor diseño de drenaje. Las plantas producidas en los envases sin aberturas laterales tuvieron valores superiores, respecto a las producidas en envases de aberturas laterales: altura (25.7 vs. 23.7 cm), diámetro (6.5 vs. 5.9 mm), biomasa aérea (8.3 vs. 6.2 g), de raíz (2.2 vs. 1.6 g) y total (10.4 vs. 7.7 g), y en volumen de la raíz (11.0 vs. 7.4 cm³). Hubo diferencias estadísticas solo en ICD (1.34 vs. 0.97), y el contenedor sin aberturas tuvo el valor mayor (Cuadros 1 y 2).

De las variables morfológicas de calidad de planta de vivero, la altura de la planta poco aporta sobre su calidad pues no hay correlación (Grossnickle, 2012) o es negativa con la supervivencia de la planta en el sitio de establecimiento (Domínguez-Lerena *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2011). En cambio, el diámetro da una aproximación de la sección transversal de transporte de agua, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa para tolerar altas temperaturas en la superficie del suelo (Barajas-Rodríguez *et al.*, 2004; Grossnickle, 2005; Pinto *et al.*, 2011). Las variables morfológicas más usadas de calidad de la planta son el diámetro y la altura (Luis *et al.*, 2004), pero es importante conocer otras variables que proporcionen mayor información sobre las características de la planta ideal.

En este sentido, la inclusión de los componentes de la biomasa y el volumen de la raíz, así como los índices de calidad derivados de estas variables, permitió comparar con un enfoque más amplio el efecto de los factores color y diseño de drenaje en la calidad de la planta de las dos especies. La calidad de la planta, desde el enfoque de estándares morfológicos, da una idea de su capacidad para superar las condiciones adversas del sitio de plantación, pero esas variables no son determinantes al considerar el funcionamiento fisiológico de la planta (Davis

during the growing period of the seedling in nursery (Landis *et al.*, 1990). The consequences of this phenomenon are critical in nurseries located in high temperature regions (>35 °C), where the properties of absorption and heat conduction in the container are important (Landis *et al.*, 1990). High temperatures in the substrate inhibit root development and can cause seedling death (Landis *et al.*, 2010). The effect, however, varies among species and varieties. Monitoring temperatures during seedling production revealed a differential gradient of 7 °C when comparing the containers, with extreme temperatures (black without lateral holes vs. white with lateral holes) where 36 °C was recorded in the environmental condition of the production site.

There were significant differences for the type of drainage in most of the variables in both species (Tables 1 and 2). In *P. greggii*, the container with typical drainage had the highest values for height (28.4 cm), diameter (4.1 mm), shoot biomass (3.3 g), root biomass (0.8 g) and root volume (5.8 cm³). The container with lateral holes had lower values of height (26.7 cm), diameter (3.9 mm), shoot biomass (3.0 g), root biomass (0.7 g), and root volume (5.5 cm³). DQI did not differ significantly.

With *P. oaxacana*, the tendency was similar to *P. greggii* regarding the factor drainage design. The seedlings produced in the containers with typical drainage had higher values than seedlings produced in containers with lateral holes: height (25.7 vs. 23.7 cm), diameter (6.5 vs. 5.9 mm), shoot biomass (8.3 vs. 6.2 g), root biomass (2.2 vs. 1.6 g) and total biomass (10.4 vs. 7.7 g), and root volume (11.0 vs. 7.4 cm³). There were statistical differences only in DQI (1.34 vs. 0.97), the container without holes having the higher value (Tables 1 and 2).

Of the nursery seedling morphological quality variables, seedling height contributed little to quality, since there is no correlation with seedling survival in the plantation site (Grossnickle, 2012) or it is negative (Domínguez-Lerena *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2011). However, diameter gives an approximation of the cross section of water transport, mechanical resistance and relative ability to tolerate high temperatures at ground level (Barajas-Rodríguez *et al.*, 2004; Grossnickle, 2005; Pinto *et al.*, 2011). The most used morphological seedling quality variables are diameter and height (Luis *et al.*, 2004), but it

y Jacobs, 2005; Landis *et al.*, 2010; Grossnickle, 2012). Un desarrollo superior en las variables morfológicas, en los contenedores de diseño sin aberturas, puede ser un motivo de decisión para su uso, pero es importante analizar la arquitectura de la raíz desarrollada en uno u otro diseño. Al respecto, las aberturas en las paredes del envase mejoran la arquitectura del cepellón al inducir una poda lateral de la raíz, con lo cual se evita el desarrollo de raíces en espiral (Torrente y Peman, 2004; Ortega *et al.*, 2006; Landis *et al.*, 2010).

Para diámetro del cuello de la raíz, *P. oaxacana* mostró un crecimiento diferenciado en su desarrollo en los envases con diseño de drenaje típico y de aberturas laterales; el primero fue superior en 10 % al segundo (Figura 2). La biomasa total (biomasa de la raíz y aérea) no fue diferente entre diseños para *P. greggii*, pero en *P. oaxacana* el envase típico fue 25 % superior al de aberturas laterales (Figura 3).

En el volumen del sistema radical hubo 33 % de diferencia en *P. oaxacana* (Figura 4), pero en *P. greggii* no hubo efecto del diseño. En el ICD, el contenedor sin drenaje lateral fue 28 % superior al de aberturas laterales en *P. oaxacana*, pero en *P. greggii*, no hubo diferencias en el diseño de drenaje del envase (Figura 5).

A pesar de que las plantas producidas en los envases con drenaje lateral tuvieron valores inferiores comparados con los provenientes del drenaje típico, las variables están dentro de los estándares de calidad de la planta definidos por la Comisión Nacional Forestal para distintas especies, según la Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2014 que certifica la operación de viveros forestales (CONAFOR, 2014).

Las plantas en los envases con aberturas laterales estaban en desventaja pues este diseño provocó mayor desecación que el envase típico. Al respecto, es necesario considerar los requerimientos de los niveles de humedad en este tipo de envases para lograr los estándares de calidad de la planta.

Potencial de crecimiento radical (PCR)

El diseño del envase generó diferencias significativas en el número de raíces vivas iniciales en ambas especies. En la fase final de la prueba, el número de raíces emitidas, longitud acumulada y peso seco, no fueron diferentes ($p > 0.05$) en las dos especies para los factores diseño y color de envase (Cuadros 3 y 4).

is important to identify other variables that provide more information on characteristics of the ideal seedling.

In this sense, the inclusion of the different components of biomass and root volume, as well as the quality indexes derived from these variables permitted a broader approach in comparing the effect of the factors color and drainage design on seedling quality of the two species. Seedling quality, from the perspective of morphological standards, gives an idea of the seedling's ability to overcome the adverse conditions of the plantation site, but these variables are not determinant when its physiological functioning is considered (Davis and Jacobs, 2005; Landis *et al.*, 2010; Grossnickle, 2012). Better development of the morphological variables in the containers designed without holes may motivate the decision to use them. However, it is important to analyze the root architecture developed in one or the other design. In this respect, the holes in the walls of the container improve the root ball architecture by inducing lateral root pruning, with which spiral root development is prevented (Torrente and Peman, 2004; Ortega *et al.*, 2006; Landis *et al.*, 2010).

In root collar diameter, *P. oaxacana* exhibited growth differentiated in the containers with typical drainage and with lateral holes. In the former, it was 10 % higher than the latter (Figure 2). Total biomass (root and shoot biomass) was not different between the designs for *P. greggii*, but in *P. oaxacana*, the typical container was 25 % higher than the container with lateral holes (Figure 3).

There was a 33 % difference in volume of *P. oaxacana* root system (Figure 4), but in that of *P. greggii* there was no effect of container design. The DQI of seedlings grown in typical containers was 28 % higher than those grown in containers with lateral drainage in *P. oaxacana*. However, in *P. greggii*, there were no differences between container drainage designs (Figure 5).

Although the seedlings produced in containers with lateral drainage had lower values than those produced in typical containers, the variables are within the seedling quality standards defined by the Comisión Nacional Forestal for different species, according to the Mexican Norm NMX-AA-170-SCFI-2014, under which forest nurseries are certified (CONAFOR, 2014).

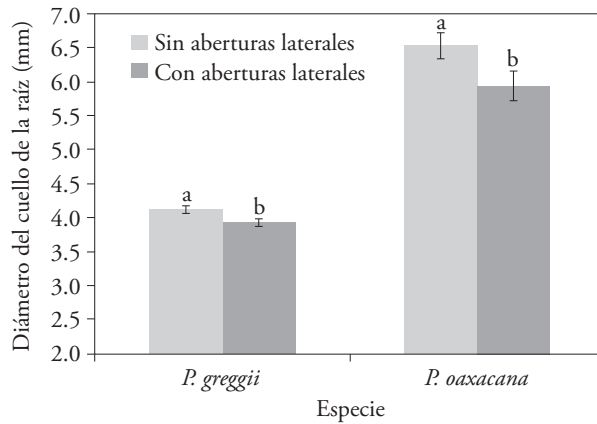


Figura 2. Comportamiento de las dos especies de pino en el diámetro del cuello de la raíz para el factor diseño de drenaje.

Figure 2. Root collar diameter of the two pine species in function of the factor drainage design.

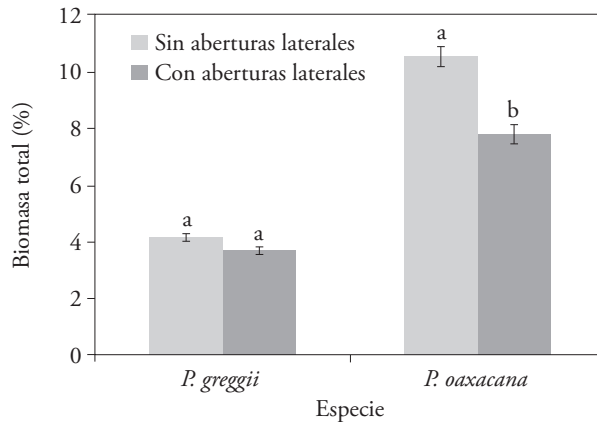


Figura 3. Comportamiento de las dos especies en la biomasa total de la planta para el factor diseño de drenaje.

Figure 3. Total biomass of the two pine species in function of the factor drainage design.

El conocimiento del PCR es importante porque está relacionado con la capacidad de la planta para que sus raíces crezcan cuando se establecen en un ambiente óptimo (Oliet *et al.*, 2003; Campo *et al.*, 2008). La prueba consiste en evaluar el crecimiento de la raíz como respuesta a su condición fisiológica (Landis *et al.*, 1990; Campo *et al.*, 2008). El PCR es, desde una perspectiva más amplia, un indicador de los atributos de desempeño de la planta, porque integra un espectro amplio de rasgos morfológicos y fisiológicos (Gazal *et al.*, 2004; Campo *et al.*, 2008; Landis *et al.*, 2010). En la mayoría de los casos cuando esta prueba se usó como criterio de calidad de la

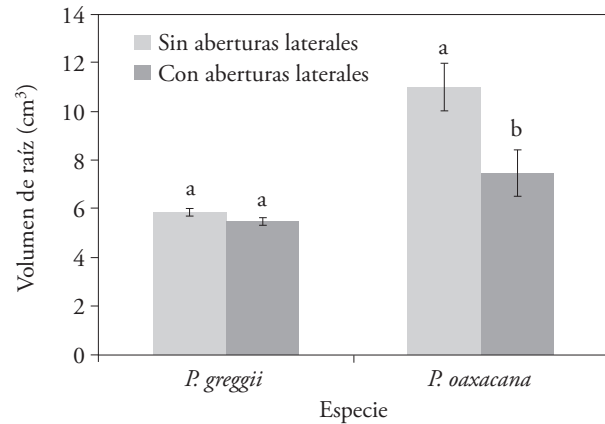


Figura 4. Comportamiento de las dos especies de pino en el volumen de la raíz para el factor diseño de drenaje.

Figure 4. Root volume of the two pine species in function of the factor drainage design.

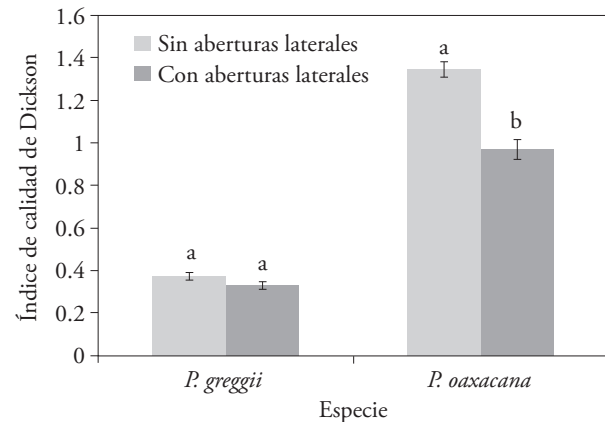


Figura 5. Comportamiento de las dos especies en el índice de calidad de Dickson (ICD) para el factor diseño de drenaje.

Figure 5. Dickson quality index (ICD) of the two pine species in function of the factor drainage design.

The plants grown in containers with lateral holes were at a disadvantage as the design causes greater drying than the typical container. When using lateral drainage containers, it is necessary to consider seedling moisture requirements so that the produced seedlings meet quality standards.

Root growth potential (RGP)

The container design caused significant differences in number of live roots between the species *P. greggii* and *P. oaxacana* at the beginning of the test. In the final phase of the test, number of

planta, la correlación fue 75 % con la supervivencia y desempeño en campo (Landis *et al.*, 2010).

Dado que en la evaluación de la prueba no se observaron diferencias significativas en el PCR para los factores descriptivos del envase (color y diseño de drenaje) (Cuadros 3 y 4), se concluye que la calidad de la planta, desde una perspectiva de análisis de su funcionamiento fisiológico, es apta para sobrevivir en el sitio de plantación. En la evaluación del PCR, al final de la prueba, según Campo *et al.* (2008), los valores tienden a equipararse por lo cual es conveniente definir protocolos para estas especies.

Al inicio del PCR el contenedor con drenaje lateral permitió raíces vivas, con respecto al contenedor sin aberturas en *P. greggii* (220.3 *vs.* 167.2; Cuadro 3), y en *P. oaxacana* (372.8 *vs.* 246.5; Cuadro 4). El número de raíces vivas en el sistema radical indica la cantidad de meristemos radicales activos de

roots emitted, accumulated length and dry weight were not different ($p > 0.05$) between the two species for the factors container design and color (Tables 3 and 4).

It is important to determine RGP because it is related to the seedling's ability to grow roots when it is established in an optimum environment (Oliet *et al.*, 2003; Campo *et al.*, 2008). The test consists of evaluating root growth as a response to its physiological condition (Landis *et al.*, 1990; Campo *et al.*, 2008). RGP is, from a broader perspective, an indicator of the seedling's performance attributes because it integrates a broad spectrum of morphological and physiological features (Gazal *et al.*, 2004; Campo *et al.*, 2008; Landis *et al.*, 2010). In most cases, when this test was used as a seedling quality criterion, it correlated 75 % with survival and performance in the field (Landis *et al.*, 2010).

Cuadro 3. Comparación de medias ($p \leq 0.05$) para los factores y variables del potencial de crecimiento de raíz en *P. greggii*.

Table 3. Comparison of means ($p \leq 0.05$) for root growth potential factors and variables of *P. greggii*.

Factor	Número de raíces vivas	Potencial de crecimiento de raíz		
		Raíces emitidas	Longitud acumulada (cm)	Peso seco (g)
Factor color de envase				
Negro	223.50 a	16.19 a	26.80 a	0.67 a
Transparente	196.33 ab	16.55 a	29.29 a	0.73 a
Blanco	161.45 b	17.33 a	30.30 a	0.74 a
Factor diseño de drenaje				
Sin aberturas	167.22 b	16.36 a	28.01 a	0.71 a
Con aberturas	220.30 a	17.02 a	29.59 a	0.72 a

Cuadro 4. Comparación de medias ($p \leq 0.05$) para los factores y variables del potencial de crecimiento de raíz en *P. oaxacana*.

Table 4. Comparison of means ($p \leq 0.05$) for root growth potential factors and variables of *P. oaxacana*.

Factor	Número de raíces vivas	Potencial de crecimiento de raíz		
		Raíces emitidas	Longitud acumulada (cm)	Peso seco (g)
Factor color de envase				
Negro	353.11 a	8.35 a	16.12 a	0.48 a
Transparente	254.61 a	8.98 a	16.84 a	0.50 a
Blanco	321.28 a	10.77 a	19.54 a	0.61 a
Factor diseño de drenaje				
Sin aberturas	246.52 b	9.49 a	17.55 a	0.54 a
Con aberturas	372.81 a	9.24 a	17.45 a	0.52 a

crecimiento en el cepellón, los cuales dan una probabilidad mayor de establecimiento de la planta en diferentes condiciones de sitio (Barajas-Rodríguez *et al.*, 2004; Landis *et al.*, 2010; Grossnickle, 2012).

CONCLUSIONES

El tipo de drenaje afectó los estándares morfológicos de calidad de la planta en las dos especies evaluadas. Los envases con drenaje lateral tuvieron plantas con dimensiones menores que en los envases sin aberturas laterales, aunque las dimensiones promedio de las plantas en los dos tipos de envase están dentro de los estándares de calidad de planta en vivero establecidos por la CONAFOR.

Las plantas del envase con drenaje lateral presentaron mayor cantidad de raíces vivas que las producidas en el envase típico sin aberturas laterales. Además, el color del envase influyó solamente en el diámetro del cuello de la raíz en *P. greggii*, mientras que en *P. oaxacana* el efecto se observó solo en el índice de calidad de Dickson.

LITERATURA CITADA

- Barajas-Rodríguez, J. E., A. Aldrete, J. J. Vargas-Hernández, y J. López-Upton. 2004. La poda química en vivero incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38: 545-553.
- Campo G., A. D., J. Hermoso M. de, M. Jordá R., y R. Granero P. 2008. Variabilidad del potencial de crecimiento radical en *Quercus ilex*, *Pinus pinaster* y *P. nigra* según las condiciones de realización del test. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 28: 225-230.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2014. Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2014.
- Certificación de la operación de viveros forestales. México, D.F. 172 p.
- Davis, A. S., and D. F. Jacobs. 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New For.* 30: 295-311.
- Domínguez-Lerena, S., N. Herrero S., I. Carrasco M., L. Ocaña B., J. L. Peñuelas R., and J. G. Mexal. 2006. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *For. Ecol. Manage.* 221: 63-71.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 2a Ed. Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. pp: 39-40.
- Gazal, R. M., C. A. Blanche, and W. M. Carandang. 2004. Root growth potential and seedling morphological attributes of narra (*Pterocarpus indicus* Willd.) transplants. *For. Ecol. Manage.* 195: 259-266.
- Grossnickle, S. C. 2012. Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New For.* 43: 711-738.
- Grossnickle, S. C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New For.* 30: 273-294.
- Because no significant differences in RGP were observed in the evaluation of the test for the descriptive factors of the container (color and drainage design) (Tables 3 and 4), it is concluded that seedling quality, from a perspective of analysis of its physiological functioning, is good enough to survive in the plantation site. In the RGP evaluation, at the end of the test, according to Campo *et al.* (2008), the values tend to become equal, and thus, it is recommendable to define protocols for these species.
- At the beginning of RGP test, seedlings in containers with lateral drainage had a higher number of live roots than those in containers with typical drainage in *P. greggii* (220.3 *vs.* 167.2; Table 3) and in *P. oaxacana* (372.8 *vs.* 246.5; Table 4). The number of live roots in the radical system indicates the quantity of active radical growth meristems in the root ball, which give the seedling a higher probability of establishment in different site conditions (Barajas-Rodríguez *et al.*, 2004; Landis *et al.*, 2010; Grossnickle, 2012).

CONCLUSIONS

The kind of drainage affected the morphological quality variables of the two species of seedlings evaluated. The containers with lateral drainage had seedlings with smaller dimensions than those with no lateral holes, although the average dimensions of the seedlings in the two container types meet nursery seedling quality standards established by CONAFOR.

The seedlings grown in containers with lateral drainage had a higher number of live roots than those in typical containers without lateral drainage holes. Besides, container color affected only root neck diameter in *P. greggii*, while in *P. oaxacana* the effect was observed only in the Dickson quality index.

—End of the English version—



- Jacobs, D. F., K. F. Salifu, and J. R. Seifert. 2005. Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. *New For.* 30: 235-251.
- Landis, T. D., R. K. Dumroese, y D. L. Haase. 2010. Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor. Volumen 7. Preparación de la Planta, Almacenamiento y Plantación. Manual Agrícola 674.

- Washington, D.C.: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal. 244 p.
- Landis, T. D. 1990. Containers: types and functions. *In*: Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald, and J. P. Barnett. The Container Tree Nursery Manual, Volume 2. Agric. Handbook 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. pp: 1-40.
- Luis D., V. C., J. Climent M., J. Peters, E. Pérez M., J. Puértolas S., D. Morales M., M. S. Jiménez P., y L. Gil S. 2004. Evaluación de la calidad de plántulas de *Pinus canariensis* cultivadas con diferentes métodos en la supervivencia y crecimiento en campo. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 17: 63-67.
- Oliet, J., R. Planelles, F. Artero, E. Martínez M., L. Álvarez L., R. Alejano, y M. Lopez A. 2003. El potencial de crecimiento radical en planta de vivero de *Pinus halepensis* Mill. Influencia en la fertilización. Invest. Agrar.: Sist. Recur. For. 12: 51-60.
- Ortega, U., J. Majada, A. Mena-Petite, J. Sánchez-Zavala, N. Rodríguez-Iturrizar, K. Txarterina, J. Azpitarte, and M. Duñabeitia. 2006. Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. New For. 31: 97-112.
- Palacios, G., R. M. Navarro C., A. del Campo, and M. Toral. 2009. Site preparation, stock quality and planting date effect on early establishment of Holm oak (*Quercus ilex* L.) seedlings. Ecol. Eng. 35: 38-46.
- Pinto, R. J., P., J. D. Marshall, R. K. Dumroese, A. S. Davis, and D. R. Cobos. 2011. Establishment and growth of container seedlings for reforestation: A function of stocktype and edaphic conditions. For. Ecol. Manage. 261: 1876-1884.
- Prieto R., J. A., M. Soto G., y J. C. Hernández D. 2006. Efecto del tamaño de envase en el crecimiento de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. Rev. Ciencia For. Méx. 32: 23-38.
- Rodríguez-Trejo, D. A., y M. L. Duryea. 2003. Indicadores de calidad de planta en *Pinus palustris* Mill. Agrociencia 37: 299-307.
- Torrente S., I., y J. Peman G. 2004. Influencia de los contenedores abiertos lateralmente en la morfología aérea y radicular en plántulas de *Pinus pinea* y *Quercus coccifera*. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 17: 239-243.