



Artículo / Article

Calidad de planta en etapa de vivero de dos especies de pino en sistema Doble-Trasplante

Plant quality of two pine species at nursery stage in a Double-Transplanting system

Rosario Marilú Bernaola Paucar¹, Juan Francisco Zamora Natera¹, José de Jesús Vargas Radillo², Víctor Manuel Cetina Alcalá³, Ramón Rodríguez Macías¹ y Eduardo Salcedo Pérez²

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad de planta producida en el sistema de Doble-Trasplante, con diferente volumen de contenedor y fertilización, en dos coníferas: *Pinus douglasiana* y *Pinus devoniana*, cuyas características e índices de calidad en vivero permitan estimar el éxito de su supervivencia en campo. Se seleccionaron 500 plantas por especie de 12 meses de edad (125 por tratamiento), producidas en charolas de poliestireno con un volumen por cavidad de 0.165 L, las cuales se trasplantaron y mantuvieron durante cinco meses en los contenedores de 1 y 5 L y con dos rutinas de fertilización (con y sin fertilizante). Se aplicó un diseño en bloques completamente al azar, con arreglo factorial 2² con cuatro tratamientos por *taxon*. El volumen del contenedor, en ambos *taxa*, tuvo un efecto positivo en las variables de crecimiento; sin embargo, solo *Pinus devoniana* registró una respuesta positiva a la fertilización adicional. Los contenidos foliares de N, Fe, Cu, Ca y Mn presentaron una relación con el crecimiento en los dos pinos bajo estudio. Para predecir el porcentaje de supervivencia en campo, el índice de Dickson (IQ) resultó ser el mejor indicador de calidad para *P. douglasiana*, mientras que para *P. devoniana* fue el índice de contenedor raíz (ICR). Por lo anterior, y por su facilidad de uso, el ICR se propone como un método práctico para determinar la calidad de planta en vivero.

Palabras clave: *Pinus douglasiana* Martínez, *Pinus devoniana* Lindl., índice de calidad de planta, vivero forestal, índice contenedor de raíz, volumen de contenedor.

Abstract

The objective of this research was to assess the quality of the plants produced using the Double-Transplanting system, with different container volumes and fertilizers, for two conifer species -*Pinus douglasiana* and *Pinus devoniana*-, whose characteristics and quality indices in the nursery may allow the estimation of the success of their survival in field. 500 plants of each species, aged 12 months (125 plants per treatment) were selected. The plants were produced in polystyrene trays with a volume of 0.165 L per cavity; they were transplanted and kept in 1 and 5 L containers during five months, and were subjected to two different fertilization routines (with and without fertilizer). A block random design with a 2² factorial arrangement and four treatments per *taxon* was applied. The container volume had a positive effect on the growth variables in both *taxa*; however, only *Pinus devoniana* registered a positive response to added fertilizers. The N, Fe, Cu, Ca and Mn foliar contents showed a relationship with growth in the two studied pine species. In order to predict the survival rate in field, Dickson's index (QI) turned out to be the best quality indicator for *P. douglasiana*, while for *P. devoniana* it was the root container index (ICR). For this reason, and because it is easy to use, we propose the ICR as a practical method to determine the quality of the plant in the nursery.

Key words: *Pinus douglasiana* Martínez, *Pinus devoniana* Lindl., plant quality index, root container index, forest nursery, container volume.

Fecha de recepción/Date of receipt: 6 de julio de 2015; Fecha de aceptación/Date of acceptance: 21 de diciembre de 2015.

¹ Departamento de Botánica y Zoología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, México.

² Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad de Guadalajara, México.

Correo-e: esalcedo@dmcp.cucei.udg.mx

³ Programa Forestal, Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, México.

Introducción

Pinus douglasiana Martínez y *Pinus devoniana* Lindl. son especies nativas de gran importancia y están dentro de las 10 más utilizadas en los programas de reforestación con fines de restauración o de producción, en México. Su estudio permite comprender la forma en que cada una responde a las condiciones de manejo, a partir de sus diferencias en el tipo de crecimiento; el de *P. douglasiana* corresponde a un hábito rápido, mientras que *P. devoniana* es cespitoso (Eguiluz, 1982; Fiprodefo, 2006).

En los viveros forestales, no solo el manejo del riego, la aplicación de fertilizantes y la sombra influyen de manera importante en las características y calidad de las mismas, sino también, el tipo y tamaño de contenedor impactan la producción de planta (Landis *et al.*, 1990). De manera teórica, determinar el contenedor ideal para obtener la mejor planta puede ser factible; sin embargo, incrementar su volumen implica, a su vez, aumentar los costos del proceso (Altamash *et al.*, 2009; Salcedo *et al.*, 2012).

Estudios recientes han demostrado que al utilizar contenedores con capacidad superior a 90 cm³, las plantas adquieren mayor volumen y longitud de raíz, lo cual se refleja en una supervivencia más alta en campo (Landis *et al.*, 1990; Landis *et al.*, 2010). Por ejemplo, Bernaola (2012) documentó valores de 94 % en *Pinus hartwegii* L. al usar contenedores de 5 L en un sistema Doble-Trasplante, después de dos años de establecidas en campo. Además, indicó que la relación beneficio-costos es viable (costo unitario de producción en vivero fue de dieciséis pesos), y que a largo plazo se obtendrán más beneficios tangibles e intangibles de la plantación.

Por su parte, Domínguez *et al.* (2006) consignaron una relación positiva entre el tamaño del contenedor y el crecimiento de *Pinus pinea* L. a los ocho meses de la siembra, ya que contenedores de 0.3 y 0.4 L produjeron plántulas con más altura (20.9 a 21.3 cm), diámetro (3.5 a 3.83 mm), y supervivencia de 90 a 91.7 %, después de tres años de establecidas en campo. Sin embargo, Ortega *et al.* (2006), al evaluar la producción de ocho meses en *P. radiata* D. Don desde la germinación, en contenedores de 0.2, 0.26 y 0.27 L no determinaron diferencias significativas en altura, diámetro y biomasa. Aphalo y Rikala (2003) en plantas de *Betula pendula* Roth, bajo condiciones de vivero, señalan que además del tamaño y volumen del contenedor (0.19 y 0.3 L), la densidad de planta por superficie (306, 190 y 54 por m²) también influye en su desarrollo, probablemente debido a la competencia por la luz entre los individuos, lo cual se refleja en campo. Al respecto, en el primer año de la plantación la relación de biomasa seca aérea / radical fue influenciada positivamente (0.69) por el efecto combinado de un mayor volumen y la menor densidad en vivero. Lo mismo citan South *et al.*, 2004, en la evaluación de *Pinus palustris* Mill.

Introduction

Pinus douglasiana Martínez and *Pinus devoniana* Lindl. are highly important native species and are among the 10 species most widely utilized in reforestation programs for purposes of restoration or production in Mexico. Their study makes it possible to understand the manner in which each of them responds to management conditions, based on their different growth habits; the growth habit of *P. douglasiana* is rapid, whereas that of *P. devoniana* is cespitose (Eguiluz, 1982; Fiprodefo, 2006).

In forest nurseries, irrigation management, fertilizer application and shading are not the only factors that exert a significant influence on plant characteristics and quality: the type and size of the container also have an impact on plant production (Landis *et al.*, 1990). In theory, it is possible to determine the ideal container for obtaining an optimal plant; however, increasing the volume of the container involves increasing the costs of the process (Altamash *et al.*, 2009; Salcedo *et al.*, 2012).

Recent studies have shown that when containers with a capacity above 90 cm³ are utilized, the plant roots acquire more volume and length, resulting in a higher survival rate in field (Landis *et al.*, 1990; Landis *et al.*, 2010). For example, Bernaola (2012) documented values of 94 % for *Pinus hartwegii* L. with the use of 5 L containers in a double-transplanting system two years after the plants had been established in field. Furthermore, she has stated that the cost-benefit ratio is viable (the cost of production per unit in the nursery is sixteen pesos), and that more tangible and intangible benefits will be obtained from the plantation in the long term.

For their part, Domínguez-Larena *et al.* (2006) recorded a positive relationship between container size and growth in *Pinus pinea* L. eight months after planting, as 0.3 and 0.4 L containers produced taller seedlings (20.9 to 21.3 cm) with a larger diameter (3.5 to 3.83 mm) and a survival rate ranging between 90 and 91.7 % three years after established in field. Nevertheless, when the production of *P. radiata* D. Don was evaluated eight months after germination in 0.2, 0.26 and 0.27 L containers, Ortega *et al.* (2006) did not determine significant differences in height, diameter or biomass. Aphalo and Rikala (2003) point out that, under nursery conditions, not only the container size and volume (0.19 and 0.3 L) but also the density of the plant per surface unit (306, 190 and 54 per m²) also influence the development of *Betula pendula* Roth plants, probably due to competition for light between individuals, reflected in the field. In this regard, during the first year the aerial / root dry biomass ratio was positively influenced (0.69) by the combined effect of a higher volume and lower density in the nursery. South *et al.*, 2004 cite similar findings in their evaluation of *Pinus palustris* Mill.

Otro de los factores que inciden en el crecimiento y desarrollo de la planta es la nutrición; en este sentido, el nitrógeno es el elemento más relevante. De hecho, las formulaciones usadas en los programas de fertilización se realizan con base en ese nutrimento o en las relaciones entre los macronutrientes (Landis *et al.*, 1989). No obstante, las necesidades de este tipo dependen, generalmente, del genotipo y de la etapa de desarrollo de la planta, por lo que la fertilización debe responder a requerimientos específicos del vegetal. Los análisis foliares son una herramienta que permite definirlos de manera más precisa, así como, la respuesta a cada dosis y la eficiencia del programa de fertilización empleado (Birchler *et al.*, 1998; Alcántar *et al.*, 2012). Jeong *et al.* (2010) documentan diferencias significativas en el diámetro (4.5 mm), altura (19 cm), masa seca (4.5 g) y el contenido nutrimental (nitrógeno total) en individuos de *Pinus densiflora* Siebold & Zucc. y *Pinus thunbergii* Parl., por efecto del volumen de contenedor (0.25, 0.35 y 0.5 L) y la fertilización foliar (Planta Products® 20N:20P2O5:20K2O); sin embargo, los ejemplares sin fertilización no mostraron diferencias significativas en crecimiento, lo que sugiere que la disponibilidad de nutrimentos es uno de los factores limitantes para el desarrollo de ambas especies.

En un sistema de Doble Trasplante propuesto por Salcedo *et al.* (2012), que se basa en el traspaso de la planta producida en charola a contenedores individuales con volumen más grande, registraron un incremento en las biomásas aérea y radical. A pesar de que los costos de producción aumentan, también se garantiza mayor éxito en la supervivencia del vegetal (Hahn, 1990; Ritchie, 2003).

Claramente se ha demostrado que el crecimiento de las plantas forestales es afectado por el volumen del contenedor y la aplicación de fertilizantes, pero poco se sabe sobre el comportamiento individual entre las especies de *Pinus* (Jeong *et al.*, 2010), ya que los *taxa* tienen sus propios requerimientos, como respuesta a su diversidad biológica y a las diferentes condiciones edafoclimáticas en donde se desarrollan de manera natural. En la literatura no existen estudios que registren el efecto de contenedores con volúmenes superiores a 0.5 L, ni tampoco sobre el uso del sistema Doble Trasplante en *P. douglasiana* y *P. devoniana*. En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad de planta de esas dos especies en el sistema de producción Doble Trasplante en contenedor de diferente capacidad y fertilización.

Materiales y Métodos

Ubicación y características del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el Vivero Forestal Valle de Ameca S. P. R. de R.L., localizado a 20°33' N y 104°3' O, a una altitud de 1 235 m, en Ameca, Jalisco, México. El clima corresponde a un semicálido, subhúmedo con lluvias en

Another factor which has an impact on the growth and development of the plant is nutrition; in this sense, nitrogen is the most relevant element. In fact, the formulations used in fertilization programs are based on this element or on the relationships between macronutrients (Landis *et al.*, 1989). However, nutritional needs usually depend on the genotype and on the development stage of the plant; for this reason, fertilization must respond to specific requirements of the plant. Foliar analyses are a tool that allows defining them more accurately; so are the response to each dose and the efficiency of the utilized fertilization program (Birchler *et al.*, 1998; Alcántar *et al.*, 2012). Jeong *et al.* (2010) document significant differences in diameter (4.5 mm), height (19 cm), dry mass (4.5 g) and nutritional content (total nitrogen) in *Pinus densiflora* Siebold & Zucc. and *Pinus thunbergii* Parl. plants as an effect of the container volume (0.25, 0.35 and 0.5 L) and of foliar fertilization (Planta Products® 20N:20P2O5:20K2O). However, individuals without fertilization showed no significant differences in growth, which suggests that the availability of nutrients is one of the limiting factors for the development of both species.

In a Double-Transplanting system proposed by Salcedo *et al.* (2012), based on the transfer of the plant produced in a tray to individual containers with a larger volume, an increase in aerial and radical biomasses was registered. Although the costs of production increased, better success in the survival of the plants was ensured (Hahn, 1990; Ritchie, 2003).

The growth of forest plants has clearly been shown to be affected by the volume of the container and the application of fertilizers, but little is known about the individual behavior between *Pinus* species (Jeong *et al.*, 2010), as the taxa have their own requirements as a response to their biological diversity and to the different edaphoclimatic conditions in which they develop naturally. The literature includes no studies recording the effect of containers with volumes above 0.5 L or the use of the double-transplanting system in *P. douglasiana* and *P. devoniana*. In this sense, the objective of this study was to evaluate the plant quality of these two species in the double-transplanting production system in containers of different capacities and with and without fertilization.

Materials and Methods

Location and characteristics of the study area

The research was carried out in the Valle de Ameca Forest Nursery ("Vivero Forestal Valle de Ameca S. P. R. de R. L."), located at 20°33' N and 104°3' W, at an altitude of 1 235 m, in Ameca, Jalisco, Mexico. The climate is semi-warm subhumid, with summer rains, with a medium humidity, temperatures ranging from 16 to 24 °C, and an annual precipitation of 800 to 1 100 mm (Inegi, 1999). The experiment was performed simultaneously for *P. douglasiana* and *P. devoniana*.

verano, de humedad media, temperaturas de 16 - 24 °C y una precipitación anual de 800 a 1 100 mm (Inegi, 1999). El experimento se realizó de manera simultánea para *P. douglasiana* y *P. devoniana*.

El material biológico utilizado para iniciar la evaluación consistió en plantas de *P. douglasiana* y *P. devoniana* de 12 meses de edad, producidas en charolas de poliestireno de 60 cavidades de 0.165 L cada una, procedentes del vivero forestal Valle de Ameca. Las características morfológicas y contenido mineral foliar de las plantas al inicio del experimento (Cuadro 1), se determinaron en el Laboratorio Forestal del Departamento de Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara y en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, respectivamente. Las condiciones de cultivo fueron las establecidas en los protocolos que el mismo vivero tiene para la producción de estas coníferas.

The biological material utilized for starting the evaluation consisted of *P. douglasiana* and *P. devoniana* plants aged 12 months, produced in polystyrene trays with 60 cavities of 0.165 L each, from the Valle de Ameca forest nursery. The morphological characteristics and foliar mineral content of the plants at the beginning of the experiment (Table 1), were determined at the Laboratorio Forestal of the Departamento de Madera, Celulosa y Papel of the Universidad de Guadalajara and at the Laboratorio de Nutrición Vegetal of the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, respectively. The culture conditions were established in the protocols of the same nursery for the production of these conifers.

Black polypropylene (1 and 5 L) containers, which have a special design for the development of conifers (semi-conical, with inner vertical ribs and with the base covered only with a gridded mesh), were utilized. The 1 L container has 118 mm thick walls, a length of 18.5 cm, 10.7 cm of higher diameter, and

Cuadro 1. Características morfológicas y contenido mineral foliar de las especies al inicio de la evaluación en *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus devoniana* Lindl.

Características morfológicas						
Especie	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Vol. Aéreo (cm ³)	Peso aéreo (g)	Vol. Radical (cm ³)	Peso radical (g)
Dg	35.31 (0.8)	5.01 (0.1)	14.51 (0.5)	5.34 (0.2)	2.57 (0.2)	1.12 (0.1)
Dv	11.17 (0.8)	13.51 (0.8)	47.07 (5.6)	10.62 (1.0)	12.07 (1.4)	3.30 (0.3)
Contenido nutrimental foliar						
Especie	Nitrógeno (%)	Calcio (ppm)	Hierro (ppm)	Zinc (ppm)	Manganeso (ppm)	Cobre (ppm)
Dg	0.28 (0.02)	1235 (231)	62.32 (9.7)	17.35(0.44)	29.45(5.1)	8.29 (1.3)
Dv	0.52 (0.01)	4080 (40)	331.17(10.5)	33.64(0.27)	240.47 (2.6)	18.92 (0.2)

El valor indicado entre paréntesis corresponde al error estándar de tres repeticiones; Dg = *P. douglasiana*; Dv = *P. devoniana*.

Table 1. Morphological characteristics and foliar mineral content of the *Pinus douglasiana* Martínez and *Pinus devoniana* Lindl. species at the beginning of the evaluation.

Morphological characteristics						
Species	Height (cm)	Diameter (mm)	Aerial vol. (cm ³)	Aerial weight (g)	Root vol. (cm ³)	Root weight (g)
Dg	35.31 (0.8)	5.01 (0.1)	14.51 (0.5)	5.34 (0.2)	2.57 (0.2)	1.12 (0.1)
Dv	11.17 (0.8)	13.51 (0.8)	47.07 (5.6)	10.62 (1.0)	12.07 (1.4)	3.30 (0.3)
Foliar nutritional content						
Species	Nitrogen (%)	Calcium (ppm)	Iron (ppm)	Zinc (ppm)	Manganese (ppm)	Copper (ppm)
Dg	0.28 (0.02)	1235 (231)	62.32 (9.7)	17.35(0.44)	29.45(5.1)	8.29 (1.3)
Dv	0.52 (0.01)	4080 (40)	331.17(10.5)	33.64(0.27)	240.47 (2.6)	18.92 (0.2)

The value indicated between parentheses corresponds to the standard error of three repetitions; Dg = *P. douglasiana*; Dv = *P. devoniana*.

Se utilizaron contenedores de polipropileno de color negro (1 y 5 L), los cuales son de diseño especial para el desarrollo de coníferas (semicónico, con costillas interiores verticales y con la base cubierta solo con una malla cuadrículada). El de 1 L tiene 118 mm de espesor de pared, 18.5 cm de largo, 10.7 cm de diámetro superior y 8.2 cm de diámetro inferior. Las dimensiones del de 5 L son: 152 mm de espesor de pared, 45 cm de largo, 17.8 cm de diámetro superior y 14.5 cm de diámetro inferior.

El sustrato consistió de una mezcla de peat moss (30 %), corteza de pino (70 %) y Multicote™ 24-12-6-(4) (6 kg m⁻³), que fue descrito en el Laboratorio de Física de Suelos y Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, cuyos resultados indicaron una porosidad total de 89 %, porosidad de aireación de 11 %, capacidad de retención de agua de 78 %, tamaño de partícula (diámetro medio ponderado) de 2 a 3.36 mm y una densidad aparente de 0.18 g cm⁻³. El análisis químico se presenta en el Cuadro 2. Al sustrato se le aplicó, de manera preventiva, un fungicida de amplio espectro (BUSAN 30 WB, TCMTB-tiacinometiltio benzotriazol) con la finalidad de prevenir daños por patógenos.

8.2 cm of lower diameter. The dimensions of the 5 L container are: 152 mm of wall thickness, 45 cm of length, 17.8 cm of higher diameter and 14.5 cm of lower diameter.

The substrate consisted of a mixture of peat moss (30 %), pine bark (70 %) and Multicote™ 24-12-6-(4) (6 kg m⁻³), and was characterized at the Laboratorio de Física de Suelos y Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados; the results indicate a total porosity of 89 %, an aeration porosity of 11 %, a capacity for water retention of 78 %, a particle size (weighted mean diameter) of 2 to 3.36 mm and an apparent density of 0.18 g cm⁻³. The chemical analysis is shown in Table 2. A broad spectrum fungicide (BUSAN 30 WB, TCMTB-ticino methylthio benzotriazol) was preventively applied in order to avert damage by pathogens.

Experiment establishment and follow-up

The plants of both species produced in trays were transplanted to 1 and 5 L containers; for this purpose, 500 plants per taxon were selected at random. After three days, Raizone-plus rooting powder (40g in 25 L of water) was sprayed with a manual

Cuadro 2. Caracterización química del sustrato utilizado para trasplante en los contenedores.

pH	CE dS m ⁻¹	CIC meq 100g ⁻¹	MO %	NT %	P ppm	K meq 100g ⁻¹
4.05	0.45	165.33	54.82	0.45	0.14	0.41
Mg meq L ⁻¹	Ca meq L ⁻¹	Na meq L ⁻¹	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	
6.50	19.83	0.12	66.13	388.00	159.16	

CE = Conductividad eléctrica; CIC = Capacidad de intercambio catiónico; MO = Materia orgánica; NT = Nitrógeno Total; P= Fósforo; K= Potasio; Mg= Magnesio; Ca= Calcio; Na = Sodio; Cu= Cobre; Fe= Hierro; Mn= Manganeso.

Table 2. Chemical characterization of the substrate utilized for transplanting into the containers.

pH	EC dS m ⁻¹	CEC meq 100g ⁻¹	OM %	TN %	P ppm	K meq 100g ⁻¹
4.05	0.45	165.33	54.82	0.45	0.14	0.41
Mg meq L ⁻¹	Ca meq L ⁻¹	Na meq L ⁻¹	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	
6.50	19.83	0.12	66.13	388.00	159.16	

EC = Electric conductivity; CEC = Cation exchange capacity; OM = Organic matter; TN = Total nitrogen; P= Phosphorus; K= Potassium; Mg= Magnesium; Ca= Calcium; Na = Sodium; Cu= Copper; Fe= Iron; Mn= Manganese.

Establecimiento y seguimiento del experimento

Las plantas, de ambas especies, producidas en charolas se trasplantaron a contenedores de 1 y 5 L; para ello, se eligieron de manera aleatoria 500 plantas por taxon. Después de tres días,

pump. The transplanted plants were kept during one month under a 50 % shade cloth and watered every day in a, even, localized manner. Subsequently, they were transferred to the growth area of the same nursery (out in the open), under the Double-Transplanting system (Salcedo *et al.*, 2012).

se asperjó con una bomba manual el enraizador *Raizone-plus* (40 g en 25 L de agua). Las plantas trasplantadas se mantuvieron durante un mes bajo malla sombra de 50 %; se regaron diariamente en forma uniforme y localizada. Posteriormente, se trasladaron al área de crecimiento del mismo vivero (a la intemperie), bajo el sistema Doble Trasplante (Salcedo *et al.*, 2012).

Transcurrido un mes, se procedió a establecer los cuatro tratamientos por especie, para lo cual se consideró el efecto de los dos tamaños de contenedor (1 y 5 L) y los dos factores de fertilización (con y sin fertilización). Se usaron 125 individuos por cada uno. A las plantas fertilizadas se les adicionó una solución dos veces por semana, compuesta por nitrato de magnesio (40 g), nitrato de calcio (40 g), fosfato monopotásico (50 g), nitró potasio (50 g), urea (40 g) y 40 g de *Gro-green*[®] (20-30-10 + EM) disueltos en 25 L de agua y se aplicaron en una superficie de 527 m². Además, se suministraron, una vez por semana, a cada individuo 10 g de *Multi-micro Haifa*[®]. El manejo de la fertilización se realizó bajo los procedimientos propios del vivero.

Durante los cinco meses de la evaluación, todas las plantas se regaron diariamente, en forma manual, uniforme y localizada hasta el punto de saturación del sustrato (1.16 L seg⁻¹ por una hora).

Diseño experimental y tratamientos

Los tratamientos por especie se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completamente al azar, con un arreglo factorial 2², cuyo factor A representó el tamaño de contenedor (1 y 5 Litros), y el factor B la fertilización (no fertilizado y fertilizado). Cada tratamiento consistió de tres repeticiones, con cinco árboles como unidades experimentales (15 plantas por tratamiento). Cuatro tratamientos para cada *taxon*, los que se clasificaron como se describe a continuación: para *P. douglasiana* fueron Dg1NF (contenedor de un litro no fertilizado), Dg1F (contenedor de 1 L fertilizado), Dg5NF (contenedor de 5 L no fertilizado) y Dg5F (contenedor de 5 L fertilizado); y para *P. devoniana* fueron Dv1NF (contenedor de 1 L no fertilizado), Dv1F (contenedor de 1 L fertilizado), Dv5NF (contenedor de 5 L no fertilizado) y Dv5F (contenedor de 5 L fertilizado).

Variables evaluadas

Las variables morfológicas y el contenido mineral de cada especie se evaluaron mediante un muestreo destructivo (15 plantas por tratamiento). Las plantas se retiraron del contenedor eliminando el sustrato de la raíz y se separó la parte aérea de la radical. Los datos se registraron a los seis meses del trasplante. Las variables evaluadas fueron: altura desde la base del tallo hasta su ápice (cm), diámetro de tallo al nivel del cuello de la raíz (mm), así como biomasa aérea y

After a month, the four treatments were established for each species, considering the effect of the two container sizes (1 and 5 L) and the two fertilization factors (with and without fertilizer). 125 individuals were used for each one. A solution consisting of magnesium nitrate (40 g), calcium nitrate (40 g), monopotassium phosphate (50 g) nitro-potassium (50 g), urea (40 g) and *Gro-gree*[®](20-30-10 + EM) (40 g), dissolved in 25 L water, was added twice a week to the fertilized plants and applied to a surface area of 527 m². Furthermore, 10 g of *Haifa*[®] Multi-micro were administered once a week to each individual. The management of the fertilizers was carried out within the procedures typically used at the nursery.

During the five months of the evaluation, all the plants were manually watered on a daily basis in an even and localized manner until the substrate reached the saturation point (1.16 L sec⁻¹ hour).

Experimental design and treatments

The treatments for each species were distributed in a random experimental block design, with a 2² factorial arrangement, in which factor A represented the container size (1 and 5 L), and factor B, fertilization (with and without fertilizer). Each treatment consisted of three repetitions, with sets of five trees as experimental units (15 plants per treatment). Four treatments for each *taxon*, classified as follows: Dg1NF (1 L container without fertilizer), Dg1F (1 L container with fertilizer), Dg5NF (5 L container without fertilizer) and Dg5F (5 L container with fertilizer), for *P. douglasiana*, and Dv1NF (1 L container without fertilizer), Dv1F (1 L container with fertilizer), Dv5NF (5 L container without fertilizer) and Dv5F (5 L container with fertilizer), for *P. devoniana*.

Evaluated variables

The morphological variables and the mineral content of each species were evaluated through a destructive sampling (15 plants per treatment). The plants were retired from the container removing the substrate from the root, and the aerial part was separated from the root. The data were recorded six months after the plants were transplanted. The assessed variables were: height from the stem base to the stem apex (cm), the stem diameter at root collar (mm), as well as aerial and root biomass. The aerial and root volumes (cm³) were determined by the water displacement method (Harrington *et al.*, 1994).

The samples of the aerial and root parts were placed separately in paper bags and dried in a rustic drying chamber at 70 °C during 72 hours, until a constant weight (72 h) was registered. The dry aerial (g) and root (g) weights were determined in an analytical scale (Sartorius, MP6 model). These data were used to estimate: the ratio between the aerial and the root parts, Dickson's quality index and the

radical. El volumen aéreo y radical (cm^3) se determinaron por el método por desplazamiento de agua (Harrington *et al.*, 1994).

Las muestras de la parte aérea y radical se colocaron, independientemente, en bolsas de papel y se secaron en una cámara de secado rústico a 70°C por 72 h, hasta registrar un peso constante (72 h). Los pesos secos aéreo (g) y radical (g) se determinaron en una balanza analítica (Sartorius, modelo MP6). Con esos datos se calcularon: la relación parte aérea y raíz, el índice de Dickson y el índice de robustez (Dickson *et al.*, 1960; Thompson, 1985). También, se determinó el índice de contenedor raíz (ICR), el cual es una aportación adicional del presente trabajo. El ICR representa el cociente generado entre el volumen del contenedor (cm^3) y el volumen radical (cm^3); es un indicador que permite predecir la calidad de planta en ese volumen de contenedor y, por consiguiente, el porcentaje de supervivencia en campo.

Las muestras de las acículas secadas y molidas (molino Redsh modelo SK100) se usaron para obtener el contenido mineral foliar, en el Laboratorio de Análisis Químico Vegetal del Colegio de Postgraduados. El método semi-microkjeldahl se utilizó para el nitrógeno total, previa digestión ácida de las muestras, mientras que para el fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, cobre, zinc, manganeso, boro y molibdeno se empleó una digestión húmeda; posteriormente, los extractos se analizaron en un equipo de espectrofotometría de inducción con plasma acoplado ICP-AES VarianTM, Liberty II (Alcántar y Sandoval 1999).

Análisis estadístico

Los datos se organizaron en el programa Excel de Microsoft office, 2007 y se les aplicó una prueba de normalidad (Chi cuadrada y estadístico W de Shapiro-Wilk). A continuación, se hizo un análisis de varianza (ANOVA) siguiendo el modelo factorial 2^2 en el programa Statgraphics Centurión XV.11 versión 15.2.06. Cuando se observaron diferencias entre tratamientos ($p \leq 0.05$), se realizó una comparación de medias a través de Least Significant Difference (LSD) y finalmente una correlación de Pearson.

Resultados y Discusión

VARIABLES MORFOLÓGICAS E ÍNDICES DE CALIDAD PARA *Pinus douglasiana*

El análisis de varianza evidenció diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en todas las variables, excepto en la altura por efecto del volumen de contenedor (Cuadro 3), mientras que la fertilización afectó de manera significativa el volumen aéreo, peso aéreo y peso radical. La interacción tamaño de contenedor x fertilización solo fue significativa para las variables volumen aéreo y peso radical.

index of robustness (Dickson, *et al.*, 1960; Thompson, 1985). The root container index (ICR) was also determined, and this is an additional contribution of this study. The ICR represents the quotient between the volume of the container (cm^3) and the root volume (cm^3). It is an indicator that makes it possible to predict the quality of the plant in that container volume and, therefore, the survival rate in field.

The dried and ground needle samples (model SK100 Retsch mill) were used to estimate the foliar mineral content at the Laboratorio de Física de Suelos y Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados. The semi-microkjeldahl method was used for the total nitrogen, with previous acid digestion of the samples, while for phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, iron, copper, zinc, manganese, boron and molybdenum, a humid digestion was utilized. Subsequently, the extracts were analyzed in a VarianTM Liberty II ICP-AES induction spectrophotometer with coupled plasma (Alcántar and Sandoval, 1999).

Statistical analysis

The data were organized using the Microsoft Office 2007 Excel software package and applying a normalcy test (Chi Square and Shapiro's and Wilk's W statistic). Subsequently, a variance analysis (ANOVA) was carried out following the 2^2 factorial model, using Statgraphics Centurion XV.11, version 15.2.06. Where differences between treatments ($p \leq 0.05$) were observed, means were compared using the Least Significant Difference (LSD) and, finally, a Pearson's correlation.

Results and Discussion

Morphological variables and quality indices for *Pinus douglasiana*

The variance analysis evidenced significant differences ($p \leq 0.05$) in all the variables, except height, as an effect of the container volume (Table 3), while the use of fertilizers significantly affected the aerial volume and both the aerial and root weights. The interaction between the container size and the use of fertilizers was significant only for the aerial volume and root weight variables.



Cuadro 3. P-valor del ANOVA de altura, diámetro de cuello y biomasa de *Pinus douglasiana* Martínez con o sin fertilización foliar en dos volúmenes de contenedores.

Variable	gl	Altur (cm)	Diámetro (mm)	Biomasa			
				Vol. aéreo (cm ³)	Peso aéreo (g)	Vol. Radical (cm ³)	Peso radical (g)
Tamaño contenedor (A)	1	0.402	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
Fertilización (B)	1	0.623	0.220	0.004*	0.001*	0.575	0.000*
AxB	1	0.564	0.988	0.018*	0.562	0.888	0.000*

(*) Significancia con un nivel de confianza de 95.0 %; gl = Grados de libertad.

Table 3. P-value of the ANOVA for height, root neck diameter and biomass of *Pinus douglasiana* Martínez with or without foliar fertilization in two container volumes.

Variable	gl	Height (cm)	Diameter (mm)	Biomass			
				Aerial vol. (cm ³)	Aerial weight (g)	Root vol. (cm ³)	Root weight (g)
Container size (A)	1	0.402	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
Fertilization (B)	1	0.623	0.220	0.004*	0.001*	0.575	0.000*
AxB	1	0.564	0.988	0.018*	0.562	0.888	0.000*

(*) Significance with a 95.0 % confidence level; gl = Degrees of freedom.

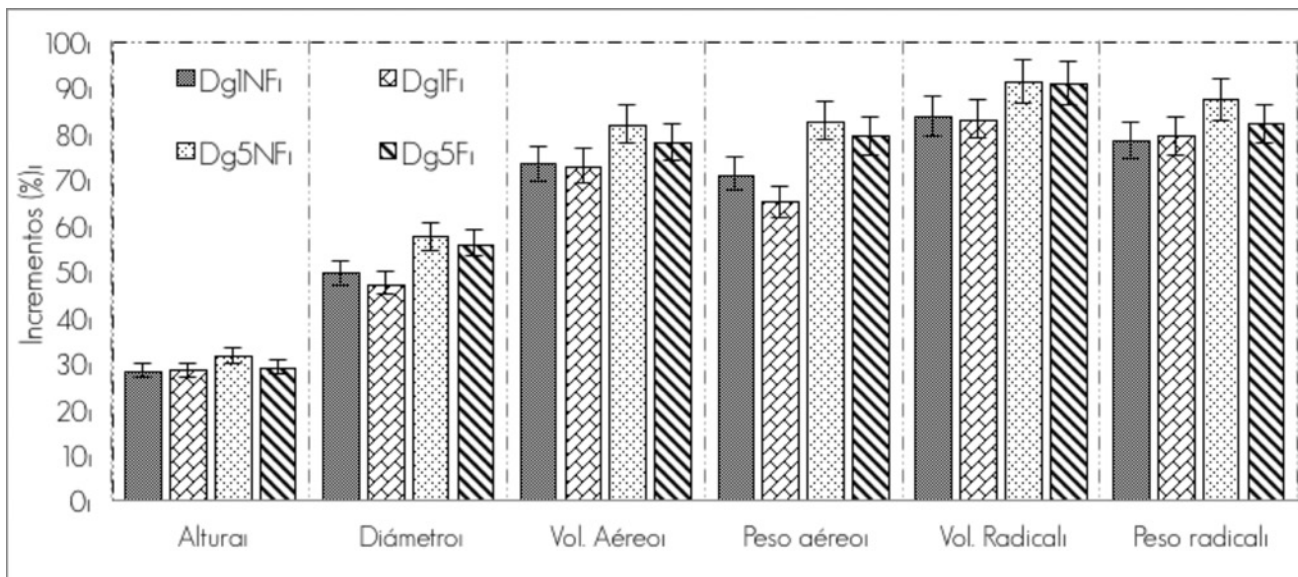
En la Figura 1 se muestran los incrementos promedio de las variables morfológicas de las plantas sometidas a los tratamientos, con respecto a los valores iniciales registrados en el Cuadro 1; en ella se observa una clara diferencia entre las plantas de los contenedores de uno y cinco litros, con excepción de la altura. De acuerdo al análisis estadístico, el tratamiento Dg5NF presentó los mejores valores de volumen aéreo, peso aéreo y radical (Cuadro 1). En este sentido, Becerra *et al.* (2013) registraron hasta 90 % de supervivencia en seis especies forestales producidas en contenedores de 10 L, en plantas de 4 años de edad, evaluadas después de 2 años de establecidas en campo.

El valor de los índices de calidad para *P. douglasiana* se presentan en la Figura 2. Las plantas que se desarrollaron en los contenedores de mayor volumen tuvieron diferencia significativa en el índice de Dickson (IQ) y el de contenedor raíz (ICR), sin embargo solo para el IQ se obtuvieron diferencias con respecto a la fertilización, con un valor más alto en el tratamiento de 5 L sin fertilización (5.03), el cual está dentro de los óptimos establecidos por Dickson *et al.* (1960) y Sáenz *et al.* (2010).

Figure 1 shows the average increases in the morphological variables of plants subjected to the various treatments in relation to the baseline values recorded in Table 1; a clear difference may be observed between the plants in the 1 L and 5 L containers, except for the height. According to the statistical analysis, the Dg5NF had the highest values for aerial volume and aerial and root weight (Table 1). In this sense, Becerra *et al.* (2013) recorded survival rates of up to 90 % in plants aged 4 years belonging to six forest species and produced in 10 L containers, assessed two years after their establishment in the field.

Figure 2 shows the value of the quality indices for *P. douglasiana*. The plants grown in the larger containers showed a significant difference in Dickson's quality index (QI) and in the root container index (ICR); however, just for the QI there were differences in relation to the use of fertilizers, with a higher value in the 5 L treatment without fertilizer (5.03) within the range of the optimal values established by Dickson *et al.* (1960) and Sáenz *et al.* (2010).

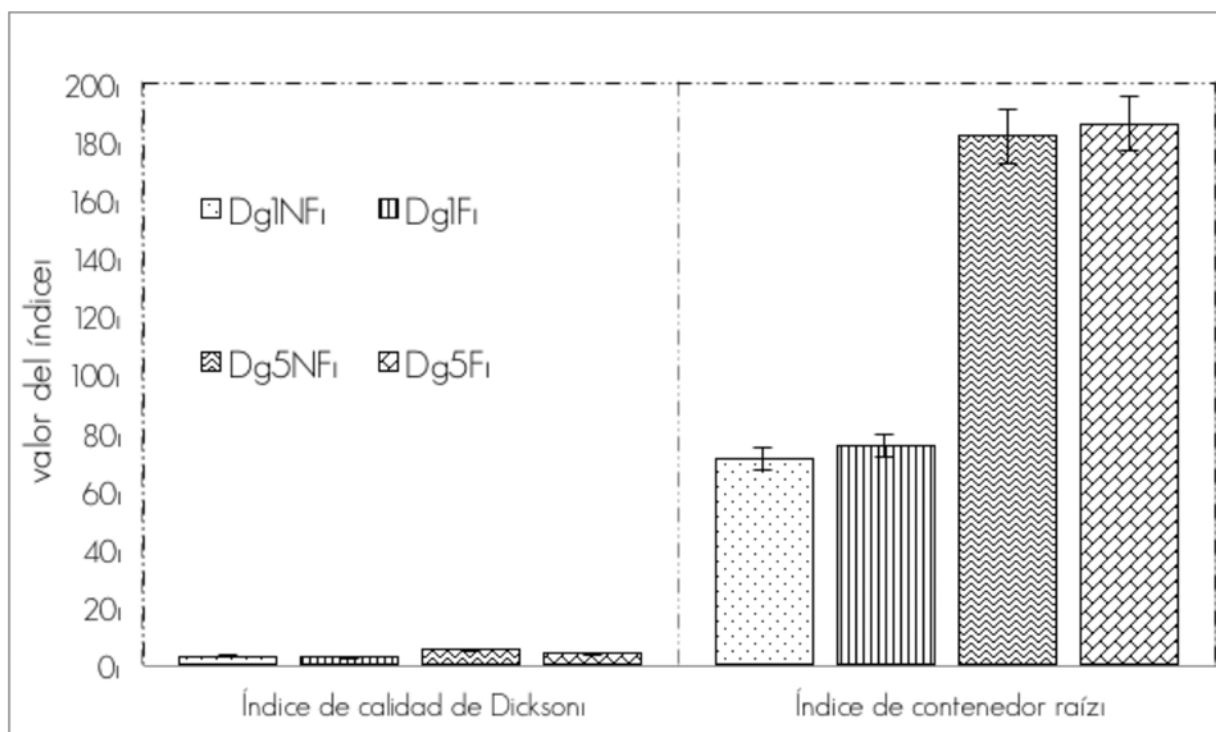




Tratamientos: Dg1NF = Contenedor de 1 L no fertilizado; Dg1F = Contenedor de 1 L fertilizado; Dg5NF = Contenedor de 5 L no fertilizado; Dg5F = Contenedor de 5 L. (*) Tratamiento significativo con base en ANOVA, n=15, P<0.05.

Dg1NF = 1 L container without fertilizer; Dg1F = 1 L container with fertilizer; Dg5NF = 5 L container without fertilizer; Dg5F = 5 L container with fertilizer. (*) Significant treatment based on ANOVA, n=15, P<0.05.

Figura 1. Incremento en los valores de variables morfológicas con respecto de los valores iniciales para *Pinus douglasiana* Martínez.
Figure 1. Increase in the values of morphological values in relation to the baseline values for *Pinus douglasiana* Martínez.



Tratamientos: Dg1NF = Contenedor de 1 L no fertilizado; Dg1F = Contenedor de 1 L fertilizado; Dg5NF = Contenedor de 5 L no fertilizado; Dg5F = Contenedor de 5 L. Las medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente entre sí (n=15, P<0.05, LSD).

Treatments: Dg1NF = 1 L container without fertilizer; Dg1F = 1 L container with fertilizer; Dg5NF = 5 L container without fertilizer; Dg5F = 5 L container with fertilizer. There are no significant differences between means followed by the same letter (n=15, P<0.05, LSD).

Figura 2. Respuesta de los tratamientos sobre los Índices de calidad del *Pinus douglasiana* Martínez.
Figure 2. Response to the treatments in terms of the quality indices for *Pinus douglasiana* Martínez.

Con base en los resultados obtenidos, el IQ resultó ser el mejor índice para determinar la calidad de planta para *P. douglasiana*. De acuerdo a Quiroz et al. (2014), el IQ está altamente correlacionado con el volumen radical y este, a su vez, se relaciona con el volumen del contenedor. Por lo tanto, un aumento en el valor del IQ se asocia con una calidad de planta superior, debido a un mejor equilibrio entre las biomásas aérea y radical (Reyes et al., 2005, Saénz et al., 2010). Al respecto, es posible señalar que las plantas de *P. douglasiana* trasplantadas de charolas a contenedores de mayor volumen y mantenidas en condiciones de vivero durante seis meses, tendrán mejor desarrollo sin necesidad de aplicar fertilizante y, por lo tanto, más posibilidades de supervivencia en campo.

Contenido nutrimental de *Pinus douglasiana*

Los minerales que registraron variación, solo por efecto del tamaño de contenedor, fueron el nitrógeno, hierro, cobre y manganeso, con una tendencia a presentar un contenido más alto en los individuos producidos en contenedor de 5 L, excepto el cobre (Cuadro 4), lo cual significa que con un volumen más grande de contenedor, se incrementa la concentración de nutrimentos en las acículas (Jeong et al., 2010).

Based on the results obtained, the QI turned out to be the best index for determining the plant quality for *P. douglasiana*. According to Quiroz et al. (2014), the QI is highly correlated with the root volume, and this, in turn, is related to the container volume. Therefore, an increase in the value of the QI is associated with a better plant quality, as a result of a better balance between the aerial and root biomasses (Reyes et al., 2005, Saénz et al., 2010). In this respect, we may point out that the *P. douglasiana* plants transplanted from trays to large containers and kept under nursery conditions during six months will have a better development without any need to apply fertilizers, and therefore, will have better survival rates in field.

Nutrient content of *Pinus douglasiana*

The minerals that showed variation due exclusively to the size of the container were nitrogen, iron, copper and manganese, with a tendency to have a higher content in individuals produced in a 5 L container, except for copper (Table 4); this means that the concentration of nutrients in the needles increases with the volume of the container (Jeong et al., 2010).

Cuadro 4. Contenido nutrimental en muestras de acículas secas en *Pinus douglasiana* Martínez.

Tratamientos	Nitrógeno (%)	Hierro (ppm)	Cobre (ppm)	Manganeso (ppm)
Dg1NF	0.49 (0.06) ^a	65.66(4.6) ^a	1.84 (0.1) ^{ab}	156.50(6.9) ^a
Dg1F	0.79(0.02) ^b	74.18(2.0) ^a	2.31(0.1) ^{ab}	144.42(3.9) ^a
Dg5NF	1.27(0.02) ^c	110.57(2.8) ^b	2.73(0.1) ^b	260.66(5.7) ^b
Dg5F	1.20(0.06) ^c	74.70 (2.5) ^a	1.46(0.4) ^a	210.05(5.5) ^{ab}
* Referencia	1.2 a 2.2	60 a 200	4 a 20	10 a 250

Dg1NF (contenedor de un litro no fertilizado); Dg1F (contenedor de un litro fertilizado); Dg5NF (contenedor de cinco litros no fertilizado) y Dg5F (contenedor de cinco litros fertilizado). Las medias seguidas por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí (n=15; P<0.05, LSD). (*) Propuesto por Landis et al. (1989).

Table 4. Nutrient content in dry needle samples of *Pinus douglasiana* Martínez.

Treatments	Nitrogen (%)	Iron (ppm)	Copper (ppm)	Manganese (ppm)
Dg1NF	0.49 (0.06) ^a	65.66(4.6) ^a	1.84 (0.1) ^{ab}	156.50(6.9) ^a
Dg1F	0.79(0.02) ^b	74.18(2.0) ^a	2.31(0.1) ^{ab}	144.42(3.9) ^a
Dg5NF	1.27(0.02) ^c	110.57(2.8) ^b	2.73(0.1) ^b	260.66(5.7) ^b
Dg5F	1.20(0.06) ^c	74.70 (2.5) ^a	1.46(0.4) ^a	210.05(5.5) ^{ab}
* Reference	1.2 to 2.2	60 to 200	4 to 20	10 to 250

Dg1NF = 1 L container without fertilizer; Dg1F = 1 L container with fertilizer; Dg5NF = 5 L container without fertilizer; Dg5F = 5 L container with fertilizer. There are no significant differences between means followed by the same letter in a column (n=15, P<0.05, LSD). (*) Proposed by Landis et al. (1989).

Los resultados de los análisis (Cuadro 4) muestran que el volumen del contenedor también tuvo efecto sobre la disponibilidad y absorción de algunos nutrientes. Los tratamientos se diferenciaron en grupos por el tamaño de contenedor, de acuerdo a los datos obtenidos los contenedores de cinco litros están dentro de los niveles de contenido nutrimental foliar recomendado por Landis *et al.* (1989), excepto el cobre. Sobre el particular, se considera que estos elementos son los más importantes en los procesos de la fotosíntesis y respiración (Alcántar *et al.*, 2012); y, por lo tanto, son determinantes para las especies de coníferas de rápido crecimiento, lo cual fue citado por Nambiar y Sands (1993), quienes señalaron que ese grupo botánico presenta una tasa superior de crecimiento con altos contenidos de nitrógeno.

En el tratamiento DgIF se determinó una mayor concentración de nitrógeno, debido a la limitación del contenedor para el desarrollo de la biomasa. Lo anterior se debe a que contenedores de menor volumen restringen el crecimiento de la planta; por lo tanto, se reduce la disponibilidad de agua y nutrimentos (Domínguez *et al.*, 2006).

A pesar de que en los contenedores de 5 L los niveles de contenido nutrimental fueron superiores, el efecto entre el tratamiento fertilizado (Dg5F) y no fertilizado (Dg5NF) resultó inverso al que se presentó en los de 1 L. Esto puede responder a que al tener más espacio para el desarrollo de la biomasa radical, las especies de rápido crecimiento, como *P. douglasiana*, desarrollan más biomasa radical, y cuando estas cubren sus necesidades nutrimentales, la adición de fertilizantes provoca un efecto adverso en la absorción de minerales (Rodríguez, 1982). Por lo tanto, el crecimiento de las variables morfológicas es afectado, lo cual concuerda con lo documentado por Domínguez *et al.* (2006), quienes indican que el aumento en el aporte de nitrógeno (250 mg L⁻¹, en solución) incide en forma negativa en el crecimiento de la raíz y hay menor cantidad de raíces nuevas. Por ejemplo, Aldana y Aguilera (2002) señalan que para coníferas de rápido crecimiento se deben incorporar de 50 a 75 ppm de nitrógeno.

En este contexto, la aplicación al sustrato de 6 kg de fertilizante (Multicote™) por metro cúbico de sustrato es suficiente para la producción de *P. douglasiana* en contenedores de 5 L y bajo las condiciones del presente trabajo; sin embargo, para contenedores de 1 L es necesario suministrar fertilizantes adicionales.



The results of the analyses (Table 4) show that the container volume also had an effect on the availability and absorption of some nutrients; the treatments were grouped according to container size, according to the values obtained for the 5 L containers, which, except for copper, are within the range of the foliar nutrient content recommended by Landis *et al.* (1989). In this regard, these elements are considered to be the most important in the photosynthesis and breathing processes (Alcántar *et al.*, 2012); therefore, they are decisive for the fast growing conifer species, as quoted by Nambiar and Sands (1993), who pointed out that this botanical group has a higher growth rate with high nitrogen contents.

The DgIF treatment registered a higher nitrogen concentration due to the restriction of biomass development by the container. This is because smaller containers restrict plant growth, and therefore reduce the availability of water and nutrients (Domínguez *et al.*, 2006).

Although nutrient content levels were higher in 5 L containers, the effects of the treatment with and without fertilizer (Dg5F and Dg5NF, respectively) were the opposite of those obtained with 1 L containers. This may be because larger spaces allow greater development of root biomass in fast growing species like *P. douglasiana*, and when these seek to meet their nutritional needs, the addition of fertilizers causes an adverse effect on the absorption of minerals (Rodríguez, 1982). Thus the growth of the morphological variables is affected, as documented by Domínguez *et al.* (2006), who point out that the increase in the nitrogen input (250 mg L⁻¹, in solution) has a negative impact on root growth and results in a lower number of new roots. For example, according to Aldana and Aguilera (2002), fast growing conifers require the addition of 50 to 75 ppm of nitrogen.

Within this context, the application of 6 kg of fertilizer (Multicote™) to each cubic meter of substrate is sufficient for the production of *P. douglasiana* in 5 L containers and under the conditions of this study; however, for 1 L containers, additional fertilizers must be applied.

Correlation between the morphological variables and the foliar nutrient content in *Pinus douglasiana*

The iron concentration in the needles evidenced a positive relation with the tree height ($r=0.99^*$), as this element accelerates the transportation of electrons for the photosynthetic process and is involved in the synthesis of chlorophyll, as well as in the functioning and structure of the chloroplast (Terry and Abadía, 1986; Alcántar *et al.*, 2012).



Correlación de las variables morfológicas y el contenido nutrimental foliar en *Pinus douglasiana*

La concentración del hierro en las acículas evidenció una relación positiva con la altura ($r=0.99^*$), ya que dicho elemento acelera el transporte de electrones para el proceso fotosintético, además participa en la síntesis de clorofila, así como en el funcionamiento y estructura del cloroplasto (Terry y Abadía, 1986; Alcántar *et al.*, 2012).

El manganeso se relacionó positivamente con el diámetro de tallo ($r=0.97^*$), el volumen aéreo ($r=0.99^*$) y el peso aéreo ($r=0.98^*$). Aunque no se conocen con detalle los mecanismos de acción de este elemento, se sabe que participa en la absorción iónica, fotosíntesis, respiración y síntesis de proteínas (Alcántar *et al.*, 2012); por lo tanto, los resultados indican que el manganeso debe ser considerado un nutrimento esencial para que las plantas de *Pinus douglasiana* incrementen su biomasa aérea en las etapas iniciales del desarrollo.

VARIABLES MORFOLÓGICAS E ÍNDICES DE CALIDAD EN *PINUS DEVONIANA*

En el Cuadro 5 se observa que todas las variables morfológicas presentaron efecto significativo ($P<0.05$) por el tamaño de contenedor, mientras que la fertilización solo afectó de forma significativa el volumen aéreo y radical. Ninguna de las variables fue significativa por efecto de la interacción.

Cuadro 5. *P*-valor del ANOVA de altura, diámetro de cuello y biomasa del *Pinus devoniana* Lindl. con o sin fertilización foliar en dos volúmenes de contenedores.

Variable	gl	Altura	Diámetro	Biomasa			
				Vol. aéreo	Peso aéreo	Vol. radical	Peso radical
Tamaño contenedor (A)	1	0.020*	0.029*	0.000*	0.000*	0.000*	0.001*
Fertilización (B)	1	0.807	0.202	0.000*	0.279	0.000*	0.051
AxB	1	0.844	0.949	0.961	0.305	0.152	0.179

(*)Significancia con un nivel de confianza del 95.0%. gl= Grados de libertad.

Table 5. *P*-value of the ANOVA for height, stem diameter and biomass of *Pinus devoniana* Lindl. with or without foliar fertilizer with two different container volumes.

Variable	gl	Height	Diameter	Biomass			
				Aerial vol.	Aerial weight	Root vol.	Root weight
Container size (A)	1	0.020*	0.029*	0.000*	0.000*	0.000*	0.001*
Fertilizer (B)	1	0.807	0.202	0.000*	0.279	0.000*	0.051
AxB	1	0.844	0.949	0.961	0.305	0.152	0.179

(*)Significance with a 95.0 % confidence index; gl = Degrees of freedom.

A positive association was found to exist between manganese and stem diameter ($r=0.97^*$), aerial volume ($r=0.99^*$) and aerial weight ($r=0.98^*$). Although the action mechanisms of this element are not known in detail, we do know that it is involved in ion absorption, photosynthesis, breathing and protein synthesis (Alcántar *et al.*, 2012). Therefore, the results indicate that manganese must be regarded as an essential nutrient for the growth of aerial biomass in *Pinus douglasiana* plants during the initial stages of their development.

Morphological variables and quality indices in *Pinus devoniana*

Table 5 shows that all the morphological variables had a significant effect ($P<0.05$) as a result of the container size, while the use fertilizers produced significant effects only on the aerial and root volumes. The interaction had no significant effects on any of the variables.



La información generada corresponde con lo citado por Domínguez (2006) y Ortega *et al.* (2006), autores que consignan un efecto superior del volumen del contenedor en comparación al inducido por la fertilización, en el desempeño de las plantas en vivero. Jeong *et al.* (2010) documentan que el crecimiento de *P. densiflora* y *P. thunbergii* en contenedores de volumen superior tuvo un efecto significativo por la aplicación de fertilizantes foliares, lo cual se reflejó en la producción de biomasa. Además, se reconoce que un mayor volumen de contenedor en especies de coníferas permite el desarrollo de un volumen radical más grande, lo que favorece la absorción de agua y nutrientes; por lo tanto, tendrán un potencial de crecimiento y producción de biomasa total más altos (Landis *et al.*, 1994; NeSmith y Duval, 1998; Cañellas *et al.*, 1999; Hess y De Kroon, 2007; Prieto *et al.*, 2007). South *et al.* (2004) y Domínguez *et al.* (2006) mencionan que el tipo y tamaño del contenedor determinan el tiempo que podrán mantenerse las plantas en vivero, sin que presenten algún tipo de daño, como el ahorcamiento de la raíz o el limitado acceso al agua y nutrientes en comparación con los contenedores con más capacidad.

Con base en lo anterior, es factible señalar que a pesar de usar contenedores de mayor volumen en el sistema Doble-Trasplante para la producción de planta forestal, sobre todo de coníferas, resulta económica y operativamente incuestionable. Es posible que por los resultados y ventajas que ofrece a largo plazo, sea una alternativa atractiva para establecer reforestaciones en sitios con condiciones edafoclimáticas especiales o adversas (Salcedo *et al.*, 2012).

En la Figura 3 se observa que los tratamientos con fertilización en ambos tamaños de contenedor tuvieron un incremento superior en la mayoría de las variables, en contraste con los tratamientos no fertilizados, lo cual representó un comportamiento inverso con respecto a *P. douglasiana*. La respuesta favorable de las plantas a la fertilización, independientemente del tamaño de contenedor, indica que los nutrientes que formaron parte del sustrato no fueron suficientes para cubrir las necesidades nutricionales de la especie en las etapas iniciales de crecimiento. Finalmente, el comportamiento diferente entre especies por efecto de la fertilización evidencia que las necesidades nutricionales son específicas y propias de cada una de ellas. En la presente investigación se considera que dichas diferencias están relacionadas con el hábito de crecimiento contrastante entre los taxa utilizados.

En el caso de *P. devoniana*, los tratamientos no se agruparon de manera clara por efecto del volumen de contenedor, pero sí por la fertilización; aunque fue diferente para los tratamientos de 1 y 5 L. En general para los tratamientos de 1 L, el efecto de la aplicación de fertilizante se reflejó en un incremento en el contenido de los nutrientes (Dv1F), y en los de 5 L el impacto fue inverso (Dv5F).

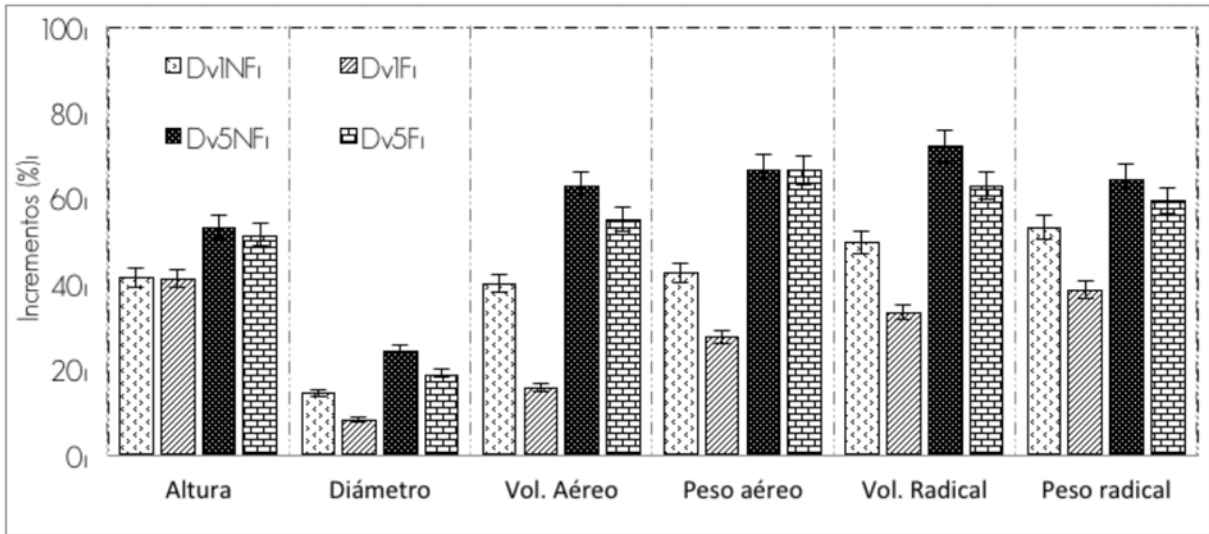
The information generated agrees with the findings of Domínguez (2006) and Ortega *et al.* (2006), who registered a greater effect on the performance of plants in the nursery due to the container volume than to the use of fertilizers. According to Jeong *et al.* (2010), the application of foliar fertilizers had a significant effect on the growth of *P. densiflora* and *P. thunbergii* in larger containers; this was reflected on the biomass production. In addition, a larger container volume admittedly allows the development of a larger root volume in conifer species, whereby the absorption of water and nutrients is favored. The trees will therefore have a higher growth potential and a larger biomass production (Landis *et al.*, 1994; NeSmith and Duval, 1998; Cañellas *et al.*, 1999; Hess and De Kroon, 2007; Prieto *et al.*, 2007). South *et al.* (2004) and Domínguez *et al.* (2006) mention that container type and size determine the time period during which the plants can be kept in the nursery without the occurrence of any damage such as strangling of the root collar or limited access to water and nutrients, compared to plants grown in larger containers.

Based on this, it may be pointed out that, despite the use of larger containers, the benefits of Double-Transplanting system in economic and operational terms are unquestionable. The results and advantages obtained with it in the long term may render it an attractive alternative for establishing reforestations in sites with special or adverse edaphoclimatic conditions (Salcedo *et al.*, 2012).

Figure 3 shows that the treatments with fertilizers in both container sizes produced greater increases in most variables, unlike treatments without fertilizers -which is the opposite effect to that obtained for *P. douglasiana*. The favorable response of the plants to the use of fertilizers, regardless of the container size, indicates that the nutrients that were part of the substrate were insufficient to meet all the nutritional needs of the plants during the initial stages of their growth. Finally, the difference of behavior between species as an effect of the use of fertilizers clearly shows that each of the two species has specific nutritional needs. The current research considers that these differences are related to the contrasting growth habits of the utilized taxa.

In the case of *P. devoniana*, the treatments were not clearly grouped by the effect of the container volume but by the effect of the use of fertilizers, although this was different for 1 L and 5 L containers. In general, the effect of the application of fertilizers reflected an increase in the content of nutrients in 1 L containers (Dv1F), and a decrease in 5 L containers (Dv5F).



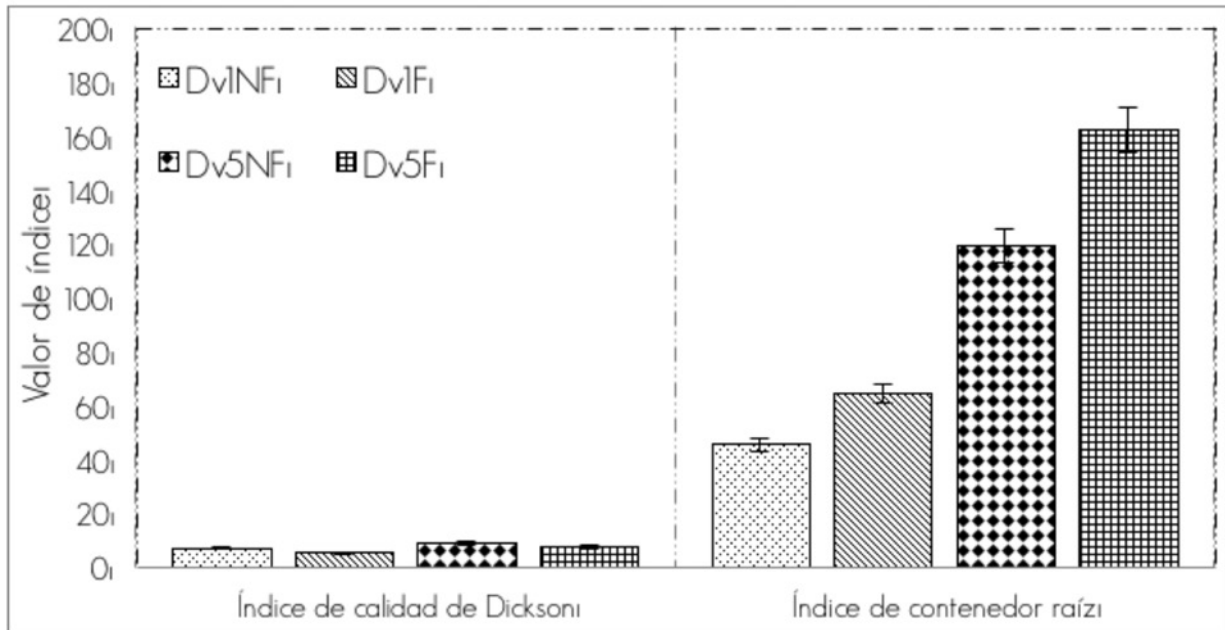


Dv1NF = Contenedor de 1L no fertilizado; Dv1F = Contenedor de 1 L fertilizado; Dv5NF = Contenedor de 5 L no fertilizado; Dv5F = Contenedor de 5 L fertilizado. (*) Tratamiento significativo con base en ANOVA, n=15, P<0.05.

Dv1NF = 1 L container without fertilizer; Dv1F = 1 L container with fertilizer; Dv5NF = 5 L container without fertilizer; Dv5F = 5 L container with fertilizer; (*) Significant treatment based on ANOVA, n=15, P<0.05.

Figura 3. Incremento de los tratamientos respecto a la primera evaluación sobre las variables morfológicas en *Pinus devoniana* Lindl.

Figure 3. Increases in the morphological variables in relation to the baseline evaluation in *Pinus devoniana* Lindl., as an effect of the various treatments.



Dv1NF = Contenedor de 1L no fertilizado; Dv1F = Contenedor de 1 L fertilizado; Dv5NF = Contenedor de 5 L no fertilizado; Dv5F = Contenedor de 5 L fertilizado. Las medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente entre sí (n=15, P<0.05, LSD).

Dv1NF = 1 L container without fertilizer; Dv1F = 1 L container with fertilizer; Dv5NF = 5 L container without fertilizer; Dv5F = 5 L container with fertilizer; (*) Significant treatment based on ANOVA, n=15, P<0.05. Dv1NF = 1 L container without fertilizer; Dv1F = 1 L container with fertilizer; Dv5NF = 5 L container without fertilizer; Dv5F = 5 L container with fertilizer. There are no significant differences between measures followed by the same letter (n=15, P<0.05, LSD).

Figura 4. Respuesta de los tratamientos sobre los Índices de calidad del *Pinus devoniana*. Lindl.

Figure 4. Response of the quality indices of *Pinus devoniana* Lindl. to the treatments.

Respecto a los índices de calidad, tanto el índice de Dickson como el índice de contenedor raíz presentaron un efecto significativo entre el tamaño de contenedor y la fertilización (Figura 4).

Los índices de calidad (Figura 4) en todos los tratamientos resultaron adecuado para el de Dickson (>0.5) (Dickson *et al.*, 1960; Sáenz *et al.*, 2010); sin embargo, los valores más altos se determinaron en los tratamientos Dv5NF y Dv5F con 8.55 y 7.32, respectivamente. El índice de contenedor raíz (ICR) tuvo diferencias entre los tratamientos, con una tendencia hacia valores más altos en los tratamientos Dv5NF (119.16) y Dv5F (162.00). Con base en lo anterior, se afirma que ICR es un buen indicador de la calidad de planta que será trasplantada al campo. Al respecto, en un estudio de *Pinus hartwegii* Lindl. realizado por Bernaola (2012) en condiciones de vivero, el autor señaló que cuanto más alto sea el ICR (27.5 y 125.0), mayor será el porcentaje de supervivencia (13 y 94 %, respectivamente), después de dos años de establecidas las plantas en campo.

Contenido nutrimental en *Pinus devoniana*

En el Cuadro 6 se resumen los resultados del efecto de los tratamientos sobre el contenido mineral. Solo el de nitrógeno fue afectado por el tamaño de contenedor, con una tendencia de mayor concentración en los contenedores de 5 L, pero sin diferencias significativas entre el tratamiento fertilizado y el no fertilizado (1.0 y 0.92). El resto de los minerales (calcio, hierro y cobre) presentaron valores superiores en el contenedor de 1 L; sin embargo, las plantas fertilizadas evidenciaron incrementos únicamente en los contenidos de calcio y hierro.

As for the quality indices, both Dickson's and the root container index showed a significant effect of the container size and the use of fertilizers (Figure 4).

The quality indices (Figure 4) in all the treatments turned out to be adequate for Dickson's index (>0.5) (Dickson *et al.*, 1960; Sáenz *et al.*, 2010); however, the highest values were determined for treatments Dv5NF and Dv5F, with 8.55 and 7.32, respectively. The root container index (ICR) showed differences between treatments, with a tendency to attain higher values with the Dv5NF and Dv5F treatments (119.16 and 162.00, respectively). Based on this, ICR is said to be a good quality indicator for plants to be transplanted to the field. In this respect, a study by Bernaola (2012) on *Pinus hartwegii* Lindl. in nursery conditions pointed out that higher ICRs (27.5 and 125.0) result in higher survival rates (13 and 94 %, respectively) two years after the plants have been established in the field.

Nutrient content of *Pinus devoniana*

Table 6 summarizes the effects of the treatments on the mineral content. Only the nitrogen content was affected by the container size, with a tendency toward a higher concentration in the 5 L containers, but without significant differences between the treatments with and without fertilizers (1.0 and 0.92). The rest of the minerals (calcium, iron and copper) attained higher values in the 1 L containers; however, only the calcium and iron contents increased in the fertilized plants.



Cuadro 6. Contenido nutrimental en acículas secas de *Pinus devoniana* Lindl.

Tratamientos	Nitrógeno (%)	Calcio (ppm)	Hierro (ppm)	Cobre (ppm)
Dv1NF	0.45 (0.02) ^a	2230.21 (131) ^a	123.49 (11.76) ^a	5.50 (0.15) ^b
Dv1F	0.55 (0.01) ^a	3012.69 (121) ^b	299.25 (12.31) ^b	4.90 (0.20) ^b
Dv5NF	1.00 (0.04) ^b	1721.36 (86) ^a	126.15 (10.91) ^a	2.43 (0.36) ^a
Dv5F	0.92 (0.05) ^b	1517.33 (79) ^a	93.94 (11.17) ^a	2.06 (0.46) ^a
*Referencia	1.2 a 2.2	2 a 4 mil	60 a 200	4 a 20

Dv1NF = Contenedor de 1 L no fertilizado; Dv1F = Contenedor de 1 L fertilizado; Dv5NF = Contenedor de 5 L no fertilizado; Dv5F = Contenedor de 5 L fertilizado. Las medias seguidas por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí (n=15, P<0.05, LSD). (*) Propuesto por Landis *et al.* (1989).



Table 6. Nutrient content of dry *Pinus devoniana* Lindl. needles.

Treatments	Nitrogen (%)	Calcium (ppm)	Iron (ppm)	Copper (ppm)
Dv1NF	0.45 (0.02) ^a	2230.21 (131) ^a	123.49 (11.76) ^a	5.50 (0.15) ^b
Dv1F	0.55 (0.01) ^a	3012.69 (121) ^b	299.25 (12.31) ^b	4.90 (0.20) ^b
Dv5NF	1.00 (0.04) ^b	1721.36 (86) ^a	126.15 (10.91) ^a	2.43 (0.36) ^a
Dv5F	0.92 (0.05) ^b	1517.33 (79) ^a	93.94 (11.17) ^a	2.06 (0.46) ^a
*Reference	1.2 to 2.2	2 to 4 thousand	60 to 200	4 to 20

Dv1NF = 1 L container without fertilizer; Dv1F = 1 L container with fertilizer; Dv5NF = 5 L container without fertilizer; Dv5F = 5 L container with fertilizer. There are no significant differences between measures followed by the same letter (n=15, P<0.05, LSD). (*) Proposed by Landis *et al.* (1989).

El contenido más alto de nitrógeno en los tratamientos de 5 L (con y sin fertilizante) se debe a que la cantidad de nitrógeno en el sustrato fue suficiente para cubrir su demanda en los árboles. Resultados que coinciden con la evaluación de Soriano (2011) en *P. devoniana* y *P. patula* Schiede ex Schltdl. et Cham, quien consignó que el efecto del nitrógeno fue altamente significativo en las variables altura, diámetro, peso seco del follaje, biomasa total e índice de calidad de Dickson. Gough *et al.* (2004) señalan que para *P. taeda* L. la fertilización tiene un efecto directo en la capacidad fotosintética, en la mejora del crecimiento y en la producción de biomasa. Por otro lado, los bajos contenidos de nitrógeno en los tratamientos de 1 L responden a la menor cantidad de sustrato y fertilizante en el mismo.

Dada la importancia de la fertilización nitrogenada para *P. devonianan*, Aldana y Aguilera (2002) registran que se debe aplicar una dosis diaria de 75 ppm de nitrógeno, mientras que Soriano (2011) determina que la dosis de 200 ppm de nitrógeno propicia mayor crecimiento en altura, diámetro y acumulación de biomasa en *P. devoniana*; lo que concuerda con el tratamiento fertilizado a la dosis más alta de nitrógeno.

Los menores contenidos de calcio en las acículas de las plantas de los contenedores de 5 L, se deben a que fue destinado para las funciones estructurales de las plantas y no a su acumulación en las hojas; lo cual se refleja en los mayores incrementos de todas las variables de crecimiento en estos tratamientos, en comparación con los tratamientos de 1 L, en los que su alto contenido de calcio obedece más a su poca movilidad; por lo tanto, se acumuló en las acículas y en consecuencia las plantas presentaron menor incremento en dichas variables (Alcántar *et al.*, 2012).

Correlación de las variables morfológicas y el contenido nutrimental foliar en *Pinus devoniana*

El análisis de correlación entre las variables morfológicas y el contenido nutrimental foliar evidenció que la concentración del nitrógeno y cobre en las acículas afectó de manera positiva el crecimiento en altura ($r=0.97^*$). Esto es debido a que el nitrógeno

The content of nitrogen obtained with the treatments in 5 L containers (with and without fertilizer) is due to the fact that the amount of nitrogen in the substrate was sufficient to meet the nitrogen demand of the trees; these results agree with the assessment by Soriano (2011) in *P. devoniana* and *P. patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.; according to Soriano, the effect of nitrogen on the variables height, diameter, dry foliage weight, total biomass and Dickson's quality index was highly significant. Gough *et al.* (2004) point out that the use of fertilizers has a direct effect on the photosynthetic capacity, better growth and higher biomass production in *P. taeda* L. On the other hand, low nitrogen contents in 1 L treatments are due to the smaller amount of substrate and of fertilizer used in them.

Given the importance of nitrogen-rich fertilizers for *P. devoniana*, according to Aldana and Aguilera (2002) a daily dose of 75 ppm of nitrogen promotes greater growth in height, diameter and biomass accumulation in *P. devoniana*; this agrees with the treatment with fertilizers containing a higher dose of nitrogen.

Lower calcium contents in the needles of plants grown in 5 L containers are due to the fact that the calcium was meant to contribute to the structural functions of the plants, rather than for its accumulation in the needles; this is reflected in higher increases in all the growth variables with these treatments, compared with the 1 L treatments, in which the high calcium content is associated to its scarce mobility. Therefore, calcium was accumulated in the needles and the plants showed lower increases of the said variables (Alcántar *et al.*, 2012).

Correlation between the morphological variables and the foliar nutrient content in *Pinus devoniana*

The correlation analysis between the morphological variables and the foliar nutrient content evidenced that the concentration of nitrogen and copper in the needles had a positive effect on the growth in height ($r=0.97^*$). This is because nitrogen is a major component of proteins and nucleic acids. Furthermore, it is involved in the photosynthesis and breathing of the plant. Copper is part of the metabolism of secondary compounds

constituye un importante componente de las proteínas y ácidos nucleicos; además participa en la fotosíntesis y respiración de la planta. El cobre forma parte del metabolismo de compuestos secundarios, y favorece el desarrollo de la biomasa del pino (Jeong *et al.*, 2010; Alcántar *et al.*, 2012). El manganeso incidió favorablemente en el incremento del peso aéreo e índice de contenedor raíz ($r=0.96^*$); aunque, sus valores no se presentan en cuadro de resultados, por no tener diferencia estadística (Anova >0.05). El manganeso también interviene en la fotosíntesis, respiración y síntesis de proteínas (Alcántar *et al.*, 2012).

Conclusiones

En la etapa de vivero, el sistema Doble-Trasplante incrementa las variables de crecimiento de *Pinus douglasiana* y *Pinus devoniana*, por lo tanto mejora sus índices de calidad relacionados con el porcentaje de supervivencia en campo.

La respuesta de las dos especies evaluadas fue diferente por efecto de los tratamientos y dependió de su hábito de crecimiento. *P. douglasiana* requiere de contenedores de mayor volumen, sin ser necesaria la aplicación de fertilizantes. En contraste, *P. devoniana* además del uso de contenedores con más capacidad necesita del suministro adicional de fertilizantes.

Los contenidos foliares de N, Fe, Cu, Ca y Mn tuvieron relación con el crecimiento en ambas especies. El índice de Dickson (IQ) es el que mejor define la calidad de planta en especies de rápido crecimiento como *P. douglasiana*, mientras que para las de hábito cespitoso, como *P. devoniana*, es el índice de contenedor raíz (ICR).

Se propone el uso del ICR para predecir la respuesta de la planta en campo, porque su empleo en vivero es fácil y práctico. 🌱

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), a los responsables del Vivero Forestal Valle de Ameca S. P. R. de R. L. y a la empresa Innovaciones Industriales y Forestales S. A. de C. V., por el apoyo otorgado al proyecto.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribuciones por autor

Rosario Marilú Bernaola-Paucar: realizó el trabajo de investigación y la redacción del primer borrador, así como las correcciones del documento final; Juan Francisco Zamora-Natera: aportación al análisis de datos e interpretación de los resultados; José de Jesús Vargas-Radillo: revisión y generación de sugerencias de corrección; Víctor Manuel Cetina-Alcalá: aportación intelectual en la redacción del manuscrito y apoyo en el laboratorio; Ramón Rodríguez-Macías: revisión del documento y apoyo en el trabajo de campo; Eduardo Salcedo-Pérez: idea del estudio, seguimiento, apoyo y supervisión de todo el trabajo, revisión del borrador y corrección del escrito final.

and favors the development of biomass in pine trees (Jeong *et al.*, 2010; Alcántar *et al.*, 2012). Manganese had a favorable effect on the increases in aerial weight and root container index ($r=0.96^*$); however, its values are not shown in the results table because they had no statistical difference (ANOVA >0.05). Manganese is also involved in the photosynthesis, breathing and synthesis of proteins (Alcántar *et al.*, 2012).

Conclusions

During the nursery stage, the Double-Transplanting system increases the growth variables of *Pinus douglasiana* and *Pinus devoniana*, and, therefore, improves the quality indices associated to their survival rates in the field.

The two evaluated species had different responses to the treatments, whose effect was dependent on their growth habit. *P. douglasiana* requires larger containers, while the application of fertilizers is unnecessary. Conversely, *P. devoniana* requires not only larger containers but also the use of added fertilizers.

N, Fe, Cu, Ca and Mn foliar contents were associated with growth in both species. Dickson's quality index (QI) best determines the quality of the plant in fast growing species such as *P. douglasiana*, while the quality of *P. devoniana* -a species with cespitose growth habit- is the root container index (ICR).

It is proposed to use the ICR to predict the response of the plants in field because its use in the nursery is both easy and practical. 🌱

Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Conacyt; to the managers of the Vivero Forestal Valle de Ameca S. P. R. de R. L. and to the firm Innovaciones Industriales y Forestales S. A. de C. V. for the support they provided to the project.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contribution by author

Rosario Marilú Bernaola-Paucar: she conducted the research and writing of the first draft and the final document corrections; Juan Francisco Zamora-Natera: contribution to data analysis and interpretation of results; José de Jesús Vargas-Radillo: review and correction suggestions generation; Víctor Manuel Cetina-Alcalá: intellectual input in drafting the manuscript and support in the laboratory; Ramón Rodríguez-Macías: document review and support in the; Eduardo Salcedo-Pérez: idea for the study, monitoring, support and supervision of all the work review of the draft and final written correction.

End of the English version

Referencias

- Alcántar G., G., L. Trejo T., L. Fernández P. y Ma. de las Nieves Rodríguez M. 2012. Elementos esenciales. In: Alcántar G., G. y L. Trejo T. (coords.). Nutrición de cultivos. Reedicción. *Printing Arts México*, S. de R. L. de C.V. Texcoco, Edo. de Méx., México. pp. 7-47.
- Alcántar G., G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, Edo. de Méx., México. 240p.
- Aldana B., R. y M. Aguilera R. 2002. Procedimientos y cálculos básicos útiles en la operación de viveros que producen en contenedor. Pronare. Conafor. Guadalajara, Jal., México. 44 p.
- Altamash, B. A., K. N. Qaisar, M. A. Khan and M. Majeed. 2009. Benefit-cost analysis of raising *Pinus wallichiana* seedlings in different capacities/sizes of root trainers in the nursery. *Forestry Studies in China* 11(2): 118-121.
- Alzugaray, P., D. Haase y R. Rose. 2004. Efecto del volumen radicular y la tasa de fertilización sobre el comportamiento en terreno de plantas de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) producidas con el método 1+1. *Bosque* 25(2): 17-33.
- Aphalo, P. and R. Kikala. 2003. Field performance of silver-birch planting stock grown at different spacing and in containers of different volume. *New Forests* 25: 93-108.
- Becerra, P., 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.
- Cañellas, I., L. Finat, A. Bachiller y G. Montero. 1999. Comportamiento de planta de *Pinus pinea* en vivero y campo: ensayos de técnicas de cultivo de planta, fertilización aplicación de herbicidas. *Investigación agraria. Producción y Protección Vegetal* 8(2): 335-359.
- Dickson, A., A. Leaf and J. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. *Forest Chronicle* 36(1):10-13.
- Dominguez-Larena, 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. *Forest Ecology and Management* 221(1): 63-71.
- Eguiluz, T. 1982. Clima y distribución del género *Pinus* en México. *Ciencia Forestal en México* 38 (7): 30-40.
- Fideicomiso del Programa de Desarrollo Forestal del Estado de Jalisco (Fiprodefo). 2006. Programa Estratégico Forestal del Estado de Jalisco (PEFJ) 2007-2030. Secretaría de Desarrollo Rural y de la Dirección General Forestal y de Sustentabilidad. Guadalajara, Jal., México. 201p.
- García M., J. J. 1985. Efecto de la fertilización química sobre el desarrollo de *Pinus douglasiana* en vivero. In: Memoria de la Tercera Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales. SARH, INIF. Morelia, Mich., México. pp. 47-48.
- Gough, C., J. Seiler and C. Maier. 2004. Short-term effects of fertilization on loblolly pine (*Pinus taeda* L.) physiology. *Plant Cell and Environment* 27: 876-886.
- 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, combined meeting of the western forest nursery associations. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Roseburg, Oregon. Gen. Tech. Rep. RM-200. Collins, CO, USA. pp. 53-63, 223-230.
- Harrington, J., J. Mexal and J. Fisher. 1994. Volume displacement provides a quick and accurate way to quantify new root production. *Tree Planters Notes*. Num. 3. Las Cruces, NM, USA. pp. 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 y Geografía (Inegi). 1999. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Ameca, Jalisco, Clave geoestadística 14006. México, D.F., México. s/p.
- Jeong, J., P. Jun-Ho, K. Jong-Ik, L. Jong-Taek, L. Sang-Rai and K. Choonsig. 2010. Effects of container volumes and fertilization on red (*Pinus densiflora*) and black pine (*Pinus thunbergii*) seedlings growth. *Forest Science and Technology* 6(2):80-86.
- Landis, T., R. Tinus, S. McDonald and J. Barnett. 1989. Seedling nutrition and irrigation, Vol. 4. The container tree nursery manual. *Agriculture Handbook* 674. US. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, USA. 119p.
- Landis, T., R. Tinus, S. McDonald and J. Barnett. 1990. Containers and growing media, Vol. 2. The container tree nursery manual. *Agriculture Handbook* 674. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, USA. 88p.
- Landis, T., R. Tinus, S. McDonald and J. Barnett. 1994. Nursery planning, development, and management, Vol. 1. The container tree nursery manual. *Agriculture Handbook* 674. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, USA. 188 p.
- Landis, T., R. Dumroese and D. Haase. 2010. The container tree nursery manual. Volume 7. Seedling processing, storage, and outplanting. *Agriculture Handbook* 674. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, USA. 200 p.
- Maldonado-Benítez, R., A. Aldrete, J. Lopéz-Upton., H. Vaquera-Huerta y M. Cetina-Alcalá. 2011. Producción de *Pinus gregii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. *Agrociencia* 45: 389-398.
- Nambiar, K. and R. Sands. 1993. Competition for water and nutrients in forests. *Canadian Journal of Forest Research* 23:1955-1968.
- NeSmith, D. and J. Duval. 1998. The Effect of Container Size. *HortTechnology* 8: 495-498.
- Ortega, U., J. Majada, A. Mena-Petite, J. Sánchez Z., N. Rodríguez-Ilturrizar, K. Txarterina, J. Azpitarte and M. Duñabeitia. 2006. Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. *New Forests* 31:97-112.
- Pineda-Ojeda, T., V. Cetina-Alcalá, J. Vera-Castillo, C. Cervantes-Martínez y A. Khalil-Gardezi. 2004. El trasplante contenedor-contenedor (1+1) y contenedor-raíz desnuda (P+1) en la producción de planta de *Pinus gregii* Engelm. *Agrociencia* 38: 679-686.
- Prieto R., J., P. Domínguez C., E. Cornejo O. y J. de J. Nívar Ch. 2007. Efecto del envase y del riego en vivero en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. *Madera y Bosque* 13(1): 79-97.
- 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.
- Reyes-Reyes, J., A. Aldrete, V. Cetina Alcalá y J. López-Upton. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* Var. *apulcensis* en sustratos a base de Aserrín. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente* 11(2): 105-110.
- 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 Proceedings. Ogden, UT, USA. pp. 28, 98-104.
- Rodríguez S., F. 1982. Fertilizantes - Nutrición Vegetal, A.G.T. Editor, S.A. México, D.F., México. 157p.

- Sáenz, J., F. Villaseñor, H. Muñoz, A. Rueda y J. Prieto. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico Núm. 17. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich., México. 48 p.
- Salcedo, E., R. Bernaola, E. Hernández, F. López-Dellamary y J. Villa. 2012. Propuesta metodológica para la reforestación de áreas con condiciones edafoclimáticas especiales. Estudio de caso *Pinus hartwegii* Lindl. en el Nevado de Colima. In: Salcedo 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. Tomo I. Amaya Ediciones S. de R.L. de C.V. Guadalajara, Jal., México. 226-243 p.
- Soriano E., G. B. 2011. Efecto de fertilización de N, P y K en la calidad de planta de *P. patula* y *P. devoniana* en vivero. Maestría. Postgrado Forestal. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillos, Edo. de Méx., México. 89 p.
- South, B., W. Harris, P. Barnett, J. Hains and H. Gjerstad. 2004. Effect of container type and seedling size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, U.S.A. Forest Ecology Management 204(2-3): 385-398.
- Terry, N. and J. Abadía. 1986. Function of iron in chloroplasts. Journal of Plant Nutrition 9:609-646.
- Thompson, B. 1985. Seedling morphological evaluation- what you can tell by looking In: Duryea, M. L. (ed.). Proceedings: evaluation seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of mayor test. Oregon State University. Corvallis, OR, USA. pp. 59-71.



