



Artículo / Article

Variación de la distribución de carbono entre la raíz y la parte aérea en tres especies de pino

Variation of carbon distribution between the root and the aerial part in three pine species

Jesús Morales Hernández¹, Mariela Gómez Romero², Crisanto Velázquez Becerra¹
y Enrique Ambriz Parra¹

Resumen

La cantidad de carbono destinada para la parte aérea y la raíz varía entre las especies de plantas y su balance es determinante para la supervivencia de las plantas en campo. El objetivo del presente estudio fue evaluar la distribución de carbono a través de variables de crecimiento y morfología de la raíz en ejemplares de *Pinus michoacana*, *P. martinezii* y *P. pseudostrobus*. El crecimiento se evaluó en vivero y las plántulas fueron regadas cada tercer día con agua corriente. A los 150 días se evaluó la biomasa de la parte aérea y de la raíz, la longitud específica de la raíz (LER) y el volumen de la raíz (VR), así como el número, el diámetro (DPRL) y la longitud (LPRL) de las raíces laterales. La biomasa de la parte aérea y de la raíz, el VR y la LER fueron similares entre *P. pseudostrobus* y *P. martinezii*, mientras que *P. michoacana* presentó valores significativamente mayores en dichos parámetros en relación a las otra dos especies. El número total, la LPRL y el DPRL fueron más altos en *P. michoacana* en comparación con *P. pseudostrobus* y *P. martinezii*; estas variables fueron superiores en *P. pseudostrobus* con respecto a *P. martinezii*. La distribución de carbono varió entre especies y fue más evidente en las variables de morfología de raíz. Por lo tanto, se concluye incluir parámetros de morfología de raíz como indicadores de calidad de planta.

Palabras clave: Biomasa de raíz, longitud específica de raíz, morfología de raíz, *Pinus michoacana* Martínez, *Pinus martinezii* E. Larsen, *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Abstract

The amount of carbon allocated to the shoot and root varies between species. The carbon balance of the shoot and the root is critical for survival in the field. Therefore, the objective of this study was to evaluate carbon allocation through variables of growth and root morphology in *Pinus michoacan*, *P. pseudostrobus* and *P. martinezii* plants, which have variation in survival in the field. The plants were growth in nursery and watered twice a week with tap water. At 150 days, the shoot and root biomass, specific root length (SRL) and root volume (RV), and the number, diameter (RD) and length (RL) of lateral roots were evaluated. The shoot and root biomass, RV and the LER were similar between *P. pseudostrobus* and *P. martinezii*, while *P. michoacana* had significantly higher values of these parameters in relation to the other two species. The number, RL and RD were higher in *P. michoacana* as compared to *P. pseudostrobus* and *P. martinezii* and these variables were higher in *P. pseudostrobus* regarding to *P. martinezii*. The carbon allocation varied inter-species and it was higher in the variables of root morphology. Therefore, it is recommended that root morphology parameters could be taken into account as indicators of quality plant.

Key words: Root biomass, specific root length, root morphology, *Pinus michoacana* Martínez, *Pinus martinezii* E. Larsen, *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Fecha de recepción/Reception date: 8 de febrero de 2016; Fecha de aceptación/Acceptance date: 29 de octubre de 2016.

¹ Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. Correo-e: enriqueambriz1@gmail.com

² Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Introducción

La distribución de carbono se refiere al carbono destinado a la producción de diferentes partes de la planta (Friend *et al.*, 1994); se han propuesto dos teorías: la óptima (Bloom *et al.*, 1985), que establece que una planta lo dirige hacia el órgano que adquiere la fuente más limitante, y la de biomasa alométrica (Niklas y Enquist, 2001) que lo refiere a la sección aérea o a la raíz, en función de su tamaño, calculado por peso seco o por longitud. La cantidad de carbono que se dedica a cada una de estas dos estructuras depende de las condiciones de crecimiento e historia de vida, y es importante porque influye en la capacidad de supervivencia de los pinos después de la plantación (South, 2000). Por lo tanto, es conveniente conocer esta información en especies utilizadas en reforestación y en conservación.

En relación a las condiciones de crecimiento, una disminución en la masa de la parte aérea y de la masa radical en *Pinus pinaster* Ait., *P. pinea* L., *P. canariensis* C. Sm. ex DC., *P. halepensis* Mill. se presentó en situaciones de poca disponibilidad de agua en la cámara de crecimiento (Chambel *et al.*, 2007) y en invernadero (Aranda *et al.*, 2010); en este último ambiente se ha observado el mismo comportamiento en latifoliadas cultivadas (Guarnaschelli *et al.*, 2003).

Por otra parte, las plantas confieren una cantidad de carbono mayor para la construcción de raíces laterales en sitios infértiles (Paz, 2003) o húmedos (Markesteyn y Poorter, 2009), así como para construir una raíz profunda si las semillas proceden de sitios con baja disponibilidad de agua y se desarrollan en invernadero con suficiente agua y nutrientes (Climent *et al.*, 2008).

Así, la distribución de carbono está sujeta a factores como la procedencia o el ámbito de crecimiento y es factible evaluarla de forma indirecta mediante variables asociadas al mismo, lo que facilita la identificación de especies con mejor respuesta en condiciones naturales. Por lo tanto, en la hipótesis de este trabajo se planteó que existe variación significativa en la distribución de carbono en especies con diferente supervivencia en campo: *Pinus michoacana* Martínez con 76 % (Gómez-Romero *et al.*, 2012); *P. pseudostrobus* Lindl. de 2 y 68 % (Muñoz *et al.*, 2011; Gómez-Romero *et al.*, 2012) y *P. martinezii* E. Larsen, por su valor de conservación.

Materiales y Métodos

Las variables que se consideraron fueron peso seco y fresco de la parte aérea y de la raíz, longitud específica de la raíz y su morfología en plántulas de las especies seleccionadas cultivadas en vivero.

Se recolectaron 6 960 semillas de *Pinus martinezii* en Los Azufres, Municipio Ciudad Hidalgo, Michoacán, México

Introduction

Carbon distribution refers to the carbon allocated to the production of different parts of the plant (Friend *et al.*, 1994); two theories have been proposed: the optimal (Bloom *et al.*, 1985), which states that a plant directs it to the organ that acquires the most limiting source, and that of allometric biomass (Niklas and Enquist, 2001) which sends it to the aerial section or the root, depending on its size, calculated by dry weight or length. The amount of carbon devoted to each of these two structures depends on growth conditions and life history, and is important because it influences the survival capacity of pines after planting (South, 2000). Therefore, it is convenient to know this information in species used in reforestation and conservation.

In relation to growth conditions, a decrease in shoot mass and root mass in *Pinus pinaster* Ait., *P. pinea* L., *P. canariensis* C. Sm. ex DC., *P. halepensis* Mill. occurred in growth chamber where situations of low availability of water prevailed (Chambel *et al.*, 2007) and in greenhouse (Aranda *et al.*, 2010); in the latter environment the same behavior has been observed in cultivated hardwoods (Guarnaschelli *et al.*, 2003).

On the other hand, plants confer a larger amount of carbon to build lateral roots in infertile (Paz, 2003) or humid places (Markesteyn and Poorter, 2009), as well as to make up a deep root if the seeds come from sites with low water availability and develop in greenhouses with sufficient water and nutrients (Climent *et al.*, 2008).

Thus, the carbon distribution is subject to factors such as the provenance or scope of growth and it is feasible to evaluate it indirectly through variables associated with it, which facilitates the identification of species with better response under natural conditions. Therefore, in the hypothesis of this work it was considered that there is significant variation in the carbon distribution in species with different survival in the field: *Pinus michoacana* Martínez with 76 % (Gómez-Romero *et al.*, 2012); *P. pseudostrobus* Lindl. from 2 to 68 % (Muñoz *et al.*, 2011; Gómez-Romero *et al.*, 2012) and *P. martinezii* E. Larsen, for their conservation value.

Materials and Methods

The variables that were considered were the fresh and dry weight of the shoot and root, specific length of the root and their morphology in seedlings of the selected species that were grown at the nursery.



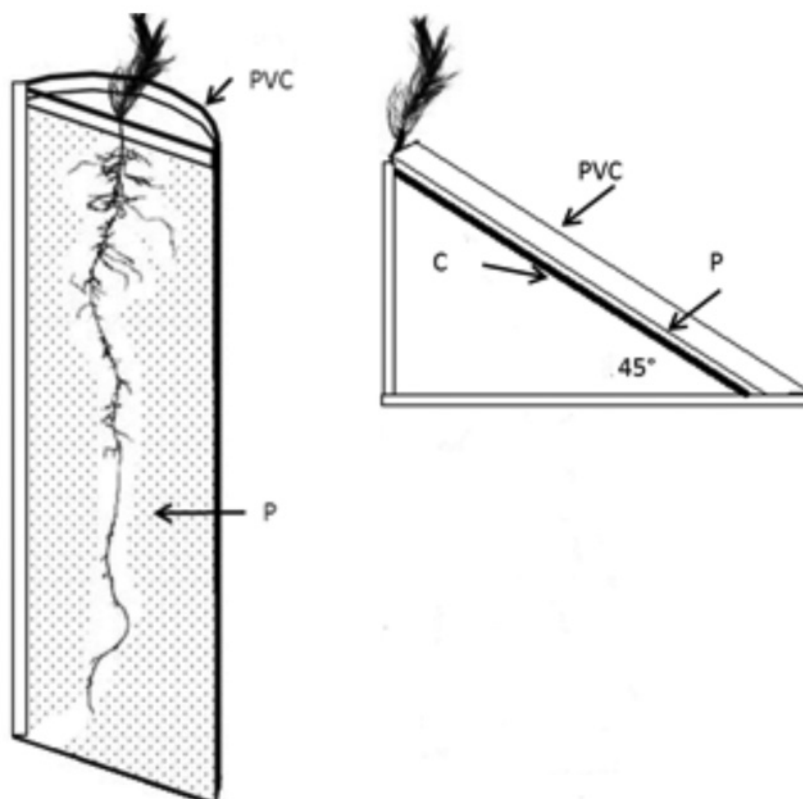
(Morales, 2014) equivalentes a 100 g y lo mismo de semillas de *P. michoacana* Martínez y de *P. pseudostrobus* Lindl., que fueron proporcionadas por la Comisión Forestal del Estado de Michoacán.

De este material, se tomaron cien semillas por especie para este estudio. Se les aplicó un tratamiento pregerminativo de estratificación, que consiste en someterlas a una temperatura de 4 °C durante 15 días. Las semillas ya pre-tratadas se sembraron en cavidades de unicel en sustrato turba-agrolita en una proporción de 1:2 (volumen:volumen), para luego colocarlas en una cámara de crecimiento-germinación bajo condiciones de 25 °C, 75 % de HR y 14 horas de fotoperiodo.

De las plántulas obtenidas (con un porcentaje de germinación entre 85 y 95 %), se seleccionaron 20 de 6 cm de altura por especie, que se les trasplantó en un sistema de mini-rizotrones (Climent et al., 2008). Estos mini-rizotrones se formaron a partir de tubos de polivinilo de cloruro (PVC) de 10 cm de diámetro y 35 cm de longitud, los cuales fueron cortados por el centro, de lo que resultaron dos mini-rizotrones de cada tubo (Figura 1).

A total of 6 960 *Pinus martinezii* seeds were collected in Los Azufres, Ciudad Hidalgo municipality, Michoacán State, México (Morales, 2014) equivalent to 100 g and the same volume for *P. michoacana* Martínez and *P. pseudostrobus* Lindl. seeds, which were provided by the Comisión Forestal del Estado de Michoacán (Forest Commission of the State of Michoacán).

From this material, one hundred seeds per species were taken for this study. A pregerminative treatment of stratification was applied, which consists of subjecting them to a temperature of 4 °C for 15 days. The pre-treated seeds were seeded in unicell cavities in peat-agrolite substrate in a ratio of 1: 2 (volume: volume), then placed in a germination-growing chamber under conditions of 25 °C, 75 % of RH and 14 hours of photoperiod.



P = Policarbonato celular transparente; PVC = Polivinilo de cloruro; C = Lámina de contrachapado de madera de 3 mm de espesor.

P = Clear cell polycarbonate; PVC = Polyvinyl chloride; C = Plywood plywood 3 mm thick.

Figure 1. Mini-rizotron for the growth of *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus martinezii* E. Larsen and *Pinus michoacana* Martínez plants.

Figura 1. Mini-rizotron para el crecimiento de plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus martinezii* E. Larsen y *Pinus michoacana* Martínez.

A los 150 días del trasplante, se practicó un análisis destructivo con 10 plantas por especie seleccionadas al azar. De cada una se registró el peso fresco y el peso seco de la parte aérea y de la raíz obtenidos mediante balanza analítica (Ohaus modelo PA214).

De la segunda se determinaron, también, la longitud específica de raíz (LER) (relación entre la longitud de raíz y peso seco de la raíz en cm g^{-1}), la densidad (relación entre peso seco de raíz y el volumen fresco en g cm^{-3} y volumen fresco de raíz (método de desplazamiento de agua en una pipeta graduada de 1 ml). Se evaluaron todas las raíces laterales para efectos del número, longitud (cm) y diámetro (mm). Su clasificación se basó en la raíz principal como referente, a partir de la cual las raíces más cercanas, serían las de primer orden. La longitud total (LTRL) se calculó mediante la sumatoria de todas ellas.

Después de las mediciones en fresco, las plántulas se secaron en un horno (Terlabo modelo TE-H35D) a 60°C por siete días hasta llegar a peso constante (g) en cada sección.

El análisis del sistema radical se llevó a cabo mediante el programa ImageJ 1.4 (Macintosh). Se utilizó un ANOVA mediante un diseño completamente al azar con el paquete S-pluss (Tibco Software Inc., 2000) con un valor de $P < 0,05$ para la significancia.

Resultados y Discusión

Los resultados indican que *Pinus michoacana* alcanzó valores significativamente mayores en peso fresco y seco de las partes estudiadas respecto a *P. martinezii* y *P. pseudostrobus*. El crecimiento de primera especie fue de entre 72 y 97 % en la parte aérea y de 70 y 140 % en la raíz. Entre *P. martinezii* y *P. pseudostrobus* no se presentó diferencia significativa en dichas variables (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores promedio en biomasa aérea y biomasa de raíz.

	Biomasa aérea		Biomasa de raíz		A/R
	PF (g)	PS (g)	PF (g)	PS (g)	
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	0.69 ± 0.479 b	0.18 ± 0.012 b	0.46 ± 0.037 b	0.0 ± 0.005 b	1.96 ± 0.155 a
<i>Pinus martinezii</i> E. Larsen	0.78 ± 0.107 b	0.18 ± 0.023 b	0.60 ± 0.080 b	0.10 ± 0.012 b	1.91 ± 0.158 a
<i>Pinus michoacana</i> Martínez	1.36 ± 0.114 a	0.34 ± 0.027 a	1.02 ± 0.078 a	0.22 ± 0.015 a	1.58 ± 0.085 a

PF = Peso fresco; PS = Peso seco; A/R = Proporción parte aérea y raíz; ± = Error estándar. Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$ y $n = 10$ por especie).

From the seedlings obtained (with a percentage of germination between 85 and 95 %), 20 of 6 cm high were selected per species, which were transplanted to a mini-rhizotron system (Climent *et al.*, 2008). These mini-rhizotrons were formed from polyvinyl chloride (PVC) tubes 10 cm in diameter and 35 cm in length, which were cut by the center, resulting in two mini-rhizotrons from each tube (Figure 1).

150 days after transplantation, a destructive analysis was performed with 10 plants per species selected at random. From each of the structures studied, the fresh weight and dry weight were recorded by analytical balance (Ohaus I PA214 mode).

From the root, the specific length (LER) (ratio between root length and root dry weight in cm g^{-1}), density (root dry weight ratio and fresh volume in g cm^{-3} and the fresh volume (water displacement method in 1 ml graduated pipette), all lateral roots were evaluated for number, length (cm) and diameter (mm) effects, and their classification was based on the main root as The total length (LTRL) was calculated by summing all of them.

After the fresh weight measurements, the seedlings were dried in an oven (Terlabo TE-H35D model) at 60°C for seven days until reaching constant weight (g) in each section.

The analysis of the radical system was carried out by the ImageJ 1.4 program (Macintosh). An ANOVA was used by a completely randomized design with the S-pluss package (Tibco Software Inc., 2000) with a P value <0.05 for significance.



Table 1. Average values of aerial biomass and root biomass.

Species	Aerial biomass		Root biomass		
	PF (g)	PS (g)	PF (g)	PS (g)	A/R
<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	0.69±0.479 b	0.18±0.012 b	0.46±0.037 b	0.09±0.005 b	1.96±0.155 a
<i>Pinus martinezii</i> E. Larsen	0.78±0.107 b	0.18±0.023 b	0.60±0.080 b	0.10±0.012 b	1.91±0.158 a
<i>Pinus michoacana</i> Martínez	1.36±0.114 a	0.34±0.027 a	1.02±0.078 a	0.22±0.015 a	1.58±0.085 a

PF = Fresh weight; PS = Dry weight; A/R = Aerial part and root rate; ± = Standard error. Different letters indicate significant statistical difference ($P < 0.05$ and $n = 10$ individuals per species).

El crecimiento de las tres especies no se ha reportado considerando un mismo sistema. Estos resultados sugieren que *P. pseudostrabus* y *P. martinezii* provienen de sitios similares, tal como se ha observado en otras especies de pinos (Salazar et al., 1999) y que la supervivencia de estas dos especies posiblemente es similar.

Además, *P. michoacana* podría tener mayor potencial de supervivencia que *P. pseudostrabus* y *P. martinezii*, dado que presenta mayor capacidad de almacenamiento de agua (peso fresco de parte aérea y raíz) e incorpora como tejidos cantidad de carbono asimilado (peso seco) bajo condiciones similares de crecimiento. Esto coincide con los resultados reportados por Gómez-Romero et al. (2012), quienes observaron mayor supervivencia de plantas de *P. michoacana* respecto a plantas de *P. pseudostrabus* en un sitio degradado.

La proporción parte aérea/raíz (A/R) presentó valores entre 1.58 y 1.96 en las tres especies. Estudios previos mostraron que las especies de coníferas destinan mayor carbono para construir la parte aérea que la raíz (Levy et al., 2004; Mokany et al., 2006), lo cual coincide con los resultados de este experimento. Esta distribución de carbono (proporción A/R) coincide con la teoría de la distribución de biomasa alométrica (Niklas y Enquist, 2001) e indica que las tres especies provienen de sitios similares en relación a la disponibilidad de agua. En este sentido, Cregg (1994) observó mayor distribución de carbono a la parte aérea en las plantas de *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws. de diferentes localidades con alta disponibilidad de agua.

Las variables de la raíz se presentan en el Cuadro 2 y éstas no mostraron diferencia significativa entre *P. martinezii* y *P. pseudostrabus*, mientras que la diferencia entre estas dos especies y *P. michoacana* fue significativa, lo cual es similar a lo observado en peso de raíz y parte aérea. La distribución de carbono medida a través de variables morfológicas de raíz no se ha reportado en condiciones de adecuada disponibilidad de agua. La longitud específica de raíz (LER) varió entre las diferentes especies evaluadas en este experimento y fue mayor al 100 % en las plantas de *P. pseudostrabus* y *P. martinezii* en relación a *P. michoacana*. Dichos resultados coinciden con los reportados por King et al. (1997), quienes observaron diferencia significativa

Results and Discussion

Results indicate that *Pinus michoacana* reached significantly higher values in fresh and dry weight of the studied parts compared to *P. martinezii* and *P. pseudostrabus*. The growth of the first species was 72 to 97 % in the aerial part and 70 to 140 % in the root. There was no significant difference in these variables between *P. martinezii* and *P. pseudostrabus* (Table 1).

The growth of the three species has not been recorded from the same system. These results suggest that *P. pseudostrabus* and *P. martinezii* come from similar sites, as has been observed in other pines (Salazar et al., 1999) and that the survival of these two species could behave in the same way.

In addition, *P. michoacana* has a greater potential for survival than *P. pseudostrabus* and *P. martinezii*, as it has a larger water storage capacity, as indicated by the fresh weight of shoot and root, and incorporates an amount of assimilated carbon as tissues (dry weight) under similar growth conditions. This coincides with the findings by Gómez-Romero et al. (2012) who observed greater survival of *P. michoacana* plants than *P. pseudostrabus* plants at a degraded site.

The values of the aerial part / root ratio (A / R) were between 1.58 and 1.96 in all three species. Previous studies have shown that conifers allocate more carbon to build up the area than the root (Levy et al., 2004; Mokany et al., 2006), which agrees with the results of this experiment. This carbon distribution (A / R ratio) coincides with the allometric biomass distribution theory (Niklas and Enquist, 2001) and indicates that all three species come from similar sites in relation to water availability. In this sense, Cregg (1994) observed greater carbon distribution to shoot in *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws plants. from different locations with high availability of water.

The variables of the root showed no significant difference between *P. martinezii* and *P. pseudostrabus* (Table 2), while the difference between these two species and *P. michoacana* was significant, which is similar to that observed in root weight and the aerial part. Carbon distribution measured through root morphological variables has not been recorded under conditions of sufficient water availability. The specific length of this structure (LER) was

de la LER en dos especies de pino. La LER mostró una relación inversamente proporcional con las variables longitud total de raíces laterales (LTRL), longitud promedio de raíces laterales (LPRL), la densidad de raíces (DR) y volumen de raíz (VR). La diferencia entre *P. pseudostrobus* y *P. martinezii* en relación a *P. michoacana* fue entre 40 y 90 %. La relación inversa entre dichas variables coincide con previos reportes. Ostonen *et al.* (2007) observaron plantas con menor LER y mayor capacidad de exploración de suelo. Por lo tanto, *P. michoacana* podría tener una mayor supervivencia en comparación a las otras especies por su capacidad de explorar más volumen de suelo debido a su menor LER. La relación entre la LER y la mayor exploración de suelo en estas especies de coníferas no depende del número total de raíces laterales, sino que la exploración depende de la longitud de raíces laterales del primer orden.

different among the species evaluated in this experiment and was greater than 100 % in *P. pseudostrobus* and *P. martinezii* in relation to *P. michoacana*. These results coincide with those of King *et al.* (1997), who observed a significant difference of LER in two pine species. LER showed an inversely proportional relation with LTRL, LPRL, root density (DR) and root volume (VR). The difference between *P. pseudostrobus* and *P. martinezii* in relation to *P. michoacana* was between 40 and 90 %. The inverse relationship between these variables coincides with previous studies. Ostonen *et al.* (2007) found plants with lower LER and greater soil exploration capacity. Therefore, *P. michoacana* could have a better survival compared to the other species for its ability to explore more soil volume because of its lower RSI. Such behavior in these species of conifers does not depend on the total number of lateral roots, but the exploration depends on the length of the lateral roots of the first order.

Cuadro 2. Valores promedio de las variables de la raíz.

Especie	LER (cm g ⁻¹)	LTRL (cm)	LPRL (cm)	DR (g cm ⁻³)	VR (cm ³)
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	335.3 ± 22.1 a	182.9 ± 8.0 b	1.3 ± 0.08 b	0.21 ± 0.02 ab	0.49 ± 0.06 b
<i>Pinus martinezii</i> E. Larsen	331.7 ± 43.9 a	199.3 ± 26.9 b	1.0 ± 0.09 b	0.18 ± 0.02 b	0.56 ± 0.04 b
<i>Pinus michoacana</i> Martínez	154.2 ± 15.0 b	327.9 ± 21.9 a	1.9 ± 0.17 a	0.26 ± 0.01 a	0.83 ± 0.05 a

LER = Longitud específica de raíz; LTRL = Longitud total de raíces laterales por planta; LPRL = Longitud promedio de raíces laterales, DR = Densidad (DR); VR = Volumen de la raíz. ± = Error estándar. Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa (P < 0.05 y n = 10).

Table 2. Root average values of the three studied species.

Species	LER (cm g ⁻¹)	LTRL (cm)	LPRL (cm)	DR (g cm ⁻³)	VR (cm ³)
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	335.3±22.1 a	182.9±8.0 b	1.3±0.08 b	0.21±0.02 ab	0.49±0.06 b
<i>Pinus martinezii</i> E. Larsen	331.7±43.9 a	199.3±26.9 b	1.0±0.09 b	0.18±0.02 b	0.56±0.04 b
<i>Pinus michoacana</i> Martínez	154.2±15.0 b	327.9±21.9 a	1.9±0.17 a	0.26±0.01 a	0.83±0.05 a

LER = Specific root length; LTRL = Total length of lateral roots per plant; LPRL = Average length of lateral roots; DR = Density; VR = Volume of the root. ± = Standard error. Different letters indicate significant statistical difference (P < 0.05 and n = 10 individuals per species).

Los valores de morfología de raíz muestran una clara diferencia en la distribución de carbono en las tres especies (Cuadro 3). *P. martinezii* presentó una longitud de la raíz principal y un número de raíces de primer orden mayor significativamente en relación a *P. pseudostrobus* y *P. michoacana*. La longitud y el diámetro de las raíces laterales de primer orden fueron mayores significativamente en *P. michoacana* en relación a las otras dos especies. El mayor diámetro las raíces del primer, segundo y tercer orden se presentó en *P. michoacana* y *P. pseudostrobus* en relación a *P. martinezii*. Estos resultados de morfología de raíz hacen evidente la variación en cuanto a distribución de carbono entre especies de pino y aportan más

The values of root morphology show a clear difference in the carbon distribution in the three species (Table 3). The length of the main root and the number of first order roots was significantly higher in *P. martinezii* than in *P. pseudostrobus* and *P. michoacana*; of the latter, the length and diameter of the first order lateral roots were also found in *P. michoacana* in relation to the other two species. The largest diameter of the roots of the first, second and third order was confirmed in *P. michoacana* and *P. pseudostrobus* compared to that of *P. martinezii*. These results of root morphology make evident the variation in carbon distribution among pine species and provide further evidence that the greater survival of *P. michoacana* could be related

evidencia de que la mayor supervivencia de *P. michoacana* podría estar relacionada con la longitud y diámetro de las raíces laterales, seguido de *P. pseudostrobus* y por último *P. martinezii*.

to the length and diameter of the lateral roots, followed by *P. pseudostrobus* and finally *P. martinezii*.

Cuadro 3. Valores promedio de número, longitud (cm) y diámetro (mm) de raíces laterales en los diferentes ordenes del sistema radical.

	Número de raíces			Longitud de raíz			Diámetro de raíz		
	Pma	Pp	Pmi	Pma	Pp	Pmi	Pma	Pp	Pmi
Principal	1 ± 0.0 a	1 ± 0.0 a	1 ± 0.0 a	30.1 ± 2.4 a	46 ± 0.3 b	46 ± 0.5 b	1.1 ± 0.005 c	1.9 ± 0.009 b	2.4 ± 0.015 a
Primer orden	49 ± 6.6 a	13 ± 0.9 c	16 ± 0.7 b	2.8 ± 0.5 c	8.6 ± 0.8 b	12.6 ± 0.7 a	0.6 ± 0.002 b	0.9 ± 0.004 a	0.9 ± 0.002 a
Segundo orden	108 ± 14.2 a	111 ± 10.1 a	126 ± 10.9 a	0.6 ± 0.1 a	0.7 ± 0.1 a	0.9 ± 0.2 a	0.5 ± 0.001 b	0.7 ± 0.002 a	0.7 ± 0.002 a
Tercer orden	32 ± 7.9 ab	22 ± 3.2 b	39 ± 7.2 a	0.4 ± 0.1 a	0.3 ± 0.1 a	0.4 ± 0.1 a	0.5 ± 0.003 b	0.6 ± 0.001 a	0.6 ± 0.002 a
Cuarto orden	-	0.72 ± 0.5 a	3 ± 1.6 a	-	0.1 ± 0.02 a	0.3 ± 0.20 a	-	0.1 ± 0.0006 a	0.2 ± 0.009 a
Total raíz lateral	189.81 ± 17.8 a	146.72 ± 7.5 b	183.81 ± 14.7 a						

Pma = *Pinus martinezii* E. Larsen; Pp = *Pinus pseudostrobus* Lindl.; Pmi = *Pinus michoacana* Martínez.

± = Error estándar. Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa (P < 0.05 y n = 10 por especie).

Table 3. Average values of lateral roots in the different orders of the radical system in the three studied pine species.

Root	Number of roots			Root length			Root diameter		
	Pma	Pp	Pmi	Pma	Pp	Pmi	Pma	Pp	Pmi
Main	1 ± 0.0 a	1 ± 0.0 a	1 ± 0.0 a	30.1 ± 2.4 a	46 ± 0.3 b	46 ± 0.5 b	1.1 ± 0.005 c	1.9 ± 0.009 b	2.4 ± 0.015 a
First order	49 ± 6.6 a	13 ± 0.9 c	16 ± 0.7 b	2.8 ± 0.5 c	8.6 ± 0.8 b	12.6 ± 0.7 a	0.6 ± 0.002 b	0.9 ± 0.004 a	0.9 ± 0.002 a
Second order	108 ± 14.2 a	111 ± 10.1 a	126 ± 10.9 a	0.6 ± 0.1 a	0.7 ± 0.1 a	0.9 ± 0.2 a	0.5 ± 0.001 b	0.7 ± 0.002 a	0.7 ± 0.002 a
Third order	32 ± 7.9 ab	22 ± 3.2 b	39 ± 7.2 a	0.4 ± 0.1 a	0.3 ± 0.1 a	0.4 ± 0.1 a	0.5 ± 0.003 b	0.6 ± 0.001 a	0.6 ± 0.002 a
Fourth order	-	0.72 ± 0.5 a	3 ± 1.6 a	-	0.1 ± 0.02 a	0.3 ± 0.20 a	-	0.1 ± 0.0006 a	0.2 ± 0.009 a
Total lateral root	189.81 ± 17.8 a	146.72 ± 7.5 b	183.81 ± 14.7 a						

Pma = *Pinus martinezii* E. Larsen; Pp = *Pinus pseudostrobus* Lindl.; Pmi = *Pinus michoacana* Martínez; ± = Standard error. Different letters indicate significant statistical difference (P < 0.05 and n = 10 individuals per species).

Conclusiones

Existe variación en la distribución de carbono a nivel inter-especie y coincide con el porcentaje de supervivencia. Esta relación no fue consistente mediante variables como peso seco de parte aérea y raíz, proporción parte aérea y raíz, volumen y longitud de raíz, sino que otras variables como longitud específica de raíz (LER), longitud total de raíces laterales, la longitud y el diámetro de raíces por orden de raíz son parámetros con mayor exactitud. Por último, se sugiere que en trabajos posteriores se considere la evaluación morfológica y de tamaño, tanto en parte aérea como de raíz bajo diferentes condiciones de crecimiento para elucidar con mayor exactitud la variación de la distribución de carbono de las especies de coníferas en México y poder incluir la LER como característica morfológica para calificar la calidad de planta.

Conclusions

There is variation in the carbon distribution at inter-species level and coincides with the percentage of survival. This relationship was not consistent with variables such as dry weight of aerial part and root, proportion aerial part and root, volume and root length, but other variables such as root specific length (LER), total length of lateral roots, length and Root diameter by root order are parameters with greater accuracy.

Acknowledgements

The authors wish to express their gratitude to Javier Villegas Moreno, Lorena Carreto Montoya and Santos Zepeda Guzmán for their support in this research at the Laboratorio de Interacción Suelo-Planta-Microorganismo of Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (Soil-Plant-Microorganism Interaction Laboratory of the Institute of Chemical-Biological Research of the Michoacan University of San Nicolás de Hidalgo). To the Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM) for the contribution of the seeds of *Pinus michoacana* and *P. pseudostrobus*.



Agradecimientos

Agradecemos a Javier Villegas Moreno, Lorena Carreto Montoya y Santos Zepeda Guzmán por el apoyo para la realización de esta investigación en el Laboratorio de Interacción suelo-Planta-Microorganismo del Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. A la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM) por la aportación de las semillas de *Pinus michoacana* y *P. pseudostrobus*.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Jesús Morales Hernández: obtención de datos y elaboración del escrito; Mariela Gómez Romero: colecta y manejo de semillas de *Pinus martinezii*; así como la revisión del manuscrito; Crisanto Velázquez Becerra: análisis estadístico de los datos y revisión del escrito; Enrique Ambriz Parra: asesoría en todo el experimento y elaboración del manuscrito.

Referencias

- Aranda, I., R. Alía, U. Ortega, Á. K. Dantas and J. Majada. 2010. Intra-specific variability in biomass partitioning and carbon isotopic discrimination under moderate drought stress in seedlings from four *Pinus pinaster* populations. *Trees Genetics and Genomes* 6: 169-178.
- Bloom, A. J., F. S. Chapin and H. A. Mooney. 1985. Resource limitation in plants - an economic analogy. *Annual Review of Ecology & Systematics* 16: 363-392.
- Chambel, M. R., J. Climent and R. Alía. 2007. Divergence among species and populations of Mediterranean pines in biomass allocation of seedlings grown under two water regimes. *Annals of Forest Sciences* 64: 87-97.
- Climent, J., J. Alonso and L. Gil. 2008. Root restriction hindered early allometric differentiation between seedlings of two provenances of Canary Island Pine. *Silvae Genetica* 57: 187-193.
- Clegg, B. M. 1994. Carbon allocation, gas exchange, and needle morphology of *Pinus ponderosa* genotypes known to differ in growth and survival under imposed drought. *Tree Physiology* 14: 883-898.
- Friend, A. L., M. D. Coleman and J. G. Isebrands. 1994. Carbon allocation to root and shoot systems of woody plants. In: Davis, T.D. and B. E. Haassig. *Biology and adventitious root formation*. Plenum Press. New York, NY, USA. pp. 245-273.
- Gómez-Romero, M., J. C. Soto-Correa, J. A. Blanco-García, C. Sáenz-Romero, J. Villegas y R. Lindig-Cisneros 2012. Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. *Agrociencia* 46 (8):795-807.
- Guarnaschelli, A. B., J. H. Lemcoff, P. Prystupa and S. O. Basci. 2003. Responses to drought preconditioning in *Eucalyptus globules* Labill. Provenances. *Trees* 17: 501-509.
- King, J. S., R. B. Thomas and B. R. Strain. 1997. Morphology and tissue quality of seedling root systems of *Pinus taeda* and *Pinus ponderosa* as affected by varying CO₂, temperature, and nitrogen. *Plant and Soil* 195 (1): 107-119.
- Levy, P. E., S. E. Hale and B. C. Nicoll. 2004. Biomass expansion factors and root:shoot ratios for coniferous tree species in Great Britain. *Forestry* 77: 421-430.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Contribution by author

Jesús Morales Hernández: data collection and writing of the manuscript; Mariela Gómez Romero: collection and handling of the *Pinus martinezii* seeds, as well as review of the manuscript; Crisanto Velázquez Becerra: data statistical analysis and review of the manuscript; Enrique Ambriz Parra: control and advice of the whole experiment and writing of the manuscript.

End of the English version



- Markestijn, L. and L. Poorter. 2009. Seedlings root morphology and biomass allocation of 62 tropical tree species in relation to drought- and shade-tolerance. *Journal of Ecology* 97: 311-325.
- Mokany, K., R. J. Raison and A. S. Prokushkin. 2006. Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology* 12: 84-96.
- Morales H., J. 2014. Desarrollo de estrategias de propagación en vivero para la conservación de *Pinus martinezii* Larsen. Tesis Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 88 p.
- Muñoz F., H. J., G. Orozco G., V. M. Coria A., J. J. García S., Y. Y. Muñoz V. y G. S. Cruz. 2011. Evaluación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus greggi* Engelm. con dos densidades de plantación en Michoacán México. *Foresta Veracruzana* 13 (1): 29-35.
- Niklas, K. J. and B. J. Enquist. 2001. Invariant scaling relationships for interspecific plant biomass production rates and body size. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98 (5):2922-2927.
- Ostonen, I., Ü. Püttsepp, C. Biel, O. Alberton, M. R. Bakker, K. Löhmus, H. Majdi, D. Metcalfe, A. F. M. Olsthoorn, A. Pronk, E. Vanguelova, M. Weih and I. Brunner. 2007. Specific root length as an indicator of environmental change. *Plant Biosystems* 141 (3): 426-442.
- Paz, H. 2003. Root/Shoot Allocation and root architecture in seedlings: variation among forest sites, microhabitats, and ecological groups. *Biotropica* 35 (3): 318-332.
- Salazar G., J. G., J. J. Vargas H., J. Jasso M., J. D. Molina G., C. Ramírez H. y J. López U. 1999. Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. *Madera y Bosques* 5 (2): 19-34.
- South, D. B. 2000. Planting morphologically improved pine seedlings to increase survival and growth. *Forestry and Wildlife Research Series Num. 1*. Auburn University, Auburn, AL, USA. 12 p.