

MORFOLOGÍA Y CRECIMIENTO POTENCIAL DE RAÍZ DE *Pinus patula* PRODUCIDO EN CHAROLAS CON PODA RADICAL

MORPHOLOGY AND ROOT GROWTH POTENTIAL OF *Pinus patula* PRODUCED IN TRAYS WITH ROOT PRUNING

Manuel Aguilera-Rodríguez¹, Arnulfo Aldrete^{1*}, J. Jesús Vargas-Hernández¹, Javier López-Upton¹, Miguel Ángel López-López¹, Víctor M. Ordaz-Chaparro²

¹Ciencias Forestales, ²Edafología. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. (aalldrete@colpos.mx).

RESUMEN

La planta producida en charolas desarrolla raíces envolventes que afectan su crecimiento posterior. El objetivo del estudio fue evaluar la morfología y el crecimiento radical de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. producido en tres tipos de charolas con cavidades de 170 cm³, dos de plástico y una de poliestireno, con y sin recubrimiento de cobre para podar la raíz de la planta. La hipótesis fue que la planta producida en charolas con recubrimiento de Cu(OH)₂ al 7%, al trasplantarse a envases de mayor capacidad, presenta crecimientos radicales superiores a los producidos en las mismas charolas sin recubrimiento. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 3 × 2 (tres tipos de charola, sin y con impregnación), y cuatro repeticiones por tratamiento. Un tratamiento adicional de charola con diseño para poda radical aérea se incluyó para comparar ambos tipos de poda. Las diferencias estadísticas entre tratamientos se detectaron con ANDEVA, con el procedimiento GLM y la comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). A los nueve meses en vivero, las plantas producidas en charolas con recubrimiento de cobre y diseño para poda radical aérea desarrollaron menos raíces envolventes que las producidas en las mismas charolas sin este tratamiento o diseño (0.1 vs. 3.3 y 0.2 vs. 3.5). Las pruebas de crecimiento radical se realizaron en macetas de 13.2 L durante 1.5 meses. Las plantas con poda radical, por efecto del cobre y del aire, desarrollaron tasas de crecimiento relativo mensual de raíz superiores a las plantas sin poda, en crecimiento horizontal (0.28 vs. 0.15 y 0.18 vs. 0.12 g g⁻¹ por mes) y en crecimiento total de raíces (0.37 vs. 0.29 y 0.30 vs. 0.25 g g⁻¹ por mes). La planta producida en charolas de poliestireno fue superior en calidad morfológica y radical que la planta de las charolas de plástico.

ABSTRACT

Plants grown in trays develop spiraling lateral roots that affect their later growth. The objective of the study was to evaluate root morphology and growth of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. produced in three types of trays with 170 cm³ cavities. Two trays were plastic and one polystyrene, with and without copper coating to prune the plant root. The hypothesis was that the plant produced in trays with 7% Cu(OH)₂ coating would have better root growth than those produced without coating when transplanted to larger containers. The experimental design was completely randomized with a factorial array of 3 × 2 (three types of tray, with and without Cu coating) and four replications per treatment. An additional treatment, a tray designed to air-prune roots, was included to compare the two types of pruning. Statistical differences between treatments were detected with an ANOVA, using the GLM procedure and the Tukey test for comparison of means ($p \leq 0.05$). After nine months in the nursery, plants produced in trays with copper coating and those designed for air root pruning developed fewer spiraling lateral roots than those produced in the same trays without this treatment or design (0.1 vs. 3.3 and 0.2 vs. 3.5). Root growth potential test was conducted in 13.2-L pots for 1.5 months. Plants whose roots were pruned, by effect of copper and air, developed higher monthly relative root growth rates than plants whose roots had not been pruned: horizontal (0.28 vs. 0.15 and 0.18 vs. 0.12 g g⁻¹ per month) and total root growth (0.37 vs. 0.29 and 0.30 vs. 0.25 g g⁻¹ per month). Plants produced in polystyrene trays had better morphological and root quality traits than plants grown in plastic trays.

Key words: *Pinus patula*, root deformation in nursery, chemical root pruning.

* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

Recibido: Abril, 2020. Aprobado: Octubre, 2020.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 55: 81-97. 2021.

Palabras clave: *Pinus patula*, deformación radical en vivero, poda radical química.

INTRODUCCIÓN

Al producir planta de especies forestales en charolas (contenedores) o en bolsas de polietileno no existe el riesgo de que las raíces laterales (RL), que emergen de la raíz principal, se deformen y crezcan hacia abajo al hacer contacto con las paredes de las cavidades (Sung y Dumroese, 2013). En ocasiones, algunas RL desarrollan longitudes mayores a la raíz principal y crecen en forma envolvente en la periferia del cepellón, esto ocurre de manera notable cuando se utilizan charolas con cavidades de volumen reducido ($\leq 150 \text{ cm}^3$) y cuando la planta permanece en ellas más tiempo del necesario (Dumroese y Landis, 2015; Sung *et al.*, 2019).

En reforestaciones hechas con planta producida sin poda radical, la raíz conserva el patrón de crecimiento envolvente y emite pocas raíces laterales en la capa fértil del suelo (Cortina *et al.*, 2006). Esta deformación puede ocasionar un anclaje inadecuado en el suelo y en consecuencia provoca supervivencia baja, crecimiento lento, doblamiento de los árboles por vientos y nevadas, y susceptibilidad mayor a fitopatógenos y roedores, en comparación con plantas de regeneración natural o producidas con poda radical en vivero (Nilsson *et al.*, 2010; Landis *et al.*, 2014).

Para prevenir la deformación radical se utilizan dos técnicas de poda de los ápices de las RL: 1) poda radical química (PRQ), la cual consiste en impregnar con sales de cobre (Cu) las paredes interiores de las cavidades, y 2) poda radical aérea (PRA), consistente en utilizar charolas con cavidades de plástico y aberturas en sus paredes o cavidades con pared de malla biodegradable (*jiffy*®). La planta producida con poda radical desarrolla un eje central y múltiples RL cortas, menores de 2 cm. En campo, estas RL reinician su crecimiento normal, en sentido horizontal, similar a como lo hacen las plantas de regeneración natural (Landis *et al.*, 2014). De acuerdo con Landis *et al.* (2014) y Sung y Haywood (2016), las plantas con poda radical química o aérea son más eficientes en campo que las plantas sin poda.

En México sólo las charolas de poliestireno se impregnan con soluciones de Cu, más con el fin de prevenir que se incrusten las raíces en las paredes de las charolas y al extraer las plantas, se dañen las raíces y las

INTRODUCTION

When producing forest species in trays (containers) or in polyethylene bags, there is a risk that lateral roots (LR) that emerge from the taproot become deformed and grow downwards when they make contact with the walls of the cavities (Sung and Dumroese, 2013). Occasionally, some LR grow longer than the taproot and grow in spiral around the periphery of the root plug. This occurs more notably when trays with smaller cavities ($\leq 150 \text{ cm}^3$) are used and when the plant remains there longer than necessary (Dumroese and Landis, 2015; Sung *et al.*, 2019).

In reforestations with plants produced without root pruning, roots keep the spiraling growth pattern and emit few lateral roots in the fertile soil layer (Cortina *et al.*, 2006). This deformation can cause inadequate anchoring in the soil and consequently low survival, slow growth, bending by winds and snow, and greater susceptibility to phytopathogens and rodents, compared with plants that regenerate naturally or are produced with root pruning in the nursery (Nilsson *et al.*, 2010; Landis *et al.*, 2014).

To prevent root deformation, two techniques are used to prune LR apices: 1) chemical root pruning (PRQ), which consists of coating the interior walls of the cavities with copper (Cu) salts, and 2) air root pruning (PRA), consisting of using plastic trays with cavities that have openings in their walls or that are made of biodegradable mesh (*jiffy*®). The plant produced with root pruning develops a central axis and multiple short LR less than 2 cm long. In the field, these LR reinitiate their normal horizontal growth, similar to plants that regenerate naturally (Landis *et al.*, 2014). According to Landis *et al.* (2014) and Sung and Haywood (2016), plants with chemical or air pruning are more efficient in the field than plants that are not pruned.

In Mexico, only polystyrene trays are coated with Cu solutions, more to prevent the roots from incrusting into the tray walls and damaging both roots and trays when the plants are extracted. Owners of nurseries usually are not interested in producing plants with an adequate root system structure. For this reason, rigid plastic trays are not coated with Cu solutions, as it is done in other countries (Escobar, 2012); and the use of plastic trays designed for air root pruning is incipient. The scarcity of experiments

charolas. Los dueños de los viveros tienen poco interés en producir planta con una estructura adecuada del sistema radical. Por ello, las charolas de plástico rígido no se impregnan con soluciones de Cu, como se hace en otros países (Escobar, 2012); en tanto que las charolas de plástico con diseño para poda radical aérea tienen un uso incipiente. La escasez de experimentos en campo sobre las bondades de las plantas con poda radical adecuada respecto las plantas sin poda, ha contribuido a que las personas involucradas en la reforestación no le den la importancia debida a este aspecto.

Los estudios de campo sobre el efecto de la poda radical en especies nativas son escasos, quizá porque demandan periodos de observación de al menos dos años para tener resultados tangibles. Una alternativa de corto plazo para pronosticar el comportamiento en campo de la planta producida con y sin poda radical, es la prueba de crecimiento potencial de raíz (CPR), la cual consiste en evaluar durante dos a seis semanas una muestra representativa de 25 a 50 plantas, en macetas, melgas o estructuras de crecimiento hidropónico, para determinar la longitud, volumen, peso seco, arquitectura, posición u orientación de las raíces nuevas (Ritchie *et al.*, 2010).

En este contexto, el objetivo principal del estudio fue evaluar el efecto de la poda radical química de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en la morfología de la planta en la etapa de vivero y el crecimiento potencial de la raíz al desarrollarse en cavidades de mayor capacidad volumétrica, para contar con evidencias que permitan predecir el desarrollo de la planta en campo. La hipótesis fue que la planta producida con poda radical química desarrolla número menor de raíces laterales envolventes en vivero y, después del trasplante en envases de capacidad mayor, emiten más biomasa radical en sentido horizontal y total que la planta sin poda.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

La planta se produjo de octubre de 2016 a julio de 2017, en el vivero del ejido Peñuelas Pueblo Nuevo, Chignahuapan, Puebla, México (19° 57' 34.59" N y 98° 06' 23.03" O, y a una altitud de 2600 m). El clima de la zona es C (w₁) (w), templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación y temperatura medias anuales de 750 mm y 12.7 °C (CONAGUA, 2018). El

in the field on the benefits of plants with adequately pruned roots compared to plants that were not pruned has contributed to the fact that people involved in reforestation do not consider the importance of this issue.

Field studies on the effect of root pruning in native species are scarce, perhaps because they demand observation periods of at least two years to produce tangible results. One short-term alternative to predict behavior in the field of plants produced with and without root pruning is the test of root growth potential (RGP). Test consists of evaluating a representative sample of 25 to 50 plants for two to six weeks in pots, planting strips or hydroponic growth structures to determine length, volume, dry weight, architecture, and position or orientation of new roots (Ritchie *et al.*, 2010).

In this context, the main objective of this study was to evaluate the effect of chemical root pruning of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. in the nursery stage on plant morphology and root growth potential when they develop in larger containers to have evidence that would predict plant development in the field. The hypothesis was that plants produced with chemical root pruning develop a smaller number of spiraling lateral roots in the nursery and, after out-planting to larger containers, they emit more total root biomass and more horizontal root growth, than plants without pruning.

MATERIALS AND METHODS

Study location

Plants were produced from October 2016 to July 2017 in the nursery belonging to the ejido Peñuelas Pueblo Nuevo, Chignahuapan, Puebla, Mexico (19° 57' 34.59" N and 98° 06' 23.03" W, at an altitude of 2600 m). The climate in the zone is C (w₁) (w), temperate subhumid with summer rains, mean annual precipitation of 750 mm and mean annual temperature 12.7 °C (CONAGUA, 2018). The experiment was conducted inside the production area that has protective metal structures 3 m high with black 50% shade cloth and a fixed micro-aspersion irrigation system and 70-cm-high metal tables for the trays.

The root growth potential test (RGP) was conducted over 1.5 months, from the fourth week of July to the third week of September 2017 in a greenhouse that is part of the nursery belonging to the Graduate Program in Forestry Sciences, at Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco,

experimento se desarrolló al interior del área de producción que tiene estructuras metálicas de protección de 3 m de alto, con malla sombra al 50% de color negro y sistema de riego fijo por micro aspersión y mesas metálicas porta charolas de 70 cm de alto.

La prueba de crecimiento potencial de raíz (CPR) se realizó durante 1.5 meses, de la cuarta semana de julio a la tercera de septiembre de 2017, en un invernadero del vivero del Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, estado de México. El invernadero es una estructura metálica de 20 × 12 × 5 m, con cubierta plástica cenital y paredes con malla anti áfidos, ambas transparentes. La temperatura promedio al interior del invernadero durante la prueba fue 25.5 °C.

Producción de planta en vivero

Sustratos

La mezcla de sustrato se elaboró con aserrín de *P. patula* sin compostar, perlita, vermiculita y turba de musgo (*peat moss*) en proporción 70:10:10:10, con una porosidad total de 80%, porosidad de aireación de 34%, porosidad de retención de humedad de 46%, pH 5.1 y CE 0.1 dS m⁻¹. Estos valores están dentro de los intervalos recomendados para producir coníferas en charolas (Prieto *et al.*, 2012). En el laboratorio del vivero se determinó la porosidad, conforme con el procedimiento descrito por Prieto *et al.* (2012). Para el pH y la CE se utilizó un recipiente de 5 L, donde se vertió 1 L de sustrato y 1 L de agua potable, 24 h después se hizo su medición con medidor digital portátil de la marca HANNA® instruments, modelo H198130 (EUA).

En la mezcla de sustrato se adicionó fertilizante de liberación controlada a razón de 8.0 g L⁻¹ de Osmocote® Plus, fórmula 15-9-12, más micro elementos de 8-9 meses de liberación, y 1.0 g L⁻¹ de fertilizante de liberación lenta Micromax® (micro elementos). Estos insumos se utilizan en el vivero desde el 2003 para la producción de coníferas de clima templado (Hernández *et al.*, 2014).

Charolas utilizadas y cobrizado

Cuatro tipos de charolas con cavidades semicilíndricas de 170 cm³ se usaron en este experimento y sus características se describen en el Cuadro 1 e ilustran en la Figura 1.

Las cavidades de cuatro charolas de cada uno de los tipos P-54, PS-77 y RT-42 se impregnaron con una solución al 7.0% de Cu(OH)₂. En un recipiente de plástico con 100 mL de agua a 80 °C se disolvieron 83 g de Cu(OH)₂ comercial en polvo, con una pureza de 77% de Cu(OH)₂ (Hidromet®); ya disuelto el hidróxido se adicionó 1 L de sellador acrílico 5 x 1 (Comex®) y se

Mexico. The greenhouse is a metal structure measuring 20 × 12 × 5 m, with a plastic roof and walls made of anti-aphid screen, both transparent. Average interior temperature during the test was 25.5 °C.

Plant production in the nursery

Substrates

Substrate was a mixture of non-composted *P. patula* sawdust, perlite, vermiculite and peat moss in a proportion of 70:10:10:10 with total porosity of 80%, aeration porosity of 34%, moisture retention porosity of 46%, pH 5.1, and EC 0.1 dS m⁻¹. These values are within the recommended intervals for conifer production in trays (Prieto *et al.*, 2012). In the nursery laboratory, porosity was determined following the procedure described by Prieto *et al.* (2012). For pH and EC, we used a 5-L recipient with 1 L of substrate and 1 L of tap water; 24 h later, measurements were made with a portable digital meter (HANNA® instruments, model H198130, USA).

The substrate mixture was supplemented with 8.0 g L⁻¹ of the controlled-release fertilizer Osmocote® Plus, formula 15-9-12, and Micromax® (micro elements). These inputs have been used in this nursery since 2003 to produce temperate climate conifers (Hernández *et al.*, 2014).

Trays and copper coating

Four types of trays with 170 cm³ semi-cylindrical cavities were used in this experiment. Their features are described in Table 1, and illustrated in Figure 1.

The cavities of the four types of trays (P-54, PS-77 and RT-42) were coated with a 7.0% Cu(OH)₂ solution. In a plastic recipient, 83 g of commercial Cu(OH)₂ (Hidromet®) in powder form with a purity of 77% Cu(OH)₂ was dissolved in 100 mL water at 80 °C. Once the hydroxide was dissolved, 1 L of 5 x 1 acrylic sealer (Comex®) was added, and the mixture homogenized. The internal walls of the cavities were coated once with a 2-cm wide brush and dried in the sun for a week before filling them with substrate.

Treatments

The seven treatments were defined by the tray type and root pruning. P-54, PS-77 and RT-42 were used without copper coating (treatments T1, T2 and T3), and these same tray types were coated with Cu (treatments T4, T5 and T6). In addition, tray RTa-42, designed for air root pruning, was treatment T7. The control was T3 (tray RT-42, without Cu coating).

Cuadro 1. Características de cuatro contenedores con cavidades de 170 cm³ utilizados para producir planta de *P. patula*.**Table 1. Characteristics of four trays with 170 cm³ cavities, types used to produce *P. patula* plants.**

Charola	Ancho	Largo	Alto	Densidad m ⁻²	DS (mm)	Altura (cm)	Fabricante
PS-77	35.0	60.0	15.2	366	4.3	15.2	I
P-54	30.8	50.0	13.8	348	4.8	13.8	II
RT-42	37.3	37.5	23.4	298	4.8	13.8	
RTa-42							

DS: diámetro superior; I: Aislantes y Empaques, S.A. de C.V. Guadalajara, Jalisco; II: Innovaciones Industriales y Forestales, S.A. de C.V. Azcapotzalco, Estado de México. PS-77: Charola de poliestireno con 77 cavidades; P-54: charola de plástico de 54 cavidades; RT-42: rejilla con 42 tubetes de plástico; RTa-42: rejilla con 42 tubetes de plástico con tres filas de aberturas circundantes de 3 mm de ancho. ♦ DS: cell diameter; I: Aislantes y Empaques, S.A. de C.V. Guadalajara, Jalisco; II: Innovaciones Industriales y Forestales, S.A. de C.V., Azcapotzalco, México. PS-77: Polystyrene tray with 77 cavities; P-54: plastic tray with 54 cavities; RT-42: rack with 42 plastic tubes; RTa-42: rack with 42 plastic tubes with three equidistant 3 mm peripheral slots for lateral air pruning.

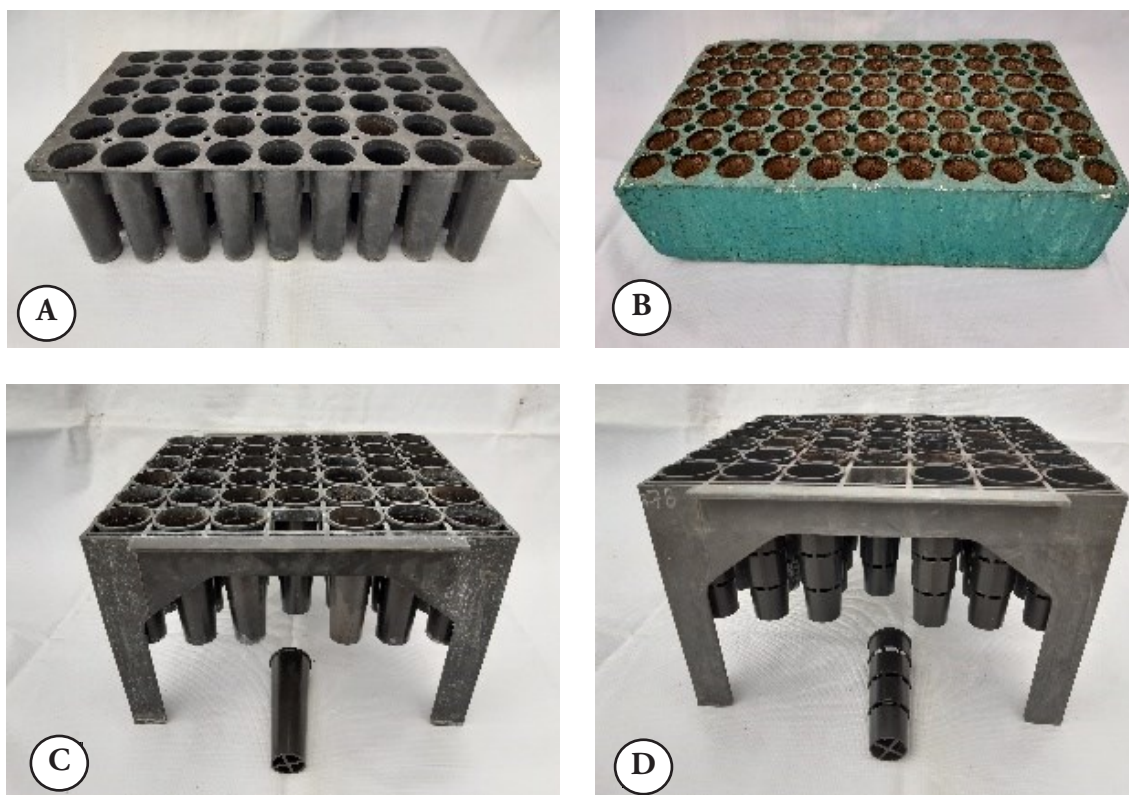


Figura 1. A) charolas P-54 plástico con 54 cavidades; B) PS-77 poliestireno expandido con 77 cavidades; C) RT-42 rejilla con 42 tubetes de plástico; D) RTa-42 rejilla con 42 tubetes de plástico con tres hileras de aberturas circundantes de 3 mm de ancho.

Figure 1. A) P-54 plastic trays with 54 cavities; B) PS-77 expanded polystyrene tray with 77 cavities; C) RT-42 rack with 42 plastic tubes; D) RTa-42 rack with 42 plastic tubes with three equidistant of 3 mm peripheral slots for lateral air pruning.

homogenizaron los ingredientes. Las paredes internas de las cavidades se impregnaron, una vez, con brocha de 2 cm de ancho; después las charolas se secaron al sol durante una semana, antes de su llenado con sustrato.

Tratamientos

Los siete tratamientos se definieron según los tipos de charola utilizados y de la poda de raíz efectuada. Las P-54, PS-77 y RT-42 se usaron sin recubrimiento de Cu (tratamientos T1, T2 y T3) y este mismo tipo de charolas se recubrieron con Cu (tratamientos T4, T5 y T6). Además, la charola RTa-42, con diseño para poda radical aérea, fue tratamiento T7; y el testigo fue el T3 (charola RT-42, sin recubrimiento de Cu).

Manejo de la producción

La siembra se realizó en la primera semana de octubre de 2016, con semilla de *P. patula* recolectada en septiembre de ese año en el ejido Llano Grande, municipio de Chignahuapan, Puebla. Antes de la siembra, la semilla se remojó 24 h en agua potable, que se cambió cada 6 h, y al final se desinfectó durante 30 min en solución al 10% de agua oxigenada comercial. Recién desinfectada se impregnó con biofungicida en polvo Bactiva^{MR}. En cada cavidad se depositaron dos semillas. De una a dos semanas después de ocurrida la germinación se realizó la reposición de planta en las cavidades vacías y el trasplante desde las cavidades con dobles plantas. Durante la etapa de establecimiento (germinación y crecimiento inicial) se aplicaron riegos ligeros cada 3 d, durante la etapa de crecimiento rápido y lignificación se aplicaron riegos pesados (hasta saturar el sustrato) cada 2 d. Desde la siembra y hasta mayo de 2017, el área de producción estuvo protegida con malla sombra al 50%, de color negro; después, de junio a julio de 2017, estuvo en condiciones de intemperie para su lignificación.

Durante la etapa de vivero se registró la temperatura del sitio donde se colocó el conjunto de charolas, así como del sustrato en cada tipo de charola. La temperatura del sitio se midió cada hora con un equipo de medición de la marca HOBO®, modelo U12-012 (EUA). La temperatura del sustrato se midió de lunes a viernes a las 07:00, 14:00 y 18:00 h cada día, en cavidades elegidas en forma aleatoria de cada tipo de charola, con un termómetro digital de agua de aluminio de 15 cm de largo (HANNA® Instruments, modelo HI 145, EUA). Durante el período de producción, la temperatura media del sitio fue 13.7 °C y la del sustrato fue 13.5, 11.5, 11.4 y 10.6 °C, para las charolas PS-77, P-54, RT-42 y RTa-42, respectivamente.

Production management

Sowing was carried out in the first week of October 2016 with *P. patula* seed collected in September of the same year in the ejido Llano Grande, municipality of Chignahuapan, Puebla. Before sowing, the seed was soaked for 24 h in tap water, which was changed every 6 h and finally disinfected in commercial 10% hydrogen peroxide for 30 min. Immediately after disinfection, the seed was impregnated with powdered biofungicide BactivaTM. In each cavity two seeds were sown. One or two weeks after germination, plants from cavities with two plants were transplanted to empty cavities. During the establishment stage (germination and initial growth), light irrigation was applied every 3 d; during the stage of rapid growth and lignification, heavy irrigation (until substrate saturation) was applied every 2 d. From sowing and until May 2017 the production area was protected with black 50% shade cloth. Later, from June to July 2017 the cloth was removed for seedling lignification.

During the nursery stage, the temperature of the site where the set of trays was placed, as well as that of the substrate in each type of tray, were recorded. Site temperature was measured every hour with a HOBO® datalogger, model U12-012 (USA). Temperature of the substrate was measured Monday through Friday at 07:00, 14:00 and 18:00 h every day in randomly selected cavities of each tray type with a 15 cm long needle tip digital thermometer (HANNA® Instruments, model HI 145, USA). During the production period, mean site temperature was 13.7 °C and that of the substrate was 13.5, 11.5, 11.4 and 10.6 °C in trays PS-77, P-54, RT-42 and RTa-42, respectively.

Experimental design

The experimental design was completely randomized with a 3 × 2 factorial array: three types of tray (P-54, PS-77, RT-42) and two levels of chemical root pruning (with and without pruning), with four replications (trays) per treatment. For the additional treatment T7 (air root pruning), four trays were used and, together with treatments 1 to 6, placed randomly in the central part of the nursery production area.

Evaluated variables

Plant morphological characteristics

Nine-month-old plants were evaluated. From the central part of each of the four trays per treatment, 15 plants were extracted systematically. The root plugs were washed with tap water to

Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 3×2 , tres tipos de charola (P-54, PS-77, RT-42) y dos niveles de PRQ (sin poda y con poda), con cuatro repeticiones (charolas) por tratamiento. Para el tratamiento adicional T7 (poda radical aérea) se utilizaron cuatro charolas, que junto con las de los tratamientos 1 al 6 se acomodaron en forma aleatoria en la parte central del área de producción del vivero.

Variables evaluadas

Características morfológicas de la planta

La planta se evaluó a los nueve meses de edad. De cada tratamiento se extrajeron, en forma sistemática, 15 plantas de la parte central de cada una de las cuatro charolas por tratamiento. Para remover el sustrato y dejar libres las raíces, los cepellones de las plantas se lavaron con agua potable. En cada planta se midió la altura de la parte aérea (A), el diámetro del cuello del tallo (D) y el número de raíces laterales gruesas y envoltentes (RLGE) con diámetro ≥ 1 mm y longitud \geq a la longitud del cepellón y con crecimiento en la parte externa del cepellón. Las plantas se seccionaron a la altura del cuello del tallo y ambas partes se colocaron por separado en bolsas de papel y se secaron en un horno eléctrico BINDER® ED- 720 durante 72 h a 70 °C. Para determinar el peso seco de la raíz (PSR) y de la parte aérea (PSA) se utilizó una báscula digital Ohaus® PA-214 a centésimas de gramo. Con los valores anteriores se calcularon: relación peso seco aéreo/peso seco radical (PSA/PSR), índice de robustez (IR = A/D) e índice de calidad de Dickson ICD = PST / (IR + PSA/PSR).

Crecimiento potencial de raíz

La segunda parte del experimento consistió en las pruebas de crecimiento de la raíz, para las cuales se seleccionaron 10 plantas, de cada charola, con tallas promedio en diámetro y altura, para un total de 40 plantas por tratamiento. Para el crecimiento de la planta se utilizaron diez macetas de plástico por tratamiento, con diámetro inferior, diámetro superior y altura de 20, 30 y 27 cm, respectivamente, y capacidad volumétrica de 13.2 L. Las macetas se llenaron con sustrato nuevo, adicionado con fertilizantes, similar al sustrato utilizado para producir la planta en vivero. En cada maceta se plantaron cuatro plantas separadas en forma equidistante, a las cuales se les midieron el diámetro y la altura iniciales (D_0 , A_0). Las macetas se rotularon y se acomodaron en un diseño completamente al azar, en el piso de la parte central del invernadero. Durante la prueba se aplicaron dos riegos por semana.

remove the substrate from the roots. The shoot height (A), stem collar diameter (D) and number of thick spiraling lateral roots (RLGE) were measured on each plant ≥ 1 mm in diameter and with a length \geq the length of the root plug and with growth on the external part of the root plug. The plants were sectioned at the stem collar and the two parts were placed separately in paper bags and dried in an electric oven BINDER® ED- 720 for 72 h at 70 °C. To determine root (PSA) and shoot (PSR) dry weight, a digital scale Ohaus® PA-214, with precision to hundredths of a gram, was used. With these values, we calculated the shoot dry weight/root dry weight (PSA/PSR), robustness index (IR = A/D), and the Dickson quality index ICD = PST / (IR + PSA/PSR).

Root growth potential

The second part of the experiment consisted of root growth tests. For these tests, 10 plants with average stem diameter and height were selected from each tray, for a total of 40 plants per treatment. For plant growth, 10 plastic pots with bottom diameter, top diameter and height of 30, 30 and 27 cm, respectively, and volume of 13.2 L were used per treatment. Pots were filled with new substrate similar to the substrate in which plants were produced in the nursery, and fertilizer was added. Four plants were equidistantly planted in each pot and initial diameter and height (D_0 , A_0) were measured. Pots were labeled and arranged in a completely randomized design on the floor in the central part of the greenhouse. During the test the pots were irrigated twice per week.

After 1.5 months, plants were extracted and the root system washed, procuring that the root plug did not lose its initial shape in order to differentiate the roots emitted during the test. On each plant, final diameter and height (D_1 , A_1) were measured, and separately, the roots with horizontal growth (R_h) emitted from the periphery of the root plug and the roots with vertical growth (R_v) emitted from the base of the root plug were cut off. The stems, root plugs (C_p) and R_h and R_v of each plant were placed separately in paper bags and dried at 70 °C for 72 h in an electric oven (BINDER®, model ED- 720, Germany). Dry weight of each component was registered on centigram precision digital scale (Ohaus®, modelo PA214, USA).

For each treatment, we calculated the monthly relative growth rate in dry weight of roots with horizontal growth (T_{crmR_h}), that of roots with vertical growth (T_{crmR_v}), and of total roots emitted (T_{crmR_t}), with the formula $T_{crmR} = [(\ln Y_2 - \ln Y_1) / (T_2 - T_1)]$, where: Y_1 = value of the variable at the beginning of the test, Y_2 = the value of the variable at the end of the test; T_1 = plant age at the beginning of the test (9 months); T_2 = plant age at the end of the test (10.5 months). We considered as the initial value of dry root plugs, the weight without substrate (PSCp) and the final weight was that initial weight (PSCp) plus

A 1.5 meses de la prueba, se extrajo la planta y se lavó su sistema radical procurando que los cepellones no perdieran la forma que presentaban al inicio, con el propósito de diferenciar las raíces emitidas durante la prueba. En cada planta se midió el diámetro y la altura finales (D_1 , A_1), por separado se cortaron las raíces con crecimiento horizontal (R_h), emitidas desde la periferia del cepellón y las raíces con crecimiento vertical (R_v), emitidas a partir de la base del cepellón. Los tallos, cepellones (C_p) y R_h y R_v de cada planta se colocaron por separado en bolsas de papel y se secaron a 70 °C durante 72 h, en horno eléctrico de la marca BINDER®, modelo ED- 720 (Alemania). El peso seco de cada componente se determinó en báscula digital a centésimas de gramo (Ohaus®, modelo PA214, USA).

Para cada tratamiento se calculó la tasa de crecimiento relativo mensual en peso seco de raíces con crecimiento horizontal (T_{crmR_h}), raíces con crecimiento vertical (T_{crmR_v}) y para el total de raíces emitidas (T_{crmR_t}), con la fórmula: $T_{crmR} = [(\ln Y_2 - \ln Y_1) / (T_2 - T_1)]$, donde: Y_1 = valor de la variable al inicio de la prueba Y_2 = valor de la variable al final de la prueba; T_1 = edad de la planta al inicio de la prueba (9 meses); T_2 = edad de la planta al final de la prueba (10.5 meses). Para las variables R_h , R_v y R_t se consideró como valor inicial el peso seco del cepellón sin sustrato (PSCp) y como valor final el mismo peso (PSCp) más el peso de R_h , R_v y R_t , respectivamente. Al calcular el logaritmo de las variables R_h , R_v y R_t se consideró que no hubo cambios en el peso seco del cepellón sin sustrato (PSCp) durante el desarrollo de la prueba.

Análisis estadístico

Los análisis de varianza se realizaron con el programa SAS® versión 9.0 (SAS Institute, 2002), para las variables morfológicas de la planta producida y las tasas de crecimiento relativo al final de la prueba de crecimiento potencial de la raíz. A los factores con efectos significativos se les aplicó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Para analizar el efecto del tratamiento adicional con poda radical aérea T7 (RTa-42), se realizó otro análisis de varianza y se incluyeron el tratamiento testigo T3 (RT-42 sin poda) y el T6 (RT-42 con recubrimiento de Cu).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de las plantas

El tipo de contenedor tuvo efectos significativos ($p \leq 0.05$) en las variables D, A, PSA, PSR, IR e ICD, más no en las variables relación PSA/PSR y RLGE, lo cual indica que la solución de Cu utilizada tuvo un efecto similar en los tres tipos de charola utilizadas con respecto al crecimiento de la parte aérea y de la

the weight of R_h , R_v and R_t , respectively. When calculating the logarithm of the variables R_h , R_v and R_t , there were no changes in root plug dry weight without substrate (PSCp) during the test.

Statistical analysis

The analyses of variance were performed with SAS® version 9.0 (SAS Institute, 2002) for the morphological variables of the plant and the relative growth rates at the end of the root growth potential test. The Tukey test ($p \leq 0.05$) was conducted on factors that had significant effects. To analyze the effect of the additional treatment with air root pruning T7 (RTa-42), another analysis of variance was performed, wherein the control treatment T3 (RT-42 without pruning) and T6 (RT-42 with Cu coating) were included.

RESULTS AND DISCUSSION

Plant growth

Type of container had significant effects ($p \leq 0.05$) on the variables D, H, PSA, PSR, IR and ICD, but not on the variables PSA/PSR ratio or RLGE, indicating that the Cu solution used had a similar effect in the three tray types used, regarding shoot and root growth. The plants produced in polystyrene trays without Cu pruning developed stems (D, A) and dry weights (PSA, PSR) greater than those of individuals grown in the two types of plastic trays and in PS-77 with Cu pruning.

Root pruning had significant ($p \leq 0.05$) effect on all the variables. Plants with root pruning had lower values than plants without pruning, except in the variables IR and RLGE. In all the treatments, plants grown in 170 cm³ cavities had sizes and quality indexes according with recommended values for native fast-growing pine species (Prieto and Sáenz, 2011), except D, plants in plastic trays developed slightly lower D values (Table 2).

When comparing the plants of the additional treatment T7 (RTa-42) with those of the control T3 (RT-42 without Cu coating) and with T6 (RT-42 with Cu coating) significant differences ($p \leq 0.05$) were found in the average values of the variables evaluated, by effect of root pruning type. Plants without pruning developed morphological variables and quality indexes that were qualitatively superior to the root-pruned plants, except RLGE. Plants with PRQ were superior to plants with PRA in size, dry weights and ICD. The set of plants with (chemical

raíz. La planta producida en charolas de poliestireno, sin poda debido al cobrizado, desarrolló tallas (D, A) y pesos secos (PSA, PSR) superiores a las de los individuos crecidos en dos tipos de charola de plástico y en PS-77 con podas por cobrizado.

Para los conjuntos de tratamientos sin y con poda radical el efecto fue significativo ($p \leq 0.05$) en todas las variables; las plantas con poda radical presentaron valores inferiores a las plantas sin poda, excepto en las variables IR y RLGE. En todos los tratamientos se produjo planta con tallas e índices de calidad acordes con los valores recomendados para pinos nativos de crecimiento rápido, producidos en charolas con cavidades de 170 cm³ (Prieto y Sáenz, 2011), excepto en D, donde la planta en charolas de plástico desarrolló valores ligeramente inferiores (Cuadro 2).

Al comparar la planta del tratamiento adicional T7 (RTa-42), con su tratamiento testigo T3 (RT-42 sin cubierta de Cu) y con el T6 (RT-42 con cubierta de Cu), se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los valores promedio de las variables evaluadas por efecto del tipo de poda radical. La planta sin poda desarrolló variables morfológicas e índices de calidad cualitativamente superiores a las

and air) root pruning, developed a better IR and a minimum number of RLGE, compared with plants without pruning (Table 3).

Chemical and air root pruning affected growth of plant lateral roots and, consequently, their shoot growth. South *et al.* (2016) stated that in nurseries in southwestern United States using Cu-coated trays, the production period can be up to 20% longer than in nurseries where this treatment is not applied. The longer period enables the plants to develop enough roots with firm root plugs to avoid damage or losses during extraction from the trays for packing.

Plants produced in polystyrene trays (PS-77) had higher values in the evaluated morphological variables, followed by plants grown in plastic trays with fused cavities (RT-42), with interchangeable cavities (P-54) and with interchangeable cavities with openings in the walls (RTa-42), respectively. This growth pattern was seemingly influenced by the mean temperature of the substrate: 13.5, 11.5, 11.4 and 10.6 °C in trays PS-77, P-54, RT-42 and RTa-42, respectively. Landis *et al.* (2014) mentioned that in some forest nurseries in the United States and Canada, located in extreme climate regions, the

Cuadro 2. Comparación de medias y niveles significativos en variables morfológicas de *Pinus patula* producido en tres charolas con y sin poda radical química, a los 9 meses en vivero.

Table 2. Comparison of means and significant levels in morphological variables of *Pinus patula* produced in three tray types with and without chemical root pruning in nursery at 9 months.

Tr	CT	FV	D (mm)	A (cm)	PSR (g)	PSA (g)	PSA/ PSR	IR	ICD	RLGE
1	P-54		3.89bcd [†]	21.05cd	1.18b	2.18bcd	2.26a	5.45b	0.47ab	3.18a
2	PS-77	SP	4.16a	24.67a	1.31a	2.56a	2.39a	5.97a	0.49a	3.20a
3	T-42		3.95bc	21.72bc	1.22ab	2.30bc	2.29a	5.54b	0.48ab	3.50a
4	P-54		3.76d	19.50e	0.91d	1.99d	1.87b	5.23b	0.44bc	0.08b
5	PS-77	CP	4.07ab	22.48b	1.03c	2.42ab	1.99b	5.57b	0.41cd	0.08b
6	T-42		3.85cd	20.28de	0.95cd	2.10cd	1.91b	5.26b	0.39d	0.07b
	<i>p</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.064	<0.001	<0.006	<0.17
		SP	4.00a	22.48a	1.24a	2.35a	2.31a	5.65a	0.48a	3.29a
		CP	3.89b	20.76b	0.96b	2.17b	1.92b	5.35b	0.41b	0.06b
	<i>p</i>		<0.006	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	VR		≥4.0	15-25			1.5-2.5	≤6.25	≥0.40	

Tr: tratamiento; Ct: contenedor; FV: factor de variación; PSA: peso seco aéreo; PSR: peso seco radical; IR: índice de robustez; ICD: índice de calidad de Dickson; RLGE: raíces laterales gruesas envoltantes; P-54: charolas de plástico con 54 cavidades; PS-77: charola de poliestireno con 77 cavidades; RT-42: rejilla con 42 tubetes de plástico; SP: sin poda; CP: con poda; VR: valores recomendados para pinos nativos no cespitosos (Prieto y Sáenz, 2011). [†]Letras diferentes en una columna indican diferencia estadística ($p \leq 0.05$). ♦ Tr: treatment; Ct: container; FV: factor of variation; PSA: shoot dry weight; PSR: root dry weight; IR: robustness index; ICD: Dickson quality index; RLGE: thick spiraling lateral roots; P-54: plastic trays with 54 cavities; PS-77: polystyrene tray with 77 cavities; RT-42: rack with 42 plastic tubes; SP: without pruning; CP: with pruning; VR: recommended values for native pines with non-grass growth stage (Prieto and Sáenz, 2011). [†]Different letters in a column indicate statistical difference ($p \leq 0.05$).

plantas con poda, con excepción de RLGE. La planta con PRQ fue superior a la planta con PRA en tallas, pesos secos e ICD. El conjunto de plantas con poda radical (química y aérea) desarrolló un IR mejor y un número mínimo de RLGE, en comparación con las plantas sin poda (Cuadro 3).

La poda radical química y aérea afectó el crecimiento de las raíces laterales de las plantas y en consecuencia el crecimiento aéreo de las mismas. Al respecto, South *et al.* (2016) señalaron que, en algunos viveros del sureste de los Estados Unidos donde se utilizan charolas impregnadas con soluciones de Cu, el periodo de producción puede ser hasta 20% más largo al de los viveros donde no se aplica este tratamiento. Esto, para lograr que las plantas desarrollen suficientes raíces con cepellones firmes y prevenir daños o pérdidas de planta durante su extracción de las charolas para su embalaje.

La planta producida en charolas de poliestireno (PS-77) presentó los valores más altos en las variables morfológicas evaluadas, seguida por la planta de las charolas de plástico con cavidades fusionadas (RT-42), con cavidades intercambiables (P-54) y con cavidades intercambiables y aberturas en las paredes (RTa-42) respectivamente. Este patrón de crecimiento, al parecer, estuvo influenciado por la temperatura media del sustrato que fue 13.5, 11.5, 11.4 y 10.6 °C, para las charolas PS-77, P-54, RT-42 y RTa-42, respectivamente. Landis *et al.*

use of polystyrene trays predominates because they maintain more stable substrate temperature than plastic trays, higher in cold climates and cooler in hot climates.

Also, the mean temperature of the substrates contained in the cavities of the four tray types (≤ 13.5 °C) could have contributed to reduce nutrient release of the fertilizer Osmocote® Plus, which was used because its technical data sheet establishes that release is over a period of 8 to 9 months at a constant substrate temperature of 21 °C and this even can increase or decrease one month if the temperatures are 15 or 25 °C, respectively.

Aguilera *et al.* (2016) reported production of *Pinus montezumae* Lamb. in polystyrene trays with 160 cm³ cavities in the state of Hidalgo where mean temperature is 15.1 °C. They used two substrates (pine sawdust and peat moss) combined with 8 g L⁻¹ of three commercial brands of controlled release fertilizers. After 9.5 months when the plants were evaluated, they found 14.6, 25.5 and 39.8% of the nominal content of N, P and K remaining in the Multicote® spheres (Aguilera *et al.*, 2016). This result suggests that if the *P. patula* plants of our study had been evaluated at 10 months, those in plastic trays would have reached the minimum recommended diameter of 4 mm.

The plants of the additional treatment T7 (RTa-42) had lower values in size, dry weights and Dickson

Cuadro 3. Comparación de medias y niveles significativos de las variables morfológicas de *Pinus patula* producido en rejillas con tubetes de plástico, con poda radical química y aérea, a los 9 meses en vivero.

Table 3. Comparison of means and significant levels of morphological variables of *Pinus patula* produced in racks with plastic tubes, with chemical and air root pruning in the nursery after 9 months.

Tr	CT	FV	D (mm)	A (cm)	PSR (g)	PSA (g)	PSA/ PSR	IR	ICD	RLGE
3	RT-42	SP	3.95a [†]	21.72a	1.22a	2.30a	1.91b	5.54a	0.48a	3.50a
6		PRQ	3.85a	20.28b	0.95b	2.10b	2.29a	5.26b	0.41b	0.08b
7	RTa-42	PRA	3.67b	18.77c	0.83c	1.77c	2.28a	5.13b	0.36c	0.40b
		<i>p</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.002	<0.001	<0.001
	VR		≥4.0	15-25			1.5-2.5	≤6.25	≥0.40	0.0

Tr: tratamiento; Ct: contenedor, FV: factor de variación, RT-42: rejilla con 42 tubetes de plástico, RTa-42: rejilla con 42 tubetes de plástico con aberturas en sus paredes, D: diámetro del tallo; A: altura de la parte aérea; PSA: peso seco aéreo; PSR: peso seco radical; IR: índice de robustez; ICD: índice de calidad de Dickson, RLGE: raíces laterales gruesas envoltantes; SP: sin poda; PRQ: poda radical química; PRA: poda radical aérea; VR: valores recomendados para pinos nativos no cespitosos (Prieto y Sáenz, 2011). [†]Letras diferentes en una columna indican diferencia estadística ($p \leq 0.05$). ♦ Tr: treatment; Ct: container, FV: factor of variation, RT-42: rack with 42 plastic tubes, RTa-42: rack with 42 plastic tubes with openings in their walls, D: stem diameter; A: shoot height; PSA: shoot dry weight; PSR: root dry weight; IR: index of robustness; ICD: Dickson quality index, RLGE: thick spiraling lateral roots; SP: no root pruning; PRQ: chemical root pruning; PRA: air root pruning; VR: values recommended for native pines with non-grass growth stage (Prieto and Sáenz, 2011). [†]Different letters in a column indicate statistical difference ($p \leq 0.05$).

(2014) mencionaron que en algunos viveros forestales de Estados Unidos y Canadá, ubicados en zonas con climas extremos, predomina el uso de charolas de poliestireno porque mantienen la temperatura del sustrato más estable que las charolas de plástico, más alta en climas fríos y menos alta en climas cálidos.

También, la temperatura media de los sustratos contenidos en las cavidades de los cuatro tipos de charola (≤ 13.5 °C) pudo contribuir a reducir la liberación de los nutrientes en el fertilizante Osmocote® Plus utilizado, porque en su ficha técnica se establece que el tiempo de liberación de 8 a 9 meses es a temperatura constante de 21 °C en el sustrato, y que puede incrementar o reducir un mes, si las temperaturas son de 15 o 25 °C, respectivamente.

Aguilera *et al.* (2016) documentaron que en un vivero en el estado de Hidalgo con temperatura media de la zona igual a 15.1 °C, se produjo *Pinus montezumae* Lamb. en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³, en dos sustratos (aserrín de pino y turba de musgo) combinados con 8 g L⁻¹ de tres marcas comerciales de fertilizantes de liberación controlada; a los 9.5 meses, cuando se evaluó la planta, se encontró en las esferas de Multicote® 14.6, 25.5 y 39.8% del contenido nominal de N, P y K. Este resultado permite suponer que, si las plantas de *P. patula* de nuestro estudio se hubiesen evaluado a los 10 meses, aquéllas de las charolas de plástico habrían alcanzado el diámetro mínimo recomendado de 4 mm.

La planta del tratamiento adicional T7 (RTa-42) presentó valores menores en tallas, pesos secos e índice de calidad de Dickson que la planta de los tratamientos T3 y T6 (RT-42, sin y con Cu), lo cual puede atribuirse a pérdidas mayores de agua y de fertilizantes por las aberturas en las paredes de las cavidades (tubetes) y en el sustrato se registró la temperatura promedio más baja de todos los tratamientos. Tal patrón se observó en dos estudios de producción de pinos en charolas con cavidades intercambiables de 220 cm³ y diseño para propiciar la PRA: 1) Sánchez *et al.* (2016) produjeron *Pinus oaxacana* Mirov. y *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López, y registraron valores promedio para tallas y pesos secos superiores en las charolas sin aberturas en sus cavidades de producción (tubetes), respecto a la planta producida en las mismas charolas con aberturas; 2) Castro *et al.* (2018) produjeron *P. greggii* var. *australis*, la cual desarrolló valores promedio para D, A, PSA y PSR, 25, 17, 28 y 38% superiores a los de la planta producida en las mismas charolas con aberturas en sus cavidades.

quality index than the plants from treatments T3 and T6 (RT-42, with and without Cu). This could be attributed to higher losses of water and fertilizers through the openings in the walls of the cavities (tubes) and to the lowest average substrate temperature of all the treatments. This pattern was observed in two studies on pine production in interchangeable 220 cm³ cavities designed for air root pruning. 1) Sánchez *et al.* (2016) produced *Pinus oaxacana* Mirov. and *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López and found higher average values for size and dry weights in plants grown in trays with tubes without openings than in plants grown in the same trays, but with tubes with openings in their walls. 2) Castro *et al.* (2018) produced *P. greggii* var. *australis*; the plants grown in cavities without openings in their walls had 25, 17, 28 and 38% higher average values of D, A, PSA and PSR than plants produced in the same trays with openings.

In order to reduce water and fertilizer loss from the trays designed for PRA, Landis (2005) described those techniques used in nurseries in Canada and the United States: to separate handling of trays without openings; the use of white trays at the edge of the tray tables; the increase in irrigation frequency and in fertilizer doses; and the use of controlled-release fertilizers to reduce losses by lixiviation.

Root growth potential

At the end of the test, average values of D_1 and A_1 and of monthly relative root growth (TcrmR) showed significant differences ($p \leq 0.05$) by effect of the container type. Plants produced in polystyrene (PS-77) trays without root pruning had higher values, except TcrmRt, than those grown in plastic trays (P-54 and RT-42). In TcrmR the (PS-77) tray was outstanding, but with chemical pruning. Chemical root pruning (T4, T5 and T6) had significant effect ($p \leq 0.05$) on TcrmR; plants stopped vertical growth (A_1) and emitted a larger quantity of horizontal (R_h) and total (R_t) roots, even though initial diameter (D_0) was smaller ($p \leq 0.05$) than that of plants without pruning. Plants in the set of treatments without root pruning (T1, T2 and T3) developed greater heights (A_1), diameters (D_1), and roots with vertical growth (R_v) as a consequence of the development of lateral spiraling roots over the surface of the root plug, making difficult the consequent emission of new horizontal roots (Table 4).

Para reducir la pérdida de agua y de fertilizante que se registra en las charolas con diseño para PRA, Landis (2005) describió algunas técnicas utilizadas en viveros de Canadá y Estados Unidos que incluyen: el manejo por separado de charolas sin aberturas; uso de charolas de color blanco en la periferia de las mesas porta charolas; incremento en la frecuencia de riegos y en la dosis de fertilización, uso de fertilizantes de liberación controlada para reducir pérdidas por lixiviación.

Crecimiento potencial de raíz

Al final de la prueba, los valores promedio de D_1 , A_1 y las tasas de crecimiento relativo mensual de raíz (TcrmR) mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), por efecto del tipo de contenedor; con valores superiores en la planta producida en charolas de poliestireno (PS-77) sin poda radical a las producidas en charolas de plástico (P-54 y RT-42), excepto en TcrmRt, en la cual sobresalió la misma charola, pero con la aplicación de poda química. El conjunto de tratamientos con poda radical química (T4, T5 y T6) generó un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en la TcrmR, las plantas frenaron su crecimiento en altura (A_1) y emitieron una cantidad mayor de raíces con crecimiento horizontal (R_h) y total (R_t), a pesar de que al inicio de la prueba el diámetro inicial (D_0) era menor ($p \leq 0.05$) que el de las plantas sin poda. La planta del conjunto de tratamientos sin poda radical (T1, T2 y T3) desarrolló mayores alturas (A_1), diámetros (D_1) y raíces con crecimiento vertical (R_v) como consecuencia de haber desarrollado raíces laterales envolventes sobre la superficie de los cepellones, lo cual dificultó la emisión de raíces nuevas en sentido horizontal (Cuadro 4).

Al comparar la planta del tratamiento adicional T7 (RTa-42) con poda radical aérea, con su tratamiento testigo T3 (RT-42) y con el T6 (RT-42 con Cu), se presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en los valores promedio de las tallas finales de las plantas (D_1 y A_1) y en las TcrmR. La planta con poda radical aérea (T7) desarrolló TcrmR_h y TcrmR_t superiores a la planta del tratamiento testigo T3. La planta con poda radical química (T6) presentó TcrmR_h y TcrmR_v superiores a la planta con poda radical aérea (T7) (Cuadro 5).

En la capacidad para emitir nuevas raíces en sentido horizontal (TcrmRh) y total (TcrmRt), la planta de los tratamientos con poda radical química fue

Comparison of the additional air root pruning treatment T7 (RTa-42) with its control treatment T3 (RT-42) and with T6 (RT-42 with Cu) showed statistical differences ($p \leq 0.05$) between average values of the final plant sizes (D_1 and A_1) and in TcrmR. Plants with air root pruning (T7) developed higher TcrmR_h and TcrmR_t than T3 control plants. Plants with chemical root pruning (T6) had higher TcrmR_h and TcrmR_v than plants with air root pruning (T7) (Table 5).

Regarding capacity to emit new horizontal roots (TcrmRh) and total new roots (TcrmRt), plants with chemical root pruning were superior to plants with air root pruning. These latter, in turn were superior to that of plants without root pruning. A fact that can be attributed to chemical root pruning, which made plants was more efficient in terms of lateral root pruning, as it can be seen in Figures 2 and 3.

Results of RGP tests similar to ours were observed in other forest species produced in trays. South *et al.* (2005) evaluated RGP of *Pinus palustris* Mill. plants produced in hydroponics in polystyrene trays with and without Cu coating and in plastic trays with and without openings to favor PRA. After four weeks, the proportion of horizontal and vertical roots emitted was 36 and 64% in plants without root pruning, 78 and 22% in plants with PRQ, and 67 and 33% in plants with PRA.

Chapman and Colombo (2006) measured RGP in *P. banksiana* Lamb. grown in plastic pots. The plants were produced in three types of trays (plastic with and without openings, polystyrene with and without Cu coating, and with biodegradable cavity walls) with 46 to 60 cm³ cavities. After seven months, plants with PRQ emitted more roots and root biomass with horizontal growth, and more homogeneous distribution over all the faces of the taproot than plants produced without root pruning, which developed more roots grown downward and irregularly distributed around the taproot.

Sword *et al.* (2011) also evaluated RGP of *Pinus palustris* Mill. grown in 60, 105 and 170 cm³ polystyrene trays with and without Cu coating, and transplanted to plastic pots. After four weeks of the test, the plants with PRQ emitted on average 33 roots wider than 1 mm in diameter in the upper two thirds of the root plugs and 15 roots in the lower third of the root plugs. While plants without pruning produced 19 and 35 roots in the abovementioned thirds of the root plugs, respectively.

Cuadro 4. Comparación de medias de las variables en la prueba crecimiento potencial de raíz (CPR) a plantas (*Pinus patula*) producidas en tres tipos de charola, con poda radical química.**Table 4. Comparison of means of the variables in the test of root growth potential (RGP) in plants (*Pinus patula*) grown in three tray types with chemical root pruning.**

Tr	Ct	FV	D ₀	D ₁	A ₀	A ₁	TcrmR (g g ⁻¹ mes ⁻¹)		
			(mm)	(mm)	(cm)	(cm)	R _h	R _v	R _t
1	P-54		4.15 ab [†]	5.67b	23.58c	32.83b	0.13c	0.16b	0.26c
2	PS-77	SP	4.25 a	6.30a	26.05ab	36.68a	0.19b	0.23a	0.36ab
3	RT-42		4.13 ab	5.71b	25.33ab	34.53ab	0.12c	0.16b	0.25c
4	P-54		4.04b	5.24c	21.90d	27.75c	0.26a	0.11c	0.34b
5	PS-77	CP	4.10ab	6.00ab	26.68a	34.90ab	0.29a	0.16b	0.40a
6	RT-42		4.11ab	5.82b	25.18b	33.00b	0.29a	0.11c	0.37ab
	<i>p</i>		<0.131	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
		SP	4.18 a	5.89 a	24.98 a	34.68 a	0.15 b	0.18 a	0.29 b
		CP	4.08 b	5.69 b	24.58 a	31.88 b	0.28 a	0.13 b	0.37 a
	<i>p</i>		<0.004	<0.010	<0.177	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tr: tratamiento; Ct: contenedor; FV: factor de variación; D₀ y D₁: diámetro inicial y final; A₀ y A₁: altura inicial y final; TcrmR: tasa de crecimiento relativo mensual de raíz; R_h, R_v y R_t: raíces con crecimiento horizontal, vertical y total; P-54: charola de plástico con 54 cavidades; PS-77: charola de poliestireno con 77 cavidades; T-42: rejilla con 42 tubetes de plástico; SP: sin poda; CP: con poda. [†]Letras diferentes en una columna indican diferencia estadística (p≤0.05). ♦ Tr: treatment; Ct: container; FV: factor of variation; D₀ and D₁: initial and final diameter; A₀ and A₁: initial and final height; TcrmR: monthly relative root growth rate; R_h, R_v and R_t: roots with horizontal, vertical and total growth; P-54: plastic tray with 54 cavities; PS-77: polystyrene tray with 77 cavities; T-42: rack with 42 plastic tubes; SP: without pruning; CP: with pruning. [†]Different letters in a column indicate statistical differences (p≤0.05).

superior a la planta de los tratamientos con poda radical aérea, y ésta, a su vez, a la planta sin poda radical. Lo anterior puede atribuirse a que la poda radical química fue más eficiente en cuanto a poda de raíces laterales, como se observa en las Figuras 2 y 3.

In Mexico, RGP tests to evaluate behavior of plants with and without root pruning are still incipient. To date, only the results of a study conducted by Sánchez *et al.* (2016) with *Pinus greggii* var *australis* and *Pinus oaxacana* Mirov. plants produced in plastic

Cuadro 5. Comparación de medias de las variables consideradas en la prueba crecimiento potencial de raíz (CPR) a *Pinus patula* producido en tubetes con poda radical química y aérea.**Table 5. Comparison of means of variables considered in the root growth potential test (RGP) with *Pinus patula* produced in tubes with chemical and air root pruning.**

Tr	Ct	FV	†D ₀	D ₁	A ₀	A ₁	TcrmR (g g ⁻¹ mes ⁻¹)		
			(mm)	(mm)	(cm)	(cm)	R _h	R _v	R _t
3		SP	4.13a [†]	5.71a	25.33a	34.53a	0.12c	0.16a	0.25c
6	RT-42	PRQ	4.11a	5.82a	25.18a	33.00a	0.29a	0.11b	0.37a
7	RTa-42	PRA	3.87b	5.17b	20.65b	26.13b	0.18b	0.13ab	0.30b
	<i>p</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tr: tratamiento; Ct: contenedor; FV: factor de variación; D₀ y D₁: diámetro inicial y final; A₀ y A₁: altura inicial y final; TcrmR: tasa de crecimiento relativo mensual de raíz; R_h, R_v y R_t: raíces con crecimiento horizontal, vertical y total; RT-42: rejilla con 42 tubetes de plástico; RTa-42: rejilla con 42 tubetes de plástico con aberturas en sus paredes; SP: sin poda, PRQ: poda radical química, PRA: poda radical aérea. [†]Letras diferentes en una columna indican diferencia estadística (Tukey, p≤0.05). ♦ Tr: treatment; Ct: container; FV: factor of variation; D₀ and D₁: initial and final diameter; A₀ and A₁: initial and final height; TcrmR: monthly relative root growth rate; R_h, R_v and R_t: roots with horizontal, vertical and total growth; RTa-42: rack with 42 plastic tubes with openings in their walls; SP: without pruning; PRQ: chemical root pruning; PRA: air root pruning. [†]Different letters in a column indicate statistical differences (Tukey, p≤0.05).

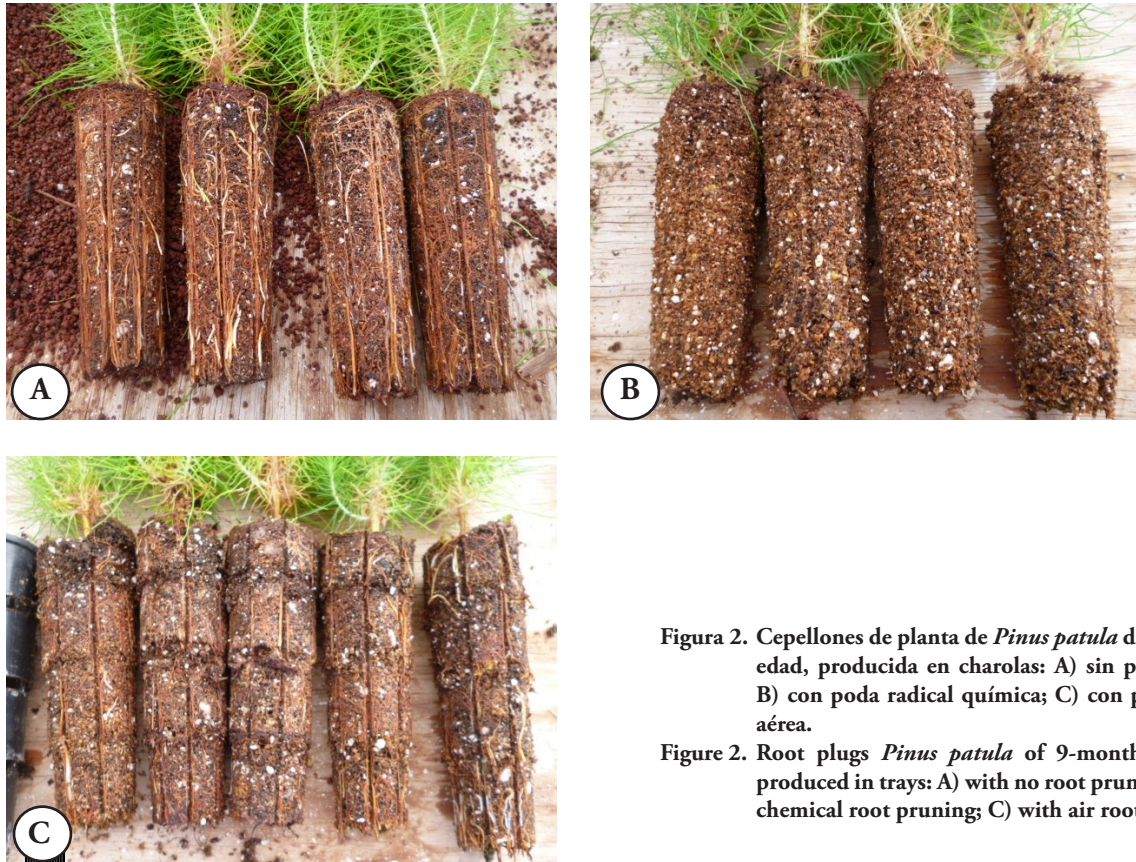


Figura 2. Cepellones de planta de *Pinus patula* de 9 meses de edad, producida en charolas: A) sin poda radical; B) con poda radical química; C) con poda radical aérea.

Figure 2. Root plugs *Pinus patula* of 9-month-old plants produced in trays: A) with no root pruning; B) with chemical root pruning; C) with air root pruning.

Resultados similares a los obtenidos en la presente prueba de CPR se observaron en otras especies forestales producidas en charolas. South *et al.* (2005) evaluaron en condiciones hidropónicas el CPR de plantas de *Pinus palustris* Mill. producidas en charolas de poliestireno, sin y con recubrimiento de Cu, y en charolas de plástico sin y con aberturas para propiciar la PRA; a las cuatro semanas, la proporción de raíces emitidas con crecimiento horizontal y vertical fue 36 y 64% en las plantas sin poda, de 78 y 22% en las plantas con PRQ y de 67 y 33% en las plantas con PRA.

Chapman y Colombo (2006) midieron el CPR de *P. banksiana* Lamb. en macetas de plástico, la cual se produjo en tres tipos de charolas (de plástico con y sin aberturas, de poliestireno con y sin recubrimiento de Cu, y con cavidades de paredes biodegradables) con cavidades de 46 a 60 cm³. A los siete meses, las plantas con PRQ emitieron cantidad mayor de raíces y biomasa radical con crecimiento horizontal y distribución más homogénea en todas las caras de la raíz principal, en comparación con las plantas sin poda

trays with 210 cm³ tubes with and without lateral openings (RT-25 and RTa-25) have been published. After growing in 10 L plastic pots for four weeks, the number of live roots longer than 1 cm was significantly higher in air-root-pruned plants than in unpruned plants: 220 and 167 roots in *P. greggii*, and 373 and 264 roots in *P. oaxacana*.

The root growth of *P. patula* observed in the RGP test can be explained with the results of other studies of growth in the field with *P. palustris* conducted by Sung and Dumroese (2013) and Sung and Haywood (2016). Those authors concurred in observing that LR of root-pruned plants have minimal barriers preventing their free growth in the field. In contrast, LR of unpruned plants form a mesh around the root plug that blocks horizontal root growth. These authors also observed that in the lower tip of the taproot (central axis), and in the LR of unpruned plants, growth form calluses or protuberances when roots reach the drainage hole and make contact with the air. In the field, those calluses generate positively geotropic roots, thus causing plants to develop more



Figura 3. Raíces nuevas emitidas por planta de *Pinus patula* durante la prueba de crecimiento potencial de raíz (1.5 meses): A) sin poda radical; B) con poda radical química; C) con poda radical aérea.

Figure 3. New roots emitted by *Pinus patula* plants during the root growth potential test (1.5 months): A) no root pruning; B) with chemical root pruning; C) with air root pruning.

que desarrollaron mayor cantidad de raíces hacia abajo y con una distribución irregular, en torno a la raíz principal.

Sword *et al.* (2011) también evaluaron en macetas de plástico el CPR de plantas de *Pinus palustris* Mill., las cuales produjeron en charolas de poliestireno de 60, 105 y 170 cm³, sin y con recubrimiento de Cu. A las cuatro semanas de prueba, las plantas con PRQ emitieron en promedio, 33 raíces mayores de 1 mm de diámetro en los dos tercios superiores del cepellón y 15 raíces en el tercio inferior del cepellón mientras que, en las plantas sin poda, el número de raíces fue de 19 y 35, respectivamente.

En México las pruebas de CPR con especies forestales para evaluar el comportamiento de la planta con y sin poda radical, son aún incipientes. A la fecha sólo se han publicado los resultados de un estudio realizado por Sánchez *et al.* (2016) con planta de *Pinus greggii* var *australis* y de *Pinus oaxacana* Mirov., las cuales se produjeron en charolas de plástico con tu-

vertical root growth and more vertical than horizontal root biomass.

CONCLUSIONS

Coating the polystyrene and plastic trays with a vinyl-acrylic solution and 7% copper hydroxide commercial formula, and 84.5% of acrylic primer efficiently pruned lateral roots, resulting in a small number of lateral spiraling roots. Plants grown in polystyrene trays had higher values in size, dry weights and Dickson quality index as a consequence of maintaining higher substrate temperature than in plastic trays in the environmental conditions of the nursery.

In the test of root growth potential, plants with chemical root pruning developed higher total monthly relative root growth and horizontal root growth compared with plants with no root pruning, which developed a higher monthly relative growth

betes de 210 cm³ sin y con aberturas laterales (RT-25 y RTa-25); después de desarrollar las plantas durante cuatro semanas en macetas de plástico de 10 L, el número de raíces vivas mayores a 1 cm de longitud fue significativamente superior en las plantas con poda radical aérea que las plantas sin poda, con 220 y 167 raíces en *P. greggii* y 373 y 264 raíces en *P. oaxacana*.

El crecimiento radical observado en *P. patula* en la prueba de CPR se explica con los resultados de otros estudios de crecimiento en campo con *P. palustris* realizados por Sung y Dumroese (2013) y Sung y Haywood (2016), quienes coincidieron en que las RL de las plantas con poda radical tienen un mínimo de barreras que les impidan crecer libres en campo. En cambio, en las plantas sin poda las RL forman una malla en torno al cepellón que bloquea el crecimiento radical en sentido horizontal. Estos autores también observaron que en el extremo inferior de la raíz principal (eje central) y en las RL de las plantas sin poda se forman callos o protuberancias cuando alcanzan el orificio de drenaje y hacen contacto con el aire. Ya en campo, de estos callos se generan raíces con geotropismo positivo, lo cual ocasiona que la planta desarrolle un número mayor de raíces y más biomasa radical en sentido vertical que horizontal.

CONCLUSIONES

La impregnación de charolas de poliestireno y de plástico con solución vinil-acrílica con 7% de hidróxido de cobre comercial y 84.5% de sellador acrílico, generó planta con poda eficiente de raíces laterales y con un número mínimo de raíces laterales envolventes. La planta obtenida en las charolas de poliestireno presentó valores mayores en tallas, pesos secos e índice de calidad de Dickson; como consecuencia de mantener la temperatura del sustrato más alta que la registrada para las charolas de plástico en las condiciones ambientales del vivero.

En la prueba de crecimiento potencial de raíz, la planta con poda radical química desarrolló mayor tasa de crecimiento relativo mensual de raíces totales y con crecimiento horizontal, en comparación con la planta sin poda radical. Esta última desarrolló mayor tasa de crecimiento relativo mensual de raíces con crecimiento vertical. El tratamiento alternativo de poda radical aérea produjo planta con tallas menores y pesos secos menores que la planta producida en el mismo tipo de charola sin aberturas. En cambio, generó menos raíces laterales envolventes y mayor tasa

rate of vertically growing roots. The alternative air root pruning treatment produced plants with smaller sizes and lower dry weights than plants produced in the same type of tray without openings. In contrast, it generated fewer spiraling lateral roots and higher monthly relative root growth rate of horizontally growing roots.

—End of the English version—



de crecimiento relativo mensual de raíces con sentido horizontal.

LITERATURA CITADA

- Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T., y V. M. Ordaz C. 2016. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50: 107–118.
- Castro G., S. L., A. Aldrete, J. López U., y V. M. Ordaz C. 2018. Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* en vivero. *Agrociencia* 52: 115–127.
- Chapman, K. A., and S. J. Colombo. 2006. Early root morphology of jack pine seedlings grown in different types of container. *Scand. J. For. Res.* 21: 372–379.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2018. Información Climatológica por estado. <http://smn.cna.gob.mx/es/información-climatológica-ver-stado?estado=pue> (Consulta: marzo 2019).
- Cortina, J., R. M. Navarro y A. del Campo. 2006. Evaluación del éxito de la reintroducción de especies leñosas en ambientes mediterráneos. In: J. Cortina, J. L. Peñuelas, J. Puértolas, R. Savé, y A. Vilagrosa. *Calidad de Planta Forestal para la Restauración en Ambientes Mediterráneos*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España. pp: 151–152.
- Dumroese, R. K., and T. D. Landis. 2015. Growing container seedlings: three considerations. *Tree Planters' Notes* 58: 58–62.
- Escobar R., R. 2012. Fase de cultivo: Endurecimiento. In: Buamscha M., G., L. T. Contardi, R. Dumroese K., J. A. Enricci, R. Escobar R., H. E. Gonda, D. Jakobs F., T. Landis D., T. Luna, J. Mexal G., y K. Wilkinson M. *Producción de Plantas en Viveros Forestales*. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico. Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires, Argentina. pp: 145–162.
- Hernández Z., L., A. Aldrete, V. M. Ordaz C., J. López U., y M. A. López L. 2014. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48: 627–637.
- Landis, T. D. 2005. Sideslit or airlit containers. *Summer Forest Nursery Notes*. 19: 17–19.

- Landis, T. D., T. Luna, and R. K. Dumroese. 2014. Containers. *In*: Landis, T. D., D. L. Haase, B. F. Daley, and R. K. Dumroese. Tropical Nursery Manual. Agriculture Handbook 732. USDA, Forest Service. Washington, DC. pp: 123-139.
- Nilsson, U., J. Luoranen, T. Kolström, G. Örlander, and P. Puttonen. 2010. Reforestation with planting in northern Europe. *Scand. J. For. Res.* 25: 283-294.
- Prieto R., J. A., y J. T. Sáenz R. 2011. Indicadores de Calidad de Planta en Viveros Forestales de la Sierra Madre Occidental. Libro Técnico Núm. 3. Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. Durango, Durango, México. 210 p.
- Prieto R., J. A., J. L. García R., J. C. Monárrez G., y R. E. Madrid A. 2012. Producción de Planta del Género *Pinus*. Folleto Técnico Núm. 50. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. Durango, Durango, México. 52 p.
- Ritchie, G. A., Landis, T. D., R. K. Dumroese, and D. L. Haase. 2010. Shredding plant quality. *In*: Landis, D. L. Haase, B. F. Daley, and R. K. Dumroese. The Container Tree Nursery Manual Vol 7: Seedling Processing, Storage, and Outplanting. Agric. Handbook 674. USDA, Forest Service, Washington, DC. pp: 18-81.
- Sánchez A., H., A. Aldrete, J. J. Vargas H., y V. M. Ordaz C. 2016. Influencia del tipo y color de envase en el desarrollo de plantas de pino en vivero. *Agrociencia* 50: 481-492.
- SAS Institute. 2002. The Statistical Analysis System (SAS) for Windows. Release version 9.0. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA:
- South, D. B., S. W. Harris, J. P. Barnett, M. J. Hains, and D. H. Gjerstad. 2005. Effect of container type and seedling size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, USA. *For. Ecol. Manage.* 204: 385-394.
- South, D. B., T. E. Starkey, and S.A. Enebak. 2016. Forestry nursery practice in Southern United States. *FORESTA* 1: 106-146.
- Sung, S. S., and K. R. Dumroese. 2013. Root system architecture: the invisible trait in container longleaf pine seedlings. *In*: Haase, L. D., J. R. Pinto, and K. M. Wilkinson, technical coordinators. USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. RMRS-P-69: 26-31.
- Sung, S. S., and J. D. Haywood. 2016. Air lateral root pruning affects longleaf pine seedling root system morphology. *In*: Schweitzer, C. J., W. K. Clatterbuck, and C. M. Oswalt., eds. 2016. USDA, Forest Service, Southern Research Station. Gen. Tech. Rep. SRS-212: 317-322.
- Sung, S. S., R. K. Dumroese, R. J. Pinto, and S. A. Sayer. 2019. The persistence of container nursery treatments on the field performance and root system morphology of longleaf pine seedlings. *Forests* 10: 1-24.
- Sword Sayer, M. A., S. S. Sung, and J. D. Haywood. 2011. Longleaf pine root system development and seedling quality in response to copper root pruning and cavity size. *Southern J. Appl. For.* 35: 5-11.