

# Outplanting performance of *Pinus patula* Schltld. & Cham. as an effect of root pruning and containers used in the nursery

## Crecimiento en campo de *Pinus patula* Schltld. & Cham. como efecto de la poda radicular y los contenedores utilizados en vivero

Manuel Aguilera-Rodríguez; Arnulfo Aldrete\*; J. Jesús Vargas-Hernández; Javier López-Upton; Miguel A. López-López; Víctor M. Ordaz-Chaparro

Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. km 36.5 carretera México-Texcoco. C. P. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

\*Corresponding author: aaldrete@colpos.mx, tel.: +52 5951011774..

### Abstract

**Introduction:** The production of seedlings in containers implies the risk of deforming the root. This damage persists and increases after outplanting causing negative effects on the plants.

**Objective:** To evaluate outplanting performance of *Pinus patula* Schltld. & Cham. as an effect of root pruning and containers used in the nursery.

**Materials and methods:** Nine-month-old seedlings were grown in three 170 cc containers: plastic tray, polystyrene tray and grid with containers with 54, 77 and 42 cavities, respectively. The cavities were impregnated with copper hydroxide to encourage chemical root pruning; additionally, an aerial root pruning treatment was included (containers with lateral openings). Survival and growth of *P. patula* were evaluated under field conditions during two years in 72 plants per treatment, randomly distributed in six blocks or replications.

**Results and discussion:** Pruned and unpruned plants showed significant differences ( $P \leq 0.05$ ) in survival (89 vs. 79 %), height (154.0 vs. 147.1 cm) and relative annual growth rates of diameter (0.97 vs. 0.93  $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ ) and height (0.97 vs. 0.92  $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ ). Plants in plastic containers and polystyrene trays had the best growth and survival rates. The interaction container\*pruning was not significant. In spite of starting with the lowest sizes, the plants in containers designed for aerial root pruning had similar characteristics to those grown in the same containers with and without chemical root pruning.

**Conclusion:** Root pruning favored survival and growth of *P. patula* after outplanting and had a greater effect than the type of container used.

**Keywords:** chemical pruning; copper hydroxide; polystyrene; lateral roots; survival.

### Resumen

**Introducción:** La producción de planta en contenedores implica el riesgo de deformar la raíz. Este daño persiste y se incrementa en campo, ocasionando efectos negativos en la planta.

**Objetivo:** Evaluar el crecimiento en campo de *Pinus patula* Schltld. & Cham. como efecto de la poda radicular y de los contenedores utilizados en vivero.

**Materiales y métodos:** Se produjo planta de nueve meses en tres contenedores de 170 cc: charola de plástico, charola de poliestireno y rejilla con tubetes con 54, 77 y 42 cavidades, respectivamente. Las cavidades se impregnaron con hidróxido de cobre para propiciar la poda radicular química; adicionalmente, se incluyó un tratamiento con poda radicular aérea (tubetes con aberturas laterales). El crecimiento y la supervivencia de *P. patula* se evaluaron en campo durante dos años en 72 plantas por tratamiento, distribuidas aleatoriamente en seis bloques o repeticiones.

**Resultados y discusión:** Las plantas con poda y sin poda mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en supervivencia (89 vs. 79 %), altura (154.0 vs. 147.1 cm) y tasas de crecimiento relativo anual de diámetro (0.97 vs. 0.93  $\text{mm}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ) y altura (0.97 vs. 0.92  $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ). Las plantas en tubetes de plástico y charolas de poliestireno tuvieron los mejores crecimientos y supervivencia. La interacción poda\*contenedor no fue significativa. A pesar de haber iniciado con las tallas más bajas, la planta de los contenedores con diseño para poda radicular aérea tuvo características similares a la producida en los mismos contenedores con y sin poda radicular química.

**Conclusión:** La poda radicular favoreció el crecimiento y supervivencia de *P. patula* en campo y tuvo mayor efecto que el tipo de contenedor utilizado.

**Palabras clave:** poda química; hidróxido de cobre; poliestireno; raíces laterales; supervivencia.

## Introduction

Forest seedling production in containers (trays) involves the risk of altering normal root growth during nursery stage; small cavities encourage lateral roots, contrary to their natural horizontal growth, to grow downwards when they hit with the walls of the cavities (Escobar, 2012; South, Shelton, & Enebak, 2001). When seedlings are grown in trays with small cavities ( $\leq 100$  cc) or when they remain in these cavities for longer than required, root deformation is accentuated and lateral roots are generated with growth not only downwards, but also circling and upward direction, forming a bundle of roots in some cases (Landis, 2010; Ritchie, Landis, Dumroese, & Haase, 2010). Root deformation generated in nursery persists and increases under field conditions; consequently, the plant develops more roots vertically than horizontally, the growth of the plant is negatively affected and the susceptibility to damage by extreme natural phenomena and pathogens is greater (Cortina, Navarro, & Del Campo, 2006; South et al., 2001).

To prevent root deformation of seedlings grown in nursery, since the 1960s technologies have been innovated, which encourage pruning of the apexes of the lateral roots, just as they make contact with the walls of the cavities. Among these technologies, copper (Cu) treated trays to promote chemical root pruning and the use of trays with openings in the walls of the cavities or the use of biodegradable mesh cavities to promote aerial root pruning are the most common at the international level (Landis, 2005; Landis, Luna, & Dumroese, 2014).

Under nursery conditions, seedlings with root pruning develop a central axis with multiple short roots, similar to a “brush” (Aguilera-Rodríguez, Aldrete, Martínez-Trinidad, & Ordaz-Chaparro, 2016a; Sánchez, Aldrete, Vargas-Hernández, & Ordaz-Chaparro, 2016); under field conditions, these roots restart their horizontal growth with higher values of survival, growth and resistance to extreme natural phenomena or pathogens, than the unpruned seedlings (Landis et al., 2014; Regan, Apóstol, & Davis, 2015; Sung, Dumroese, Pinto, & Sayer, 2019).

Currently, in Mexico’s forest nurseries, only polystyrene trays are treated with Cu salts. This technique prevents the roots from being embedded in the walls of the cavities and the root balls from being cut up when the plant is extracted (Secretaría de Economía, 2016). On the other hand, in plantations in disturbed forest areas and with forestry management, a common practice is to use seedlings available in local nurseries or from other entities, regardless of whether or not it has root pruning. This situation is caused, in part, by the scarcity of studies aimed at showing the advantages and disadvantages of reforestation with plants with or without root pruning; in fact, experimental work on

## Introducción

La producción de planta forestal en contenedores (charolas) implica el riesgo de alterar el crecimiento normal de la raíz durante la etapa de vivero; las cavidades pequeñas propician que las raíces laterales, contrario a su crecimiento horizontal natural, crezcan hacia abajo al chocar con las paredes de las cavidades (Escobar, 2012; South, Shelton, & Enebak, 2001). Cuando las plantas se producen en charolas con cavidades pequeñas ( $\leq 100$  cc) o cuando permanecen en estas por más tiempo del requerido, la deformación radicular se acentúa y se generan raíces laterales con crecimiento no solo hacia abajo, sino también en sentido envolvente y ascendente, formando una madeja de raíces en algunos casos (Landis, 2010; Ritchie, Landis, Dumroese, & Haase, 2010). La deformación radicular generada en vivero persiste e incrementa en campo; en consecuencia, la planta desarrolla mayor cantidad de raíces en sentido vertical que horizontal, el crecimiento de la planta es afectado negativamente y la susceptibilidad a daños por fenómenos naturales extremos y patógenos es mayor (Cortina, Navarro, & Del Campo, 2006; South et al., 2001).

Para prevenir la deformación de la raíz de las plantas en vivero, desde la década de los sesenta se han innovado tecnologías que propician la poda de los ápices de las raíces laterales, justo al hacer contacto con las paredes de las cavidades. De estas tecnologías predominan, a nivel internacional, la impregnación de charolas con sales de cobre (Cu) para propiciar la poda radicular química, y el uso de charolas con aberturas en las paredes de las cavidades o el uso de cavidades de malla biodegradable para propiciar la poda radicular aérea (Landis, 2005; Landis, Luna, & Dumroese, 2014).

En vivero, la planta producida con poda radicular desarrolla un eje central con múltiples raíces cortas, similar a un “escobillón” (Aguilera-Rodríguez, Aldrete, Martínez-Trinidad, & Ordaz-Chaparro, 2016a; Sánchez, Aldrete, Vargas-Hernández, & Ordaz-Chaparro, 2016); en campo, estas raíces reinician su crecimiento horizontal con valores mayores de crecimiento, supervivencia y resistencia a fenómenos naturales extremos o a patógenos, que la planta sin poda (Landis et al., 2014; Regan, Apóstol, & Davis, 2015; Sung, Dumroese, Pinto, & Sayer, 2019).

Actualmente, en los viveros forestales de México, solo las charolas de poliestireno se impregnan con sales de Cu. Esta técnica previene que las raíces se incrusten en las paredes de las cavidades y que se trocen los cepellones al momento de extraer la planta (Secretaría de Economía, 2016). Por otra parte, en las plantaciones en áreas forestales perturbadas y con manejo silvícola, una práctica común es utilizar la planta disponible en los viveros locales o de otras entidades, sin importar si cuenta o no con poda de raíz. Esta situación es provocada,

root pruning under nursery conditions, in native forest species, is incipient (Aldrete, Mexal, Phillips, & Valloton, 2002; Castro, Aldrete, López-Upton, & Ordaz-Chaparro, 2018; Sánchez et al., 2016), as well as open-field studies (Barajas, Aldrete, Vargas-Hernández, & López-Upton, 2004; Sánchez-Vásquez, Cetina-Alcalá, López-López, & Trejo-Téllez, 2017). For this reason, it is essential to increase the number of these tests to evaluate the behavior of the main forest species after outplanting, both in temperate and tropical climates.

In this context, the objective of the present study was to evaluate the growth of *Pinus patula* Schlttdl. & Cham. after outplanting as an effect of root pruning and the use of three of the most used containers for plant production in forest nurseries of Mexico. This fast growing species is one of the most used in commercial forest plantations. The hypothesis was that plants with root pruning perform better under field conditions, in terms of survival and growth, compared to unpruned plants, regardless of the container used.

## Materials and Methods

### Study Area

The study was carried out in the ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla. According to the current silvicultural management program, the ejido's forest area has an average altitude of 2 800 m, undulating and rugged topography with slopes of 5 to 60 % and deep Andosol humic type soils. The area's climate is C(w<sub>1</sub>) (w) temperate sub-humid with summer rains, with average annual temperature and precipitation of 14.8 °C and 1 000 mm, respectively; the rainy season is from June to October and the predominant winds are from northeast to southwest. The tree vegetation is made up of pure stands of *P. patula* and *Pinus montezumae* Lindl. and associations of *Pinus-Abies* and *Pinus-Quercus* in which *P. patula* is the predominant species.

### Inputs used

The nine-month-old *P. patula* seedlings (October 2016 to July 2017) were obtained from a production experiment, developed for the present research, in the nursery of the ejido Pueblo Nuevo, Chignahuapan, Puebla. Four containers with cylindrical cavities and with the following characteristics were used in production: a) PS-77, a 35 × 60 × 15.2 cm expanded polystyrene tray with 77 cavities of 170 cc, density of 366 cavities per m<sup>2</sup>, top diameter of 4.3 cm and length of 15.2 cm (Aislantes y Empaques, S.A. de C.V., Guadalajara, Jalisco, México); b) P-54, 30.8 × 50.0 × 13.8 cm black plastic tray with 54 cavities of 170 cc, density of 348 cavities per m<sup>2</sup>, top diameter of 4.8 cm, length of 13.8 cm; c) RT-42, plastic grid (37.3 × 37.5 × 23.4 cm) of four vertical supports with 42 individual black plastic containers of 170 cc, density

en parte, por la escasez de estudios encaminados a mostrar las ventajas y desventajas de la reforestación con planta con o sin poda radicular; de hecho, los trabajos experimentales sobre poda radicular en vivero, en especies forestales nativas, son incipientes (Aldrete, Mexal, Phillips, & Valloton, 2002; Castro, Aldrete, López-Upton, & Ordaz-Chaparro, 2018; Sánchez et al., 2016), al igual que los estudios de campo (Barajas, Aldrete, Vargas-Hernández, & López-Upton, 2004; Sánchez-Vásquez, Cetina-Alcalá, López-López, & Trejo-Téllez, 2017). Por esta razón, es imprescindible el incremento de estos ensayos donde se evalúe el comportamiento de las principales especies forestales en campo, tanto de clima templado como de clima tropical.

En tal contexto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento de *Pinus patula* Schlttdl. & Cham. en campo como efecto de la poda radicular y del uso de tres de los contenedores más utilizados para la producción de planta en los viveros forestales de México. Esta especie es de rápido crecimiento y es una de las más utilizadas en plantaciones forestales comerciales. La hipótesis planteada fue que las plantas con poda radicular tienen mejor desempeño en campo, en términos de supervivencia y crecimiento, que las plantas sin poda, independientemente del contenedor utilizado.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El estudio se realizó en el ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla. Conforme al programa de manejo silvícola vigente, el área forestal del ejido presenta una altitud promedio de 2 800 m, topografía ondulada y accidentada con pendientes de 5 a 60 % y suelos profundos del tipo Andosol húmico. El clima de la zona es C(w<sub>1</sub>)(w) templado subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura y precipitación media anual de 14.8 °C y 1 000 mm, respectivamente; el periodo de lluvias es de junio a octubre y los vientos predominantes son de noreste a suroeste. La vegetación arbórea está constituida por masas puras de *P. patula* y *Pinus montezumae* Lindl., además de asociaciones de *Pinus-Abies* y *Pinus-Quercus* en las cuales *P. patula* es la especie predominante.

### Insumos utilizados

La planta de *P. patula* de nueve meses de edad (octubre de 2016 a julio de 2017) se obtuvo de un experimento de producción, desarrollado para la presente investigación, en el vivero del ejido Pueblo Nuevo, Chignahuapan, Puebla. En la producción se utilizaron cuatro contenedores con cavidades cilíndricas y con las características siguientes: a) PS-77, charola de poliestireno expandido de 35 × 60 × 15.2 cm con 77 cavidades de 170 cc, densidad de 366 cavidades por m<sup>2</sup>, diámetro superior de 4.3 cm y longitud de 15.2 cm (Aislantes y Empaques, S. A. de

298 cavities per m<sup>2</sup>, top diameter 4.8 cm and length of 13.8 cm; d) RTa-42, container with design and dimensions equal to the RT-42 container, with three surrounding openings of 0.5 cm width distributed equidistantly along each tube to encourage aerial pruning of the RL. The last three containers are manufactured by Innovaciones Industriales y Forestales, S. A. de C. V., Azcapotzalco, Estado de México.

To promote chemical root pruning (CRP) in seedlings, half of the P-54, PS-77 and RT-42 containers were manually treated with a plastic solution of 7.0 % Cu(OH)<sub>2</sub> hydroxide, consisting of 1 kg of 5 x 1 vinyl-acrylic sealant (Comex®), 0.2 kg of tap water and 0.09 kg of commercial Cu hydroxide (Hidromet®). Aldana and Aguilera (2003) recommend such concentration of commercial Cu hydroxide for treatment of polystyrene trays in the production of forest species; it is also reported as suitable to promote CRP in the production of *Pinus montezumae* Lamb. (Aguilera-Rodríguez et al., 2016a) and *Pinus pseudostrobus* Lindl. plants (Aguilera-Rodríguez, Aldrete, Martínez-Trinidad, & Ordaz-Chaparro, 2016b).

Seedling production treatments were defined by the type of container and type of root pruning: treatments 1, 2 and 3 corresponded to the containers (P-54, PS-77 and RT-42) without Cu and treatments 4, 5 and 6 to the same containers treated with Cu. The alternate treatment (T7) was defined by the RTa-42 container with openings in the walls of the cavities, to promote aerial pruning of the lateral roots.

Four trays were used for each treatment, these trays were filled with substrate composed of fresh pine sawdust (uncomposted), perlite, vermiculite and peat moss in proportions of 60, 20, 10 and 10 % by volume, combined with 8 g·L<sup>-1</sup> of controlled release fertilizer Osmocote® Plus 8-9M (15-9-12) and 1 g·L<sup>-1</sup> of micronutrient fertilizer (Micromax®). The trays were sowed using seed from the ejido Llano Grande. From the time of sowing until May 2017, seedlings grew protected with black shade cover (50%) and from June they grew outdoors. Irrigation was applied every two or three days.

During the first week of July 2017, at nine months of age, 72 seedlings were randomly extracted from each set of trays per treatment, which were ordered in packages of 12 plants each, for transfer to the planting areas in the ejido Llano Grande.

### Field experiment

The planting experiment was established in two clear cut areas (CA1 and CA2) harvested in 2017, corresponding to the fourth year of the ejido's forest management program. The center of CA1 is located at 19° 41' 59.83" N - 98° 09' 26.87" W and CA2 at 19° 41' 58.31" N - 98° 10' 42.33" W. After removing the forest

C. V., Guadalajara, Jalisco, México); b) P-54, charola de plástico de color negro de 30.8 × 50.0 × 13.8 cm con 54 cavidades de 170 cc, densidad de 348 cavidades por m<sup>2</sup>, diámetro superior de 4.8 cm y longitud de 13.8 cm; c) RT-42, rejilla de plástico (37.3 × 37.5 × 23.4 cm) de cuatro soportes verticales con 42 tubetes individuales de plástico de color negro de 170 cc, densidad de 298 cavidades por m<sup>2</sup>, diámetro superior de 4.8 cm y longitud de 13.8 cm; d) RTa-42, contenedor con diseño y dimensiones iguales al contenedor RT-42, con tres aberturas circundantes de 0.5 cm de ancho distribuidas en forma equidistante a lo largo de cada tubete, para propiciar la poda aérea de las RL. Los últimos tres contenedores son fabricados por Innovaciones Industriales y Forestales, S. A. de C. V., Azcapotzalco, Estado de México.

Para propiciar la poda radicular química (PRQ) en las plantas, la mitad de los contenedores P-54, PS-77 y RT-42 se impregnaron manualmente con una solución plástica de 7.0 % de hidróxido de Cu (Cu(OH)<sub>2</sub>), compuesta por 1 kg de sellador vinil-acrílico 5 x 1 (Comex®), 0.2 kg de agua potable y 0.09 kg de hidróxido de Cu comercial (Hidromet®). Aldana y Aguilera (2003) recomiendan dicha concentración de hidróxido de Cu comercial para la impregnación de charolas de poliestireno en la producción de especies forestales; también se reporta como apropiada para propiciar la PRQ en la producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb. (Aguilera-Rodríguez et al., 2016a) y *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Aguilera-Rodríguez, Aldrete, Martínez-Trinidad, & Ordaz-Chaparro, 2016b).

Los tratamientos de producción de planta estuvieron definidos por el tipo de contenedor y tipo de poda radicular: los tratamientos 1, 2 y 3 correspondieron a los contenedores (P-54, PS-77 y RT-42) sin impregnar con Cu y los tratamientos 4, 5 y 6 a los mismos contenedores impregnados con Cu. El tratamiento alterno (T7) estuvo definido por el contenedor RTa-42 con aberturas en las paredes de las cavidades, para propiciar la poda aérea de las raíces laterales.

Para cada tratamiento se utilizaron cuatro charolas, las cuales se llenaron con sustrato compuesto por aserrín fresco de pino (sin compostar), perlita, vermiculita y turba de musgo (*peat moss*) en proporciones 60, 20, 10 y 10 % en volumen, combinado con 8 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de liberación controlada Osmocote® Plus 8-9M (15-9-12) y 1 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante con micronutrientes (Micromax®). Las charolas se sembraron con semilla procedente del ejido Llano Grande. Desde la siembra y hasta el mes de mayo de 2017, las plantas crecieron protegidas con malla sombra (50 %) de color negro y a partir de junio crecieron a la intemperie. El riego se aplicó cada dos o tres días.

Durante la primera semana del mes de julio de 2017, a los nueve meses de edad, 72 plantas se extrajeron

products, two blocks (I and II) of 17.5 × 35.5 m in CA1, and four (III, IV, V, and VI) in CA2 were delimited; the blocks were located in sites representative of the topographic, soil, and exposure conditions of the areas.

Three soil samples were taken from each block at a depth of 25 cm and these were mixed to compose the mixture to determine the characteristics of the planting sites.

The planting was carried out in the first week of July 2017 under a randomized complete block design with six replications. The treatments were randomly distributed in each block and were planted using the “common hole” system in two continuous rows of six plants each, with a spacing of 2.5 m between plants and rows.

### Maintenance of the experiment

The logging areas have had fire breaks and permanent surveillance to prevent fires and grazing. After planting, the areas were monitored every two months for weed control, record of dead plants and identification of causal agents. Weeds were manually removed during the months of September 2017, April and September 2018, and April 2019, allowing plants to grow freely. From the first assessment in September 2017, dead plants were identified due to total root eating by *Phyllophaga* (May beetle), the greatest impact was recorded in blocks of CA2, adjacent to agricultural areas.

### Variables evaluated

At the time of planting, the diameter at the base of the stem (D0) and the height of the plants (A0) were measured. In the first week of July 2019, two years after planting (Figure 1), the stem diameter was measured

en forma aleatoria de cada conjunto de charolas por tratamiento, las cuales se ordenaron en paquetes de 12 plantas cada uno, para su traslado a las áreas de plantación en el ejido Llano Grande.

### Establecimiento del ensayo

El experimento de plantación se estableció en dos áreas de corta total (AC1 y AC2) aprovechadas en 2017, correspondientes a la cuarta anualidad del programa de manejo forestal del ejido. El centro del AC1 se localiza en las coordenadas 19° 41' 59.83" LN - 98° 09' 26.87" LO y el del AC2 en 19° 41' 58.31" LN - 98° 10' 42.33" LO. Después de extraer los productos forestales, se delimitaron dos bloques (I y II) de 17.5 × 35.5 m en el AC1, y cuatro (III, IV, V y VI) en el AC2; los bloques se ubicaron en sitios representativos de las condiciones topográficas, edáficas y de exposición de las áreas.

De cada bloque se tomaron tres muestras de suelo a una profundidad de 25 cm y con ellas se integró una mezcla compuesta, para determinar las características de los sitios de plantación.

La plantación se realizó en la primera semana del mes de julio de 2017 con un diseño experimental de bloques completos al azar con seis repeticiones. Los tratamientos se distribuyeron en forma aleatoria en cada bloque y se plantaron mediante el sistema de “cepa común” en dos hileras continuas de seis plantas cada una, con un espaciamiento de 2.5 m entre plantas e hileras.

### Mantenimiento del ensayo

Las áreas de corta han contado con brechas cortafuego y vigilancia permanente para prevenir incendios y pastoreo. Después de la plantación, las áreas se



**Figure 1.** *Pinus patula* saplings, two years after planting (July 2019), in Block III of the logging area 2 (CA2).

**Figura 1.** Planta de *Pinus patula*, dos años después de la plantación (julio de 2019), en el bloque III del área de corta 2 (AC2).

with digital vernier (TRUPER®) around 3 cm above the soil surface (D1), and the height was measured with a 2 m graduated ruler (A1). The dead plant was quantified by treatment and block, to calculate the survival. For each treatment, the annual relative growth rates (Tcra) of diameter and height were estimated with the formula  $Tcra = (\ln Y_2 - \ln Y_1) / (T_2 - T_1)$ , where  $Y_1 = D0, A0$ ;  $Y_2 = D1, A1$ ;  $T_1$  = age of the plant at the beginning of the test;  $T_2$  = age of the plant at the end of the test (Villar et al., 2008).

### Statistical Analysis

T1 to T6 treatments were evaluated in a completely randomized block experimental design with a 3 × 2 factorial arrangement (three types of containers and two chemical root pruning conditions [with and without]) and six replications. The alternative treatment with aerial root pruning was compared with the RT-42 treatments with and without Cu coating. The differences between the variables evaluated were identified by ANOVA and Tukey's mean comparison ( $P \leq 0.05$ ) with the SAS® statistical software version 9.0 (SAS Institute Inc., 2002).

### Results and Discussion

According to Table 1, organic matter, N and K contents were higher and with higher pH in blocks with lower slope and higher height, located in CA1; in contrast, contents were lower in the blocks located in CA2 with higher slope and less deep soil. All soils had a loamy texture.

supervisaron cada bimestre para el control de malezas, cuantificación de plantas muertas e identificación de agentes causales. Las malezas se removieron manualmente durante los meses de septiembre de 2017, abril y septiembre de 2018 y abril de 2019, para permitir que las plantas crecieran libremente. A partir de la primera evaluación en septiembre de 2017, se identificó planta muerta a causa de la ingestión total de la raíz por larvas de escarabajos del género *Phyllofaga* (gallina ciega); las mayores afectaciones se registraron en los bloques del AC2, colindante con parcelas agrícolas.

### Variables evaluadas

Al momento de la plantación, el diámetro en la base del tallo (D0) y la altura de las plantas (A0) se midieron. En la primera semana de julio de 2019, a dos años de edad de la planta (Figura 1), el diámetro del tallo se midió con vernier digital (TRUPER®) a 3 cm sobre la superficie del suelo (D1), y la altura se midió con regla graduada de 2 m (A1). La planta muerta se cuantificó por tratamiento y bloque, para calcular la supervivencia. Para cada tratamiento, las tasas de crecimiento relativo anual (Tcra) de diámetro y altura se calcularon con la fórmula  $Tcra = (\ln Y_2 - \ln Y_1) / (T_2 - T_1)$ , donde  $Y_1 = D0, A0$ ;  $Y_2 = D1, A1$ ;  $T_1$  = edad de la planta al inicio de la prueba;  $T_2$  = edad de la planta al final de la prueba (Villar et al., 2008).

### Análisis estadístico

Los tratamientos T1 a T6 se evaluaron en un diseño experimental de bloques completamente al azar con arreglo factorial 3 × 2 (tres tipos de contenedor y dos

**Table 1. Physical and soil fertility characteristics of the *Pinus patula* plantation blocks in the ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla.**

**Cuadro 1. Características físicas y de fertilidad del suelo de los bloques de plantación de *Pinus patula* en el ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla.**

CA/ AC	Block/ Bloque	Altitude/ Altitud (m)	Exp	Slo/ Pen (%)	SLO/ DA (Mg·m <sup>-3</sup> )	AD/ DR (Mg·m <sup>-3</sup> )	OM/ MO (%)	pH (1:2)	EC/CE (dS·m <sup>-1</sup> )	Nutrients/Nutrientes (mg·kg <sup>-1</sup> )		
										N	P	K
1	I	2828	NO	10	0.8	2.0	5.0	5.6	0.11	0.35	0.02	1.47
1	II	2814	NO	5	0.8	2.1	6.0	5.7	0.13	0.36	0.02	1.56
2	III	2730	SO	20	0.8	1.7	5	5.3	0.16	0.37	0.02	1.59
2	IV	2738	NE	40	0.8	2.2	3	6.0	0.11	0.25	0.03	1.32
2	V	2761	SO	40	0.8	2.2	3	6.0	0.10	0.26	0.02	1.42
2	VI	2766	NO	30	0.8	2.0	5	5.8	0.11	0.34	0.03	1.45

CA = clear cut area, Exp = exposure, Slo = slope, BD = bulk density, AD = actual density, OM = organic matter, EC = electrical conductivity. pH and EC: solution of one volume of soil and two volumes of water (1:2 v/v).

AC = área de corta, Exp = exposición, Pen = pendiente, DA = densidad aparente, DR = densidad real, MO = materia orgánica, CE = conductividad eléctrica. pH y CE: solución de un volumen de tierra y dos de agua (1:2 v/v).

### Effect of container and root pruning on *P. patula* growth

According to the results of the ANOVA, shown in Table 2, the significance ( $P < 0.05$ ) of the final sizes, survival and relative growth rate were influenced by the block, which is attributed to the contrasting soil and topographical conditions of the planting areas. The influence of root pruning was more significant than the container, while the interaction container\*root pruning had no significant effect ( $P < 0.05$ ) on the variables evaluated.

Table 3 shows the growth and survival results of *P. patula* plants. Under nursery conditions, seedlings grown in PS-77 trays developed significantly higher

condiciones de poda radicular química [con y sin]) y seis repeticiones. El tratamiento alterno con poda radicular aérea se comparó con los tratamientos RT-42 con y sin recubrimiento de Cu. Las diferencias entre las variables evaluadas se identificaron mediante ANOVA y comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) con el software estadístico SAS® versión 9.0 (SAS Institute Inc., 2002).

### Resultados y discusión

Acorde con el Cuadro 1, los contenidos de materia orgánica, N y K resultaron más altos y con pH más ácido en los bloques con menor pendiente y mayor altura, localizados en el AC1; en cambio, los contenidos fueron más bajos en los bloques ubicados en el AC2 con

**Table 2. Significance values ( $P < 0.05$ ) for height and diameter growth and survival of *Pinus patula* plants grown with and without chemical root pruning in three types of containers. Analysis carried out after two years from outplanting.**

**Table 2. Significance values ( $P < 0.05$ ) for height and diameter growth and survival of *Pinus patula* plants grown with and without chemical root pruning in three types of containers. Analysis carried out after two years from outplanting.**

Source of variation/Fuente de variación	Degrees of freedom/Grados de libertad	D0	A0	D1	A1	TcraD	TcraA	Survival/Supervivencia (%)
Block/Bloque	5	0.002	0.020	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Container (Ct)/Contenedor (Ct)	2	0.001	0.001	0.020	0.612	0.014	0.001	0.019
Root pruning (RP)/Poda radicular (PR)	1	0.001	0.001	0.158	0.034	0.001	0.001	0.002
Ct*RP	2	0.029	0.145	0.330	0.278	0.110	0.789	0.408

D0 and D1: initial diameter and after 16 months under open-field conditions, respectively; A0 and A1: initial height and after two years under open-field conditions, respectively; TcraD and TcraA: annual relative growth rate in diameter and height, respectively.

D0 and D1: initial diameter and after 16 months under open-field conditions, respectively; A0 and A1: initial height and after two years under open-field conditions, respectively; TcraD and TcraA: annual relative growth rate in diameter and height, respectively.

**Table 3. Growth in height and diameter, and survival of *Pinus patula* plants grown with and without chemical root pruning in three types of container. Results after two years of outplanting.**

**Cuadro 3. Crecimiento en altura y en diámetro, y supervivencia de plantas de *Pinus patula* producidas con y sin poda radicular química en tres tipos de contenedor. Resultados después de dos años de la plantación en campo.**

VF/FV	D0 (mm)	A0 (cm)	D1 (mm)	A1 (cm)	TcraD (mm·mm <sup>-1</sup> ·year <sup>-1</sup> )/ (mm·mm <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup> )	TcraA (cm·cm <sup>-1</sup> ·year <sup>-1</sup> )/ (cm·cm <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup> )	Sv (%)
Type of container/Tipo de contenedor							
P-54	3.94 b	21.93 b	25.82 b	147.98 a	0.93 b	0.95 a	79.5 b
PS-77	4.12 a	24.10 a	29.09 a	152.04 a	0.96 a	0.91 b	85.5 ab
RT-42	3.94 b	21.41 b	27.84 ab	152.37 a	0.96 a	0.97 a	87.5 a
Root pruning/Poda radicular							
UP	4.07 a	23.20 a	27.03 a	147.11 b	0.93 b	0.92 b	0.79 b
P	3.93 b	21.61 b	28.00 a	153.02 a	0.97 a	0.97 a	0.89 a

VF = variation factor. D0 and D1: initial and final diameter, respectively; A0 and A1: initial and final height, respectively; TcraD and TcraA: relative annual growth rate in diameter and height, relative annual growth rate in diameter and height, respectively, P-54: cavity plastic tray, PS-77: 77-cavity polystyrene tray, RT-42: grid with 42 plastic containers. UP = unpruned, P = pruned, Sv = survival. Different letters in each column indicate significant differences between treatments according to the Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

FV = factor de variación. D0 y D1: diámetro inicial y final, respectivamente; A0 y A1: altura inicial y final, respectivamente; TcraD y TcraA: tasa de crecimiento relativo anual en diámetro y altura, respectivamente. P-54: charola de plástico de 54 cavidades, PS-77: charola de poliestireno de 77 cavidades, RT-42: rejilla con 42 tubetes de plástico. SP = sin poda, CP = con poda, Sv = supervivencia. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

diameter and height values ( $P \leq 0.05$ ) than the set of seedlings grown in P-54 and RT-42 trays. Under field conditions, the values of relative growth rates of diameter and height and survival were significantly higher ( $P \leq 0.05$ ) in plants grown in RT-42 and PS-77 containers. Plants in PS-77 trays also developed larger sizes in final diameter, while in final height there were no significant differences per container.

According to the hypothesis, the group of plants with root pruning developed values of final height, relative growth rates after outplanting (TrcaD, TrcaA), and significantly higher survival rates ( $P \leq 0.05$ ) compared to the group of unpruned plants, despite the fact that the latter showed significantly larger sizes at the time of planting.

The higher seedling growth in polystyrene trays is attributable to their physical characteristics (insulating raw material, white color, wall thickness greater than 5 mm), which contribute to maintaining the temperature of the substrate more stable and, therefore, seedlings can develop greater root and aerial growth compared to those grown in plastic trays (Landis et al., 2014). At the nursery stage, lower growth of seedlings with chemical root pruning is attributable to the development of short and thin lateral roots, while the unpruned seedlings developed thick and long lateral roots (Aguilera-Rodríguez et al., 2016).

Under field conditions, the effect of root pruning may not be significant in the growth of the plants during the first years, because in this period the plants invest more resources in root growth than in aerial growth; however, in this study significant differences in height were recorded in only two years, probably because the species is fast growing, it was established in a natural distribution site where soil is deep and fertile. It is also possible that during the first two years there are no significant differences due to the effect of root pruning, particularly when the plant is grown in cavities smaller than 150 cc, the planting is done in very cold sites or with poor soils and grass stage species, as it happened in the studies cited below.

In a planting experiment with *Pinus palustris* Mill. (a grass stage species from the south of the United States), South et al. (2005) used seedlings grown in polystyrene trays (Supperblock®) immersed with a Cu solution (Spin Out®), and plastic trays (Hiko V-93) without Cu coating, both with 93 cc cavities; two years later, plants with and without pruning, established in four sites, did not show significant differences ( $P > 0.05$ ) in diameter (3.7 vs. 3.7 cm), height (23 vs. 21 cm), survival (78 vs. 75 %) and rupture of the grass stage (63 vs. 60 %). In contrast, Haywood, Sung, and Sword (2012) produced the same species in 60, 108, and 164 cc Cu-treated polystyrene trays and, five years after planting,

pendiente más alta y suelo menos profundo. Todos los suelos tuvieron textura migajón-limoso.

### Efecto del contenedor y poda radicular sobre el crecimiento de *P. patula*

De acuerdo con los resultados del ANOVA, mostrados en el Cuadro 2, los valores de significancia ( $P < 0.05$ ) de las tallas finales, tasa de crecimiento relativo y supervivencia fueron influenciados por el factor bloque, lo cual se atribuye a las condiciones edáficas y topográficas contrastantes de las áreas de plantación. La influencia del factor poda radicular fue más significativa que el factor contenedor, mientras que la interacción contenedor\*poda radicular no tuvo efecto significativo ( $P < 0.05$ ) en las variables evaluadas.

El Cuadro 3 muestra los resultados de crecimiento y supervivencia de las plantas de *P. patula*. En vivero, las plantas producidas en charolas PS-77 desarrollaron valores de diámetro y altura significativamente superiores ( $P \leq 0.05$ ) a los del conjunto de plantas producidas en las charolas P-54 y RT-42. En campo, los valores de las tasas relativas de crecimiento del diámetro y altura y de supervivencia fueron significativamente superiores ( $P \leq 0.05$ ) en las plantas producidas en contenedores RT-42 y PS-77. Las plantas de las charolas PS-77 también desarrollaron tallas superiores en diámetro final, mientras que en la altura final no se registraron diferencias significativas por tipo de contenedor.

Conforme a la hipótesis planteada, el conjunto de plantas con poda radicular desarrolló valores de altura final, tasas relativas de crecimiento en campo (TrcaD, TrcaA), y de supervivencia significativamente superiores ( $P \leq 0.05$ ) al conjunto de plantas sin poda, a pesar de que estas últimas presentaron tallas significativamente superiores al momento de la plantación.

El mayor crecimiento de la planta en las charolas de poliestireno es atribuible a que poseen características físicas (materia prima aislante, color blanco, grosor de pared mayor de 5 mm) que contribuyen a mantener la temperatura del sustrato más estable y, por consiguiente, las plantas pueden desarrollar mayores crecimientos radicular y aéreo que las producidas en charolas de plástico (Landis et al., 2014). En la etapa de vivero, el menor crecimiento de la planta con poda radicular química es atribuible al desarrollo de raíces laterales cortas y delgadas, en tanto que la planta sin poda desarrolla raíces laterales gruesas y largas (Aguilera-Rodríguez et al., 2016).

En campo, el efecto de la poda radicular puede ser no significativa en el crecimiento de la planta durante los primeros años, debido a que, en este periodo, la planta invierte más recursos en el crecimiento radicular que



found that plants with and without pruning showed significant differences ( $P \leq 0.05$ ) in diameter (7.0 vs. 6.5 cm) and height (200 vs. 170 cm), although not in survival (94 vs. 91 %).

In another experiment conducted by Regan et al. (2015) with *Pinus monticola* Douglas ex D. Don (a slow-growing subalpine species), seedlings were grown in polystyrene trays with 80 and 130 cc cavities treated with Cu. After 5.5 years from outplanting, plants with and without root pruning did not show significant differences ( $P > 0.05$ ) in survival (59 vs. 52 %), but did show significant differences in diameter (3.5 vs. 3.2 cm) and height (134 vs. 121 cm).

When planting is done in sites with dry climate, differences may be less evident during the first two years, as is the case of *Pinus halepensis* Mill. Tsakalimi and Ganatsas (2006) grew this species in plastic trays with cavities of 650 cc treated with a plastic solution of 3.3 % of basic Cu carbonate ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ) and established in a Mediterranean climate site with an average annual rainfall of 581 mm. Two years after planting, trees with and without root pruning showed no significant differences ( $P > 0.05$ ) in diameter (1.0 vs. 1.16 cm), height (72.0 vs. 82.0) and survival (95.0 vs. 98.3 %).

#### Effect of the type of pruning (chemical vs. aerial) on the growth of *P. patula*

Seedlings grown in containers designed for aerial root pruning (RTa-42) was compared with its two similar RT-42s (with and without cavities treated with Cu). According to Table 4, the initial diameter and height were significant ( $P < 0.05$ ) due to the effect of root pruning; the unpruned seedlings developed larger sizes compared to those with root pruning. After two years from outplanting, the plant with aerial root pruning had

en el crecimiento aéreo; sin embargo, en el presente estudio se registraron diferencias significativas en la altura en tan solo dos años, debido probablemente a que la especie es de crecimiento rápido, se estableció en un sitio donde se distribuye de manera natural y el suelo es profundo y fértil. También es posible que durante los dos primeros años no haya diferencias significativas debido al efecto de la poda radicular, particularmente, cuando la planta se produce en cavidades menores de 150 cc, la plantación se realiza en sitios muy fríos o con suelos pobres y las especies son de crecimiento cespitoso, tal como sucedió en los estudios citados a continuación.

En un experimento de plantación con *Pinus palustris* Mill. (especie cespitosa del sur de Estados Unidos), South et al. (2005) utilizaron planta producida en charolas de poliestireno (Supperblock®) impregnadas con una solución de Cu (Spin Out®), y charolas de plástico (Hiko V-93) sin recubrimiento de Cu, ambas con cavidades de 93 cc; dos años después, las plantas con y sin poda, establecidas en cuatro sitios, no presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en diámetro (3.7 vs. 3.7 cm), altura (23 vs. 21 cm), supervivencia (78 vs. 75 %) y ruptura del estado cespitoso (63 vs. 60 %). En cambio, Haywood, Sung, y Sword (2012) produjeron la misma especie en charolas de poliestireno de 60, 108 y 164 cc impregnadas con Cu y, a los cinco años de la plantación, encontraron que las plantas con y sin poda mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en diámetro (7.0 vs. 6.5 cm) y altura (200 vs. 170 cm), aunque no en supervivencia (94 vs. 91 %).

En otro experimento realizado por Regan et al. (2015) con *Pinus monticola* Douglas ex D. Don (especie subalpina de lento crecimiento), la planta se produjo en charolas de poliestireno con cavidades de 80 y 130 cc impregnadas con Cu. Después de 5.5 años de la plantación en campo, las plantas con y sin poda

**Table 4. Growth in height and diameter, and survival of *Pinus patula* plants grown in tubers without pruning (UP) and with chemical (CRP) and aerial (ARP) root pruning. Results after two years of outplanting.**

**Cuadro 4. Crecimiento en altura y diámetro, y supervivencia de plantas de *Pinus patula* producidas en tubetes sin poda (SP) y con poda radicular química (PRQ) y aérea (PRA). Resultados después de dos años de la plantación en campo.**

Tr	CT	FV	D0 (mm)	A0 (cm)	D1 (mm)	A1 (cm)	TcraD (mm·mm <sup>-1</sup> ·year <sup>-1</sup> )/ (mm·mm <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup> )	TcraA (cm·cm <sup>-1</sup> ·year <sup>-1</sup> )/ (mm·mm <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup> )	Sv (%)
3	RT-42	SP	4.03 a	22.36 a	27.82 a	149.92 a	0.95 a	0.94 c	85 a
6	RT-42	CRP	3.84 b	20.49 b	28.03 a	154.57 a	0.98 a	1.00 b	90 a
7	RTa-42	ARP	3.78 b	17.59 c	27.29 a	152.49 a	0.97 a	1.07 a	88 a
P	0.001	0.001	0.830	0.765	0.567	0.001	0.605		

Tr = treatment, CT = containers, FV = variation factor, Sv = survival. D0 and D1: initial and final diameter, respectively; A0 and A1: initial and final height, respectively; TcraD and TcraA: relative annual growth rate in diameter and height, respectively; RT-42: grid with 42 plastic containers; RTa-42: grid with 42 plastic containers with openings in their walls. Different letters in a column indicate significant differences between treatments according to the Tukey's test.

Tr = tratamiento, CT = contenedores, FV = factor de variación, Sv = supervivencia. D0 y D1: diámetro inicial y final, respectivamente; A0 y A1: altura inicial y final, respectivamente; TcraD y TcraA: tasa de crecimiento relativo anual en diámetro y altura, respectivamente; RT-42: rejilla con 42 tubetes de plástico; RTa-42: rejilla con 42 tubetes de plástico con aberturas en sus paredes. Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey.

a higher annual relative growth rate in height (TcraA) compared to the plants with chemical root pruning and without pruning; in the rest of the variables evaluated there were no significant differences, despite the fact that, at the beginning of the plantation, the plants with aerial and chemical pruning had significantly smaller sizes than the unpruned seedlings.

According to outplanting studies, plants with aerial root pruning can be as efficient as those grown with chemical root pruning and have greater growth than unpruned plants. Cambell, Kiskiila, Philip, Zwiazek, and Jones (2006) grew *Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia* Engelm. in three types of trays (Copperblock®, Airblock®, and Superblock®) with 80 cc cavities, with treatment and design for chemical and aerial root pruning, and without root pruning. Plants were established in a subalpine site with average annual rainfall of 780 mm and average daily temperature of -0.3 °C. At the end of the test (1.5 years), plants with aerial pruning developed significantly smaller sizes than plants with chemical pruning and without pruning, with the advantage that root dry weight and root dry weight/air dry weight were not statistically different ( $P \leq 0.05$ ).

In the case of pine trees with grass stage growth, Sung and Haywood (2016) grew *P. palustris* in plastic trays (Rigi-pots®) with 110 cc cavities, with and without a design to encourage aerial root pruning. After 24 months of planting, plants with aerial root pruning and without pruning showed no significant differences ( $P \leq 0.05$ ) in diameter (16.0 vs. 16.2 mm), height (6.0 vs. 6.1 cm) and survival (96 vs. 93 %); in contrast, the number of thick lateral roots ( $\geq 0.9$  mm) emitted with enveloping growth was statistically different (2.1 vs. 4.5). Based on this root behavior, the authors concluded that plants with aerial root pruning could present greater growth and aerial stability than plants without pruning in subsequent years.

Regarding Mexican species grown with aerial root pruning, we only have the antecedent of a field study carried out by Sánchez-Vásquez et al. (2017), who produced *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* seedlings in 245 cc black and white plastic containers and grid containers with and without surrounding lateral openings, with three types of substrate and two levels of fertilization. The trees were established in a site with precipitation and average temperature of 1 215 mm and 15 °C, respectively. One year later, the plants with aerial root pruning and without pruning did not have significant differences in diameter (5.2 vs. 5.3 mm), height (45.1 vs. 45.3 cm) and survival (90 vs. 89 %), despite the fact that the initial diameter of the plants with aerial root pruning was significantly lower than those of unpruned seedlings (2.9 vs. 3.1 mm).

radicular no presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en supervivencia (59 vs. 52 %), pero sí en diámetro (3.5 vs. 3.2 cm) y altura (134 vs. 121 cm).

Cuando la plantación se realiza en sitios con clima seco, las diferencias pueden ser menos evidentes durante los primeros dos años, como es el caso de *Pinus halepensis* Mill. Tsakaldimi y Ganatsas (2006) cultivaron esta especie en charolas de plástico con cavidades de 650 cc impregnadas con una solución plástica de 3.3 % de carbonato de Cu básico ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ) y la establecieron en un sitio con clima mediterráneo y precipitación media anual de 581 mm. Dos años después de la plantación, los árboles con y sin poda radicular no presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en diámetro (1.0 vs. 1.16 cm), altura (72.0 vs. 82.0) y supervivencia (95.0 vs. 98.3 %).

#### Efecto del tipo de poda (química vs. aérea) sobre el crecimiento de *P. patula*

El crecimiento de la planta producida en tubetes con diseño para poda radicular aérea (RTa-42) se comparó con sus dos similares RT-42 (con y sin cavidades impregnadas de Cu). De acuerdo con el Cuadro 4, el diámetro y altura iniciales fueron significativas ( $P < 0.05$ ) por efecto del tipo de poda radicular; la planta sin poda desarrolló tallas mayores que la planta con poda radical. Después de dos años de crecimiento en campo, la planta con poda radicular aérea tuvo mayor tasa de crecimiento relativo anual en altura (TcraA) que las plantas con poda radicular química y sin poda; en el resto de las variables evaluadas no hubo diferencias significativas, a pesar de que, al inicio de la plantación, las plantas con poda aérea y química poseían tallas significativamente inferiores a la planta sin poda.

De acuerdo con estudios de campo, las plantas con poda radicular aérea pueden ser tan eficientes como las producidas con poda radicular química y tener mayor crecimiento que las plantas sin poda. Cambell, Kiskiila, Philip, Zwiazek, y Jones (2006) produjeron *Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia* Engelm. en tres tipos de charolas (Copperblock®, Airblock® y Superblock®) con cavidades de 80 cc, con tratamiento y diseño para poda radicular química y aérea, y sin poda radicular. La planta se estableció en un sitio subalpino con precipitación media anual de 780 mm y temperatura media diaria de -0.3 °C. Al final de la prueba (1.5 años), la planta con poda aérea desarrolló tallas significativamente inferiores a la planta con poda química y sin poda, con la ventaja de que las variables de peso seco radicular y peso seco radicular/peso seco aéreo no fueron estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

En el caso de pinos con crecimiento cespitoso, Sung y Haywood (2016) produjeron *P. palustris* en charolas de

Production of seedlings in containers designed for aerial root pruning has the advantage of not contaminating the soil or the environment with Cu leachates, as happens in chemical root pruning, although requires greater irrigation frequency and fertilizers during the nursery stage. To reduce water and fertilizer loss, Landis (2005) recommends several management practices, including separate containers with and without openings, the use of white containers in areas with high temperatures or at the ends of the growing tables, elaboration of a specific irrigation program, and the use of controlled-release fertilizers to reduce leaching losses.

### Seedling survival of *P. patula*

Seedling survival was affected by the factors: block, container and chemical root pruning ( $P < 0.05$ ), but not by the interaction container\*root pruning (Table 2). Outplanting survival of plants grown in P-54 trays was significantly lower than those grown in polystyrene trays (PS-77) and in grid with plastic containers (RT-42) (Table 3); among other causes, this may be attributable to the fact that, under nursery conditions, seedlings grown in these types of trays developed the lowest sizes.

In CA1, mortality was caused by frost in December 2017 and January 2018, with survivals of 86 and 100 % for blocks I and II, respectively, and 99, 97 and 99 % for unpruned plants, with CRP and ARP, respectively. In CA2, *Phyllofaga* (May beetle) affected from September 2017 to November 2018, with survival of 78, 76, 74 and 88 % for blocks III, IV, V and VI, respectively, and 82, 91 and 89 % for unpruned plants, with CRP and with ARP, respectively. It should be noted that CA2 borders on agricultural areas, where the presence of this type of insect is common; in this regard, Cibrian (2016) points out that insects of the genus *Phyllofaga* predominate in temperate climates and are one of the main pests of newly established forest plantations, especially on land that was once used for agricultural activities.

Greater affectation in plants without root pruning can be attributed to the fact that this type of seedlings develop roots with enveloping growth under nursery conditions, which persist after outplanting during the first years (South et al., 2001; Sung & Dumroese, 2013); in contrast, plants with root pruning emit horizontal lateral roots faster than unpruned plants, which gives them greater resistance to damage by pathogens and to extreme natural phenomena (Landis et al., 2014).

### Conclusions

During the first two years of field growth, *Pinus patula* plants with chemical root pruning showed

plástico (Rigi-pots®) con cavidades de 110 cc, con y sin diseño para propiciar la poda radicular aérea. Después de 24 meses de la plantación, las plantas con poda radicular aérea y sin poda no mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en el diámetro (16.0 vs. 16.2 mm), altura (6.0 vs. 6.1 cm) y supervivencia (96 vs. 93 %); en cambio, el número de raíces laterales gruesas ( $\geq 0.9$  mm) emitidas con crecimiento envolvente si fue estadísticamente diferente (2.1 vs. 4.5). Con base en este comportamiento de la raíz, los autores concluyeron que las plantas con poda radical aérea podrían presentar mayor crecimiento y estabilidad aérea que las plantas sin poda en los años posteriores.

Respecto a las especies mexicanas producidas con poda radicular aérea, solo se tiene el antecedente de un trabajo de campo realizado por Sánchez-Vásquez et al. (2017), quienes produjeron planta de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* en contenedores de rejilla y tubetes de plástico de color blanco y negro de 245 cc con y sin aberturas laterales circundantes, con tres tipos de sustrato y dos niveles de fertilización. Los árboles fueron establecidos en un sitio con precipitación y temperatura media de 1215 mm y 15 °C, respectivamente. Un año después, las plantas con poda radicular aérea y sin poda no tuvieron diferencias significativas en diámetro (5.2 vs. 5.3 mm), altura (45.1 vs. 45.3 cm) y supervivencia (90 vs. 89 %), a pesar de que el diámetro inicial de las plantas con poda radicular aérea fue significativamente inferior al de las plantas sin poda (2.9 vs. 3.1 mm).

La producción de planta en contenedores con diseño para poda radicular aérea presenta la ventaja de no contaminar el suelo o el ambiente con lixiviados de Cu, como sucede en la poda radicular química, aunque sí demanda mayor cantidad de láminas de riego y fertilizantes durante la etapa de vivero. Para reducir la pérdida de agua y fertilizantes, Landis (2005) recomienda varias prácticas de manejo, incluyendo el acomodo separado de los contenedores con y sin aberturas, el uso de contenedores blancos en zonas con temperaturas altas o en los extremos de las mesas portacharolas, elaboración de un programa específico de riego y el uso de fertilizantes de liberación controlada para reducir pérdidas por lixiviación.

### Supervivencia de la planta de *P. patula*

La supervivencia de la planta fue afectada por los factores bloque, contenedor y poda radicular química ( $P < 0.05$ ), pero no por la interacción contenedor\*poda radicular (Cuadro 2). La supervivencia en campo de la planta producida en charolas P-54 fue significativamente más baja que la de la planta producida en charolas de poliestireno (PS-77) y en rejilla con tubetes de plástico (RT-42) (Cuadro 3); entre otras causas, esto puede ser atribuible a que, en

survival, growth in height and relative growth rates in diameter and height higher than plants grown without root pruning. Seedlings grown in polystyrene trays developed the highest values of survival, growth in height and relative growth rates in diameter and height. Despite starting with the lowest sizes under nursery conditions, seedlings grown in trays with aerial root pruning developed similar sizes, relative growth rates, and survival rates than those without and with chemical root pruning. The production of seedlings in containers designed for aerial root pruning has the advantage of not having risks of environmental contamination and not harming the health of workers, as is the case with chemical root pruning.

### Acknowledgements

The authors are grateful to the authorities of the forest ejidos of Peñuelas, Pueblo Nuevo and Llano Grande in the municipality of Chignahuapan, Puebla, who provided the nursery facilities, inputs for plant production, and labor for protection and maintenance activities in logging areas.

### End of English version

### References / Referencias

- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordaz-Chaparro, V. M. (2016a). Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia*, 50, 107–118. Retrieved from <https://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2016/ene-feb/art-8.pdf>
- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordaz-Chaparro, V. M. (2016b). Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(34), 7–19. Retrieved from [www.redalyc.org/pdf/634/63446831002.pdf](http://www.redalyc.org/pdf/634/63446831002.pdf)
- Aldana, B. R., & Aguilera, R. M. (2003). Procedimientos y cálculos básicos útiles en la operación de viveros que producen en contenedor. Retrieved from <https://www.yumpu.com/es/document/read/32099229/procedimientos-y-calculos-basicos-utiles-en-la-operacion-de-inicio>
- Aldrete, A., Mexal, J. G., Phillips, R., & Vallotton, A. D. (2002). Copper coated polybags improve seedlings morphology for two nursery-grown Mexican pine species. *Forest Ecology and Management*, 163, 197–204. doi: 10.1016/S0378-1127(01)00579-5
- Barajas, R. J. E., Aldrete, A., Vargas-Hernández, J. J., & López-Upton, J. (2004). La poda química en vivero incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. *Agrociencia*, 38, 545–553. Retrieved from [www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2004/sep-oct/art-9.pdf](http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2004/sep-oct/art-9.pdf)

vivero, la planta producida en ese tipo de charolas fue la que desarrolló las tallas más bajas.

En el AC1, la muerte de las plantas fue causada por heladas registradas en diciembre de 2017 y enero de 2018, con supervivencias de 86 y 100 % para los bloques I y II, respectivamente, y de 99, 97 y 99 % para la planta sin poda, con PRQ y con PRA, respectivamente. En el AC2, la afectación por larvas de escarabajos del género *Phyllofaga* (gallina ciega) ocurrió de septiembre de 2017 a noviembre de 2018, con supervivencias de 78, 76, 74 y 88 % para los bloques III, IV, V y VI, respectivamente, y de 82, 91 y 89 % para la planta sin poda, con PRQ y con PRA, respectivamente. Cabe resaltar que el AC2 colinda con parcelas agrícolas, donde la presencia de este tipo de insectos es común; al respecto, Cibrián (2016) señala que los insectos del género *Phyllofaga* predominan en los climas templados y que son una de las principales plagas de las plantaciones forestales recién establecidas, sobre todo en terrenos que estuvieron destinados a actividades agropecuarias.

La mayor afectación en plantas sin poda radicular puede atribuirse al hecho de que este tipo de plantas desarrollan raíces con crecimientos envolventes en vivero, mismos que persisten en campo durante los primeros años (South et al., 2001; Sung & Dumroese, 2013); en cambio, las plantas con poda radicular emiten raíces laterales en sentido horizontal más rápido que las plantas sin poda, lo cual les confiere mayor resistencia al daño por patógenos y a fenómenos naturales extremos (Landis et al., 2014).

### Conclusiones

Durante los dos primeros años de crecimiento en campo, las plantas de *Pinus patula* con poda radicular química presentaron supervivencia, crecimiento en altura y tasas de crecimiento relativo en diámetro y altura mayores que la planta producida sin poda radicular. La planta en charolas de poliestireno desarrolló los valores más altos de supervivencia, crecimiento en altura y tasas de crecimiento relativo en diámetro y altura. A pesar de haber iniciado con las tallas más bajas en vivero, la planta producida en charolas con poda radicular aérea desarrolló tallas, tasas de crecimiento relativo y supervivencia similares a la planta producida en las mismas charolas sin y con poda radicular química. La producción de planta en contenedores con diseño para poda radicular aérea tiene la ventaja de no presentar riesgos de contaminación del ambiente y de no dañar la salud de los trabajadores, como sucede con la poda radicular química.

- Cambell, B., Kiiskila, D. S., Philip, L. J., Zwiazek, J. J., & Jones, M. D. (2006). Effects of forest floor planting and stock type on growth and root emergence of *Pinus contorta* seedlings in a cold northern cutblock. *New Forests*, 32, 145–162. doi: 10.1007/s11056-005-5037-8
- Castro, G. S. L., Aldrete, A., López-Upton, J., & Ordaz-Chaparro, V. M. (2018). Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* en vivero. *Agrociencia*, 52, 115–127. Retrieved from <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2018/ene-feb/art-9.pdf>
- Cibrián, T. D. (2016). *Manual para la identificación y manejo de plagas en plantaciones forestales comerciales*. Chapingo, México: CONAFOR-Universidad Autónoma Chapingo. Retrieved from <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/ver.aspx?grupo=43&articulo=6043>
- Cortina, J., Navarro, R. M., & Del Campo, A. (2006). *Evaluación del éxito de la reintroducción de especies leñosas en ambientes mediterráneos*. In J. Cortina, J. L. Peñuelas, J. Puértolas, R. Savé, & A. Vilagrosa (Eds.), *Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos* (pp. 11–29). Madrid, España: Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente.
- Escobar, R. R. (2012). *Fase de cultivo: endurecimiento*. En M. G. Buamscha, L. T. Contardi, R. K. Dumroese, R. J. A. Enricci, R. Escobar, H. E. Gonda, & M. K. Wilkinson (Eds.), *Producción de planta en viveros forestales* (pp. 145–162). Buenos Aires, Argentina: Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico. Consejo Federal de Inversiones. Retrieved from [http://ciefaf.org.ar/documentos/pub/Produc\\_plantas\\_viv.pdf](http://ciefaf.org.ar/documentos/pub/Produc_plantas_viv.pdf)
- Haywood, D. J., Sung, S. S., & Sword, S. M. A. (2012). Copper root pruning and container cavity size influence longleaf pine growth through five growing seasons. *Southern Journal of Applied Forestry*, 36(3), 146–151. Retrieved from [https://www.srs.fs.fed.us/pubs/ja/2012/ja\\_2012\\_haywood\\_001.pdf](https://www.srs.fs.fed.us/pubs/ja/2012/ja_2012_haywood_001.pdf)
- Landis, T. D. (2005). Sideslit or airslit containers. *Forest Nursery Notes*, 19, 17–19. Retrieved from <https://www.rngr.net/publications/fnn/2005-summer>
- Landis, T. D. (2010). Managing surplus or holdover nursery stock. *Forest Nursery Notes*, 30, 10–12. Retrieved from <https://rng.net/publications/fnn/2010-winter/2010-winter-forest-nursery-notes-publication-by-article>
- Landis, T. D., Luna, T., & Dumroese, R. K. (2014). Containers. In K. M. Wilkinson, T. D. Landis, D. L. Hasse, B. F. Daley, & R. K. Dumroese (Eds.), *Tropical nursery manual* (pp. 123–139). Washington, DC, USA: U. S. Forest Service. Retrieved from <https://rng.net/publications/tropical-nursery-manual>
- Regan, J. D., Apostol, K. G., & Davis, A. S. (2015). Stocktype influences western white pine seedling size 6 years after outplanting. *Tree Planters' Notes*, 58(1). Retrieved from <https://www.rngr.net/publications/tpn/58-1>
- Ritchie, G. A., Landis, T. D., Dumroese, R. K., & Haase, D. L. (2010). *Evaluation the quality plant*. In T. D. Landis, R. K. Dumroese, & D. L. Haase (Eds.), *Container tree nursery manual seedling processing, storage, and outplanting* (vol. 7, pp. 3–15). USA: USDA Forest Service. Retrieved from <https://rng.net/publications/ctnm>
- Sánchez, A. H., Aldrete, A., Vargas-Hernández, J. J., & Ordaz-Chaparro, V. M. (2016). Influencia del tipo y color de envase

## Agradecimientos

A las autoridades de los ejidos forestales Peñuelas, Pueblo Nuevo y Llano Grande, del municipio de Chignahuapan, Puebla, quienes aportaron las instalaciones del vivero, insumos para la producción de planta, y la mano de obra para las actividades de protección y mantenimiento de las áreas de corta.

### Fin de la versión en español

- en el desarrollo de plantas de pino en vivero. *Agrociencia*, 50, 481–492. Retrieved from <https://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2016/may-jun/art-9.pdf>
- Sánchez-Vásquez, B. O., Cetina-Alcalá, V. M., López-López, M. A., & Trejo-Téllez, L. I. (2017). Efecto del sistema de producción de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* en vivero sobre su desarrollo morfofisiológico en campo. *Agroproductividad*, 10(8), 59–64. Retrieved from <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1076/922>
- Secretaría de Economía (SE). (2016). Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016. Certificación de la operación de viveros forestales. México: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5464460&fecha=07/12/2016](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5464460&fecha=07/12/2016)
- South, D. B., Shelton, J., & Enebak, S. A. (2001). Geotropic lateral roots of container-grown longleaf pine seedlings. *Native Plants Journal*, 2(2), 126–130. doi: 10.3368/njp.2.2.126
- South, D. B., Harris, S. W., Barnett, J. P., Hains, M. J., & Gjerstad, D. H. (2005). Effect of container type and seedling size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, U.S.A. *Forest Ecology and Management*, 204(2-3), 385–394. doi: 10.1016/j.foreco.2004.09.016
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.). (2002). SAS version 9.0. Cary, NC, USA: Author.
- Sung, S. S., Dumroese, R. K., Pinto, R. J., & Sayer, S. A. (2019). The persistence of container nursery treatments on the field performance and root system morphology of longleaf pine seedlings. *Forests*, 10(9), 807. doi: 10.3390/f10090807
- Tsakalimi, N., M., & Ganatsas, P. P. (2006). Effect of chemical root pruning on stem growth, root morphology and field performance of the Mediterranean pine *Pinus halepensis* Mill. *Scientia Horticulturae*, 109(2), 183–189. doi: 10.1016/j.scienta.2006.04.007
- Villar, R., Ruiz, R. J., Quero, J. L., Poorter, H., Valladares, F., & Maranon, T. (2008). Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En F. Valladares (Ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (2.<sup>a</sup> ed., pp. 193–230). Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente. EGRAF, S. A.). Retrieved from [https://www.academia.edu/2919681/Tasas\\_de\\_crecimiento\\_en\\_especies\\_leñosas\\_aspectos\\_funcionales\\_e\\_implicaciones\\_ecológicas](https://www.academia.edu/2919681/Tasas_de_crecimiento_en_especies_leñosas_aspectos_funcionales_e_implicaciones_ecológicas)

