

# Influence of fertilization on survival and growth of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. under nursery and field conditions

## Influencia de la fertilización en la supervivencia y crecimiento de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. en vivero y campo

Mitsuo Heras-Marcial<sup>1</sup>; Arnulfo Aldrete<sup>1\*</sup>;  
Armando Gómez-Guerrero<sup>1</sup>; Dante A. Rodríguez-Trejo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado en Ciencias Forestales. Carretera México- Texcoco km 36.5. C. P. 56230. Texcoco, Estado de México, México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Carretera México- Texcoco km 38.5. C.P. 56230. Texcoco, Estado de México, México.

\*Corresponding author: aaldrete@colpos.mx; tel.: +52 595 101 1774.

### Abstract

**Introduction:** The use of fertilizers for forest plant production in nursery improves quality and favors field performance.

**Objective:** To identify the effects of fertilizer doses on the growth of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. under nursery conditions, and survival and growth under field conditions.

**Materials and methods:** A total of eight fertilization treatments with eight (Multicote Agri®) and 12 months (Multicote®) nutrient release times were evaluated at the GUMAIR nursery in Acaxochitlán, Hidalgo. Plants were established in the field and fertilization treatments were incorporated to evaluate survival and growth (height and diameter) after a year.

**Results and discussion:** Under nursery conditions, plants with 8 g·L<sup>-1</sup> of eight-month fertilizer in combination with 4 and 6 g·L<sup>-1</sup> of 12-month fertilizer release had the highest values ( $P \leq 0.0001$ ) in all variables. The combination of 4 g·L<sup>-1</sup> of eight-month fertilizer and 4 g·L<sup>-1</sup> of 12-month fertilizer release had the same effect as these treatments in diameter, root and shoot dry weight and Dickson's quality index under nursery conditions, while under field conditions it caused higher survival (95 %) after a year of planting. The effect of these three treatments in the nursery agreed with the higher growth and N concentration in foliage under field conditions.

**Conclusion:** Plants with desired morphological characteristics and better field performance were obtained with 4 g·L<sup>-1</sup> of eight-month fertilizer and 4 g·L<sup>-1</sup> of 12-month release.

**Keywords:** seedling quality; plant production; morphological evaluation; controlled release fertilizer.

### Resumen

**Introducción:** El uso de fertilizantes para la producción de planta forestal en vivero mejora la calidad y favorece el desempeño en campo.

**Objetivo:** Identificar los efectos de dosis de fertilización sobre el crecimiento de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. en condiciones de vivero, y la supervivencia y crecimiento en campo.

**Materiales y métodos:** En el vivero GUMAIR en Acaxochitlán, Hidalgo, se evaluaron ocho tratamientos de fertilización con tiempos de ocho (Multicote Agri®) y 12 meses (Multicote®) de liberación de nutrientes. Las plantas se establecieron en campo y se incorporaron tratamientos de fertilización para evaluar supervivencia y crecimiento (altura y diámetro) después de un año.

**Resultados y discusión:** En vivero, las plantas con 8 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de ocho meses en combinación con 4 y 6 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de 12 meses de liberación mostraron los valores más altos ( $P \leq 0.0001$ ) en todas las variables. La combinación de 4 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de ocho meses y 4 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de 12 meses de liberación tuvo el mismo efecto que dichos tratamientos en diámetro, peso seco radical y aéreo e índice de calidad de Dickson en vivero; mientras que en campo causó mayor supervivencia (95 %) después de un año de la plantación. El efecto de estos tres tratamientos en vivero coincidió en el mayor crecimiento y concentración de N en el follaje en campo.

**Conclusión:** Las plantas con características morfológicas deseadas y mejor desempeño en campo se obtuvieron con 4 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de ocho meses y 4 g·L<sup>-1</sup> de 12 meses de liberación.

**Palabras clave:** calidad de planta; producción de planta; evaluación morfológica; fertilizante de liberación controlada.

## Introduction

Reforestation promoted by the Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), through the subsidies it offers, had 63.77 % average survival in the field in 2018. However, the percentages were variable due to the presence of drought, frost, grazing and environmental factors, including precipitation and temperature; another decisive aspect was the quality of the plant, especially regarding nutrient content during nursery production (CONAFOR, 2018). Moderate nutrient deficiency can cause physiological stress, while seedlings with adequate nutrition reach better sizes. The effect of fertilization on seedlings depends on the type, dose, form and time of application (Fu, Oliet, Li, & Wang, 2017). Rodríguez (2008) mentions that the importance of seedling quality control lies in obtaining morphological and physiological standards and in the specification of these standards in the field evaluation, which have been scarcely analyzed and studied in Mexico.

Fertilizer use in nursery-based forest plant production systems is important because an appropriate nutrition regime improves quality and enhances field performance of seedlings (Landis & Dumroese, 2009; Grossnickle & MacDonald, 2018). Despite this, fertilization procedures and routines, specific to each species, are unknown, as well as the effect of the nutrient content of the seedlings on their field performance (Jackson, Dumroese, & Barnett, 2012; Oliet, Puértolas, Planelles, & Jacobs, 2013).

Controlled-release fertilizers supply the nutrients required by plants during growing and in the nursery can be managed in a single application. This simplifies the production process, reduces labor costs, and minimizes leaching losses in irrigation water (Haase, Rose, & Trobaugh, 2006; Landis & Dumroese, 2009). Controlled-release fertilizers have the potential to increase the competitiveness of forest plants in a variety of reforestation sites; however, there is little knowledge regarding release patterns and their mechanisms of interaction with growth media (Rose, Haase, & Arellano, 2004), seedling quality and field survival.

This study aims to identify the direct effects of different doses of fertilization on the morphological characteristics of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. under nursery conditions, and the survival and growth in the field.

## Materials and Methods

### Nursery stage

#### Study area

This research was carried out from January 30 to September 18, 2020 in the GUMAIR forest nursery,

## Introducción

Las reforestaciones promovidas por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), a través de los apoyos que ofrece, tuvieron 63.77 % de supervivencia promedio en campo en el 2018. No obstante, los porcentajes fueron variables debido a la presencia de sequía, heladas, pastoreo y factores ambientales, entre ellos la precipitación y temperatura; otro aspecto decisivo fue la calidad de la planta, especialmente en términos del contenido nutrimental durante la producción en vivero (CONAFOR, 2018). La deficiencia nutrimental moderada puede ocasionar estrés fisiológico, mientras que las plántulas con nutrición adecuada alcanzan mejores tallas. El efecto de la fertilización en las plántulas depende del tipo, dosis, forma y época de su aplicación (Fu, Oliet, Li, & Wang, 2017). Rodríguez (2008) refiere que la importancia del control de la calidad de la planta radica en la obtención de estándares morfológicos y fisiológicos y en la especificación de dichos estándares en la evaluación en campo, mismos que en México, se han evaluado e investigado escasamente.

El uso de fertilizantes en los sistemas de producción de planta forestal en los viveros es importante, ya que un régimen de nutrición apropiado mejora la calidad y favorece el desempeño de las plantas en campo (Landis & Dumroese, 2009; Grossnickle & MacDonald, 2018). A pesar de ello, los procedimientos y rutinas de fertilización, particulares para cada especie, se desconocen, así como el efecto del contenido nutrimental de las plántulas en su desempeño en campo (Jackson, Dumroese, & Barnett, 2012; Oliet, Puértolas, Planelles, & Jacobs, 2013).

Los fertilizantes de liberación controlada suministran los nutrimentos requeridos por las plantas durante su desarrollo y en el vivero se pueden administrar en una sola aplicación. Esto simplifica el proceso de producción, reduce los costos de mano de obra y minimiza las pérdidas por lixiviación en el agua de riego (Haase, Rose, & Trobaugh, 2006; Landis & Dumroese, 2009). Los fertilizantes de liberación controlada tienen potencial para aumentar la competitividad de las plantas forestales en una variedad de sitios de reforestación; sin embargo, existe poco conocimiento, respecto a los patrones de liberación y sus mecanismos de interacción con los medios de crecimiento (Rose, Haase, & Arellano, 2004), calidad de la planta y supervivencia en campo.

Este estudio plantea la identificación de los efectos directos de varias dosis de fertilización sobre las características morfológicas de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. en condiciones de vivero, y la supervivencia y crecimiento en campo.

municipality of Acaxochitlán, Hidalgo, at 2 400 m elevation and geographical coordinates 20° 09' 08" N and 98° 13' 11" W. The municipality of Acaxochitlán has mean temperature of 15.1 °C and mean annual precipitation of 915.5 mm (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).

### Plant production

We used expanded polystyrene trays of 77 cavities of 160 cm<sup>3</sup> capacity. The substrate consisted of a mixture of 70 % fresh pine sawdust (non-composted), 20 % composted pine bark, 5 % vermiculite and 5 % perlite; the fertilizer doses corresponding to each treatment were added to this mixture. The controlled release fertilizers used were Multicote Agri® (8) 18-6-12 + 2CaO + 3.5MgO + 2.1Si + ME (eight months release at average substrate temperature of 21 °C) and Multicote® (12) 19-10-13 + 2MgO + ME (12 months release at average substrate temperature of 21 °C). Seeds were purchased from the ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla.

### Treatments studied

The combination of fertilizer doses both in the nursery and in the field generated eight treatments, which are detailed in Table 1. All treatments were evaluated both in nursery and, subsequently, in the field, an extra dose was added to treatments T5, T6 and T7 to compare the fertilization applied only in the nursery with the option of fertilizing again in the field. Each treatment included four replicates or trays.

### Materials management and production conditions

The internal walls of the tray cavities were immersed in a 7 % cupric hydroxide solution to promote chemical pruning of the lateral roots of the plants. The substrate

## Materiales y métodos

### Etapas de vivero

#### Área de estudio

La investigación se desarrolló del 30 de enero al 18 de septiembre de 2020 en el vivero forestal GUMAIR en el municipio de Acaxochitlán, Hidalgo, a 2 400 m de elevación y en las coordenadas geográficas 20° 09' 08" N y 98° 13' 11" O. El municipio de Acaxochitlán tiene temperatura media de 15.1 °C y precipitación media anual de 915.5 mm (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).

#### Producción de planta

Se utilizaron charolas de poliestireno expandido de 77 cavidades de 160 cm<sup>3</sup> de capacidad. El sustrato consistió en una mezcla de 70 % de aserrín fresco de pino (sin compostar), 20 % de corteza de pino compostada, 5 % de vermiculita y 5 % de perlita; a esta mezcla se suministraron las dosis de fertilización correspondientes a cada tratamiento. Los fertilizantes de liberación controlada utilizados fueron Multicote Agri® (8) 18-6-12 + 2CaO + 3.5MgO + 2.1Si + ME (ocho meses de liberación a temperatura media del sustrato de 21 °C) y Multicote® (12) 19-10-13 + 2MgO + ME (12 meses de liberación a temperatura media del sustrato de 21 °C). Las semillas se compraron en el ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla.

#### Tratamientos evaluados

La combinación de las dosis de los fertilizantes tanto en vivero como en campo generó ocho tratamientos que se detallan en el Cuadro 1. Todos los tratamientos se evaluaron en vivero y, posteriormente, en campo se

**Table 1. Controlled release fertilizer doses per treatment for *Pinus patula* production in nursery and field development. Cuadro 1. Dosis de fertilizante de liberación controlada por tratamiento para la producción de *Pinus patula* en vivero y desarrollo en campo.**

Treatment/Tratamiento	Nursery (g·L <sup>-1</sup> )/Vivero (g·L <sup>-1</sup> )		Field (g·tree <sup>-1</sup> )/Campo (g·árbol <sup>-1</sup> )
	TL 8	TL 12	TL 12
T1 (control)	8	0	0
T2	8	2	0
T3	8	4	0
T4	8	6	0
T5	8	0	6
T6	8	0	12
T7	8	0	18
T8	4	4	0

TL = nutrient release time (months). TL8: Multicote Agri® 18-6-12 + 2CaO + 3.5MgO + 2.1Si + ME; TL12: Multicote® 19-10-13 + 2MgO + ME.

TL = tiempo de liberación de nutrientes (meses). TL8: Multicote Agri® 18-6-12 + 2CaO + 3.5MgO + 2.1Si + ME; TL12: Multicote® 19-10-13 + 2MgO + ME.

materials were passed through a sifter with a 10 mm mesh to obtain a homogeneous mixture without coarse particles. The seeds were soaked in water for 8 h and subsequently disinfected with 5 % hydrogen peroxide for 20 min; they were also treated with Bactiva® (*Bacillus* spp. and *Trichoderma* spp.) at a dose of 0.15 g·L<sup>-1</sup>.

The production area of the nursery had a shade house type structure with black mesh of 50 % coverage, with a metallic structure support, metallic tables for holding trays of 1.5 m wide by 80 cm high and a micro-sprinkler irrigation system. The shade net was kept in the production area from sowing (January) to April. Plant development in the nursery was not affected by pests, diseases or meteorological conditions.

#### **Variables evaluated**

After 7.5 months after sowing, 12 plants were randomly extracted per tray, resulting in a total of 48 individuals per treatment. Height was measured with a metal ruler from the base to the apical bud, and the diameter at the base of the stem was measured with a digital vernier (Truper®, model IP54). The plants were then cut to separate shoots and roots, placed separately in paper bags and dried in an oven for 72 h at 70 °C. The dry weight of the root and shoots was determined with a digital scale (OHAUS, model Navigator).

The data were used to establish the seedling quality indicators proposed by Duryea (1985) and Landis, Dumroese, and Haase (2010): Shoot dry weight and root dry weight ratio (SDW/RDW), sturdiness quotient (SQ), and Dickson's quality index (DQI).

#### **Field period**

##### **Study area**

This plantation was established on September 4, 2020 in a private property (2 262 m, 20° 10' 52" N and 98° 13' 30" W) in the municipality of Cuaunepantla, Hidalgo. The municipality has an average temperature of 15 °C and average annual precipitation of 915.5 mm (CONAGUA, 2019). The plantation site is for forest use, slightly undulating with a mild slope; surrounding the site there is a forest area and a zone under forest exploitation, where *P. patula* and *Quercus* sp. predominate.

A composite mixture extracted from five areas of the site was analyzed at the Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal of the Universidad Autónoma Chapingo. According to the NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2002), the soil had bulk density of 0.89 g·cm<sup>-3</sup> with pH 5.02 (strongly acid), loamy texture, low cation exchange capacity

adicionó una dosis extra a los tratamientos T5, T6 y T7 para comparar la fertilización aplicada únicamente en vivero con la opción de volver a fertilizar en campo. Cada tratamiento incluyó cuatro repeticiones o charolas.

#### **Manejo de insumos y condiciones de producción**

Las paredes internas de las cavidades de las charolas se impregnaron por inmersión en una solución de hidróxido cúprico al 7 %, para promover la poda química de las raíces laterales de las plantas. Los materiales del sustrato se pasaron por un cernidor con malla de 10 mm para conseguir una mezcla homogénea y sin partículas gruesas. Las semillas se remojaron en agua durante 8 h y posteriormente se desinfectaron con agua oxigenada al 5 % durante 20 min; además, se impregnaron con Bactiva® (*Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp.) en dosis de 0.15 g·L<sup>-1</sup>.

El área de producción del vivero contó con estructura de tipo casa sombra con malla negra de 50 % de cobertura, con soporte de estructura metálica, mesas metálicas porta charolas de 1.5 m de ancho por 80 cm de alto y sistema de riego por microaspersión. La malla sombra se mantuvo en el área de producción desde la siembra (enero) hasta el mes de abril. El desarrollo de las plantas en el vivero no tuvo afectaciones por plagas o enfermedades ni por fenómenos meteorológicos.

#### **Variables evaluadas**

Después de 7.5 meses de la siembra, se evaluaron 12 plantas extraídas de manera aleatoria por charola, resultando un total de 48 individuos por tratamiento. La altura se midió con una regla metálica desde la base hasta la yema apical, y el diámetro en la base del tallo se midió con un vernier digital (Truper®, modelo IP54). Después, las plantas se cortaron para separar parte aérea y radical, se colocaron por separado en bolsas de papel y se secaron en horno durante 72 h a 70 °C. El peso seco de la raíz y la parte aérea se obtuvo con una báscula digital (OHAUS, modelo Navigator).

Con los datos se obtuvieron los indicadores de calidad de planta propuestos por Duryea (1985) y Landis, Dumroese, y Haase (2010): Relación peso seco aéreo y peso seco radical (PSA/PSR), índice de robustez (IR) e índice de calidad de Dickson (ICD).

#### **Etapa de campo**

##### **Área de estudio**

La plantación se estableció el 4 de septiembre de 2020 en un predio particular (2 262 m, 20° 10' 52" LN y 98° 13' 30" LO) en el municipio de Cuaunepantla, Hidalgo. El municipio tiene temperatura media de 15 °C y precipitación media anual de 915.5 mm (CONAGUA, 2019).



(11.42  $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), high contents of organic matter (14.33 %) and inorganic nitrogen (54.59  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), and low content of phosphorus P and K (3.74 and 186  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectively).

### *Plantation management*

A total of 10 plants per treatment and replication (tray) were randomly selected from the plants produced in the nursery, with 40 plants per treatment and 320 plants evaluated in the field.

The planting had a square design with a spacing of 2.5 m between plants; the planting method was traditional (common hole), using a straight spade to open holes of approximately 30 cm x 30 cm.

For the plants of treatments T5, T6 and T7, a dose of controlled release fertilizer (Multicote® 12) was added at the time of planting (Table 1). The fertilizer was applied around the tree in a radius of 10 cm at a depth of 1 cm and covered with soil using a shovel.

### *Variables analyzed*

After the plantation was established, height and diameter at the base of the stem of each plant were measured as a reference point to estimate growth after one year.

To determine survival, a census of the trees was made at three stages of plantation. The first census was taken after four months, time in which plants had experienced the stress of planting and the cold of part of the winter; the second census was taken after nine months, after the winter and the hot season were completed before the rainy season began; and the last census was taken after 12 months, following most of the rainy season and the stage of greatest growth in the field.

Nine months after planting, the nutrient concentration (N, P and K) of the plants was evaluated. For this purpose, a sample of needles was collected from the middle part of the stems of all the trees of each treatment, according to Wells and Allen (1985), and a composite sample was formed from each treatment of the four blocks of the experimental design in the field, which was placed in properly labeled brown paper bags. Subsequently, the needles were dried in an oven at 70 °C for 72 h. Then, 100 representative needles were selected from each sample and sent to the Nutrition Laboratory of the Colegio de Postgraduados to determine N content by the micro-Kjeldahl method, and P and K by coupled plasma induction optical emission spectrometry (Varian Agilent 725-ES ICP-OES; Mulgrave, Australia), using digestions with a mixture of  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{:HClO}_4$  (2:1, v:v) according to Alcántar and Sandoval (1999).

El sitio de plantación es de vocación forestal, ligeramente ondulado con pendiente suave; en los alrededores hay una zona boscosa y una zona en aprovechamiento forestal, donde predominan *P. patula* y *Quercus* sp.

Una mezcla compuesta extraída de cinco zonas del terreno se analizó en el Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal de la Universidad Autónoma Chapingo. De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2002), el suelo presentó densidad aparente de 0.89  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  con pH 5.02 (fuertemente ácido), textura franca, baja capacidad de intercambio catiónico (11.42  $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), contenidos altos de materia orgánica (14.33 %) y nitrógeno inorgánico (54.59  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), y contenidos bajos de fósforo P y K (3.74 y 186  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectivamente).

### *Manejo de la plantación*

De las plantas producidas en vivero se seleccionaron 10 por tratamiento y repetición (charola) en forma aleatoria, teniendo 40 plantas por tratamiento y 320 plantas evaluadas en campo.

La plantación tuvo un diseño en marco real con separación de 2.5 m entre plantas; el método de plantación fue tradicional (cepa común), utilizando pala recta para abrir cepas de aproximadamente 30 cm x 30 cm.

En el caso de las plantas de los tratamientos T5, T6 y T7 se adicionó una dosis de fertilizante de liberación controlada (Multicote® 12) al momento de la plantación (Cuadro 1). El fertilizante se aplicó alrededor del árbol en un radio de 10 cm a una profundidad de 1 cm y se cubrió con tierra utilizando la pala.

### *Variables evaluadas*

Después de establecida la plantación, la altura y diámetro en la base del tallo de cada planta se midieron como punto de referencia para estimar el crecimiento después de un año.

Para determinar la supervivencia se hizo un censo de los árboles en tres etapas de la plantación. El primer censo se hizo a los cuatro meses, tiempo en el cual las plantas habían pasado por el estrés de la plantación y el frío de una parte del invierno; el segundo censo fue a los nueve meses, después de que se completaron el invierno y la época calurosa antes de iniciar el periodo de lluvias; y un último censo se hizo a los 12 meses, posterior a la mayor parte del periodo de lluvias y a la etapa de mayor crecimiento en campo.

A los nueve meses de la plantación, se evaluó la concentración nutrimental (N, P y K) de las plantas. Para este propósito se obtuvo una muestra de acículas

Plant growth (height and diameter at the base of the stem) was evaluated 12 months after planting, when the nutrients contained in the fertilizer granules are released.

### Experimental design and statistical analysis

The experimental design in nursery was completely randomized, represented by the model  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$ ; where  $\mu$  is the overall mean,  $\tau_i$  is the effect of the  $i$ -th treatment and  $\varepsilon_{ij}$  is the experimental error in unit  $j$  of treatment  $i$ . The field experimental design was a randomized block design, represented by the model  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$ ; where  $\mu$  is the overall mean,  $\tau_i$  is the effect of the  $i$ -th treatment,  $\beta_j$  is the effect of the  $j$ -th block and  $\varepsilon_{ij}$  is the experimental error in unit  $j$  of treatment  $i$ .

Response variables were analyzed in the InfoStat program version 2019e, using ANOVA and Tukey's comparison of means ( $P \leq 0.05$ ) between treatments to determine the effects of fertilization doses.

## Results and Discussion

### Nursery plant evaluation

#### Morphological characteristics of *Pinus patula*

The effect of fertilizer doses on *P. patula* plants was significant for all variables ( $P \leq 0.0001$ ). Plants for treatments T3 (8 g·L<sup>-1</sup> of eight-month release fertilizer in combination with 4 g·L<sup>-1</sup> of 12-month release fertilizer) and T4 (8 g·L<sup>-1</sup> of eight-month release fertilizer in combination with 6 g·L<sup>-1</sup> of 12-month release fertilizer) showed the highest values in all variables. Plants in treatment T8 (4 g·L<sup>-1</sup> of eight-month fertilizer and 4 g·L<sup>-1</sup> of 12-month release fertilizer) had similar values to those in T3 and T4 except for height, SDW/RDW ratio and sturdiness quotient, but showed the highest average DQI value (Table 2).

The Mexican Standard NMX-AA-170-SCFI-2016 (Secretaría de Economía, 2016), in its regulatory appendix C, establishes the morphological quality standards for species used for conservation and restoration purposes. In the case of *P. patula*, it establishes that, by the age of six to seven months, plants must be 25 to 30 cm in height and should be greater than 3.5 mm in diameter. Following these standards, treatments T3, T4 and T8 produced values higher than those indicated in the standard for height while for diameter only the plants of treatments T1 (control), T5 and T7 were below the standard; the last two treatments contained 8 g·L<sup>-1</sup> of eight-month release fertilizer in nursery and different doses of 12-month release fertilizer applied in the field.

de la parte media de los tallos de todos los árboles de cada tratamiento, conforme lo señalado por Wells y Allen (1985), y se formó una muestra compuesta de cada tratamiento de los cuatro bloques del diseño experimental en campo, la cual se colocó en bolsas de papel de estraza debidamente etiquetadas. Posteriormente, las acículas se secaron en estufa a 70 °C por 72 h. Luego se seleccionaron 100 acículas representativas de cada muestra y se enviaron al Laboratorio de Nutrición del Colegio de Postgraduados, para determinar contenido de N por el método micro-Kjeldahl, y P y K por espectrometría de emisión óptica de inducción de plasma acoplado (Varian Agilent 725-ES ICP-OES; Mulgrave, Australia), utilizando digestiones con una mezcla de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:HClO<sub>4</sub> (2:1, v:v) de acuerdo con Alcántar y Sandoval (1999).

El crecimiento de las plantas (altura y diámetro en la base del tallo) se evaluó después de 12 meses de la plantación, tiempo durante el cual se liberan los nutrimentos contenidos en los gránulos de los fertilizantes.

### Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental en vivero fue completamente al azar, representado por el modelo  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$ ; donde  $\mu$  es la media general,  $\tau_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento y  $\varepsilon_{ij}$  es el error experimental en la unidad  $j$  del tratamiento  $i$ . El diseño experimental en campo fue en bloques al azar, representado por el modelo  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$ ; donde  $\mu$  es la media general,  $\tau_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento,  $\beta_j$  es el efecto del  $j$ -ésimo bloque y  $\varepsilon_{ij}$  es el error experimental en la unidad  $j$  del tratamiento  $i$ .

Las variables de respuesta se analizaron en el programa InfoStat versión 2019e, mediante análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos para determinar los efectos de las dosis de fertilización.

## Resultados y discusión

### Evaluación de planta en vivero

#### Características morfológicas de *Pinus patula*

El efecto de las dosis de fertilización en plantas de *P. patula* fue significativo para todas las variables ( $P \leq 0.0001$ ). Las plantas de los tratamientos T3 (8 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de ocho meses de liberación en combinación con 4 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de 12 meses de liberación) y T4 (8 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de ocho meses de liberación en combinación con 6 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de 12 meses de liberación) mostraron los valores más altos en todas variables. Las plantas del tratamiento T8 (4 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de ocho meses y 4 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de

**Table 2. Morphological variables of *Pinus patula* plants after 7.5 months of nursery planting.****Cuadro 2. Variables morfológicas de las plantas de *Pinus patula* después de 7.5 meses de siembra en vivero.**

Treatment/ Tratamiento	Diameter (mm)/ Diámetro (mm)	Height (cm)/ Altura (cm)	SDW (g)/ PSA (g)	RDW (g)/ PSR (g)	TDW (g)/ PST (g)	SDW/RDW / PSA/PSR	SQ/ IR	DQI/ ICD
T1 (control/testigo)	3.08 d	17.61 d	1.75 c	0.56 c	2.31 c	3.34 c	5.84 c	0.26 c
T2	3.94 b	26.50 c	3.06 b	0.83 a	3.89 b	4.01 bc	6.95 b	0.38 ab
T3	4.53 a	34.90 a	3.91 a	0.76 a	4.66 a	5.45 a	7.79 ab	0.36 ab
T4	4.63 a	36.61 a	4.20 a	0.74 ab	4.94 a	5.80 a	8.03 a	0.36 ab
T5	3.36 cd	15.23 e	1.88 c	0.57 c	2.44 c	3.52 c	4.63 d	0.31 bc
T6	3.68 bc	18.86 d	2.15 c	0.56 c	2.71 c	3.81 bc	5.24 cd	0.30 bc
T7	3.36 cd	17.14 de	2.21 c	0.60 bc	2.81 c	3.70 bc	5.55 c	0.32 bc
T8	4.46 a	31.32 b	3.75 a	0.89 a	4.65 a	4.47 b	7.17 b	0.42 a

SDW = Shoot dry weight, RDW = root dry weight, TDW = total dry weight, SDW/RDW = Shoot dry weight over root dry weight ratio, SQ = sturdiness quotient, DQI = Dickson quality index. The formula of the treatments can be found in Table 1. Mean values (n = 48) with different letters in each morphological variable indicate significant differences between treatments according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

PSA = peso seco aéreo, PSR = peso seco radical, PST = peso seco total, PSA/PSR = relación peso seco aéreo sobre peso seco radical, IR = índice de robustez, ICD = índice de calidad de Dickson. La formulación de los tratamientos se puede consultar en el Cuadro 1. Valores medios (n = 48) con letra distinta en cada variable morfológica indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Prieto, García, Mejía, Huchin, and Aguilar (2009) indicate that the value of the height/diameter ratio, known as sturdiness quotient, should be less than six, and that it is an indicator of survival and growth in dry sites and of plant resistance to desiccation by wind; therefore, values greater than six indicate that the plant has a thin stem compared to its height. According to this description, the plants of treatments T1, T5, T6 and T7 met this criterion.

Regarding the SDW/RDW ratio, la NMX-AA-170-SCFI-2016 (Secretaría de Economía, 2016) indicates that the value should range between 1.5 and 2.5. Higher ratios indicate disproportion and insufficient root system to supply the shoots of the plant. In this study, the values of this ratio were higher because the trays were soaked with copper to cause chemical root pruning, coupled with the effect of fertilizer doses that caused greater increases in height.

According to studies conducted by Sáenz, Villaseñor, Muñoz, Rueda, and Prieto (2010) and Rueda et al. (2014), the DQI was classified by specific ranges from 0.2 to 0.5, where values lower than 0.2 were considered low quality, between 0.2 and 0.5 medium quality, and higher than 0.5 high quality. Results indicate that treatment T8 had the highest DQI = 0.42, thus the quality of the plant can be classified as medium.

Aguilera-Rodríguez et al. (2020) mention in their research on field growth of *P. patula*, as an effect of root pruning and containers used in nursery, that with a dose of 8 g·L<sup>-1</sup> of Osmocote® Plus fertilizer (15-9-12) of eight to nine months of controlled release, quality plants are produced in nursery.

12 meses de liberación) tuvieron valores similares a las de T3 y T4 a excepción de la altura, relación PSA/PSR e índice de robustez, pero presentaron el mayor valor promedio del ICD (Cuadro 2).

En la Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 (Secretaría de Economía, 2016), en su apéndice normativo C, se establecen los estándares morfológicos de calidad para las especies utilizadas con fines de conservación y restauración. En el caso de *P. patula* establece que, para la edad de seis a siete meses, las plantas deben tener 25 a 30 cm en altura y deben ser mayores de 3.5 mm en diámetro. Siguiendo estos estándares, los tratamientos T3, T4 y T8 produjeron valores superiores a los indicados en la norma para la variable altura, mientras que para el diámetro solo las plantas de los tratamientos T1 (testigo), T5 y T7 estuvieron por debajo del estándar; los dos últimos tratamientos contenían 8 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de ocho meses de liberación en vivero y dosis distintas de fertilizante de 12 meses de liberación aplicadas en campo.

Prieto, García, Mejía, Huchin, y Aguilar (2009) mencionan que el valor de la relación altura/diámetro, conocida como índice de robustez, debe ser menor de seis, y que es un indicador de la supervivencia y crecimiento en sitios secos y de la resistencia de la planta a la desecación por viento; por lo tanto, los valores mayores de seis indican que la planta posee tallo delgado en relación con la altura que tiene. Según esta descripción, las plantas de los tratamientos T1, T5, T6 y T7 cumplieron con este criterio.

En cuanto a la relación PSA/PSR, la NMX-AA-170-SCFI-2016 (Secretaría de Economía, 2016) indica que el

## Field stage

### Survival

Table 3 shows that the survival of the *P. patula* plantation in the three evaluations at 4, 9 and 12 months after establishment in the field, for each treatment, was higher than 72 % and the average survival in all treatments was 75 %. These values are higher than those reported by Mexal, Cuevas, and Landis (2008) in plantations established in Valle de México with the same species at 4, 10 and 26 months, obtaining 44, 33 and 27 % survival, respectively. However, the results are lower than those reported by Sosa-Pérez and Rodríguez-Trejo (2003), who reported 93 % survival 12 months after planting *P. patula* on a burned area.

Survival was highest with treatment T8 (95 %), while the lowest values were found for T2 (72 %), T5 and T6 (both with 75 %); the last two treatments have the characteristic that they were additionally fertilized in the field. Trubat, Cortina, and Vilagrosa (2010) highlight that nutrient management in the nursery shows a strong potential to modify the morphology of *Quercus suber* L. seedlings, but the relationship between these changes and short-term seedling survival remains elusive, which can be confirmed in this research due to both environmental and plantation factors.

### Nutrient content

Escobar-Alonso and Rodríguez-Trejo (2019) indicate that the recommended values of foliar concentration of nutrients as physiological indicators in *Pinus* species are: 1.4 to 2.2 % of N, 0.2 to 0.4 % of P and 0.4 to 1.5 % of K. In another study on plant quality indicators in native pines, Prieto and Sáenz (2011) propose the

valor debe fluctuar entre 1.5 y 2.5. Relaciones mayores indican desproporción y sistema radical insuficiente para proveer a la parte aérea de la planta. En este estudio, los valores de dicha relación fueron mayores debido a que las charolas se impregnaron con cobre para provocar la poda química de raíces, aunado al efecto de las dosis de fertilizantes que causaron incrementos mayores de altura.

El ICD, en estudios realizados por Sáenz, Villaseñor, Muñoz, Rueda, y Prieto (2010) y Rueda et al. (2014), se clasificó de acuerdo con rangos específicos de 0.2 a 0.5, donde valores menores de 0.2 se consideraron de calidad baja, entre 0.2 y 0.5 de calidad media, y mayores de 0.5 de calidad alta. Los datos señalan que el tratamiento T8 tuvo el mayor ICD = 0.42, por lo que la calidad de la planta puede clasificarse como media.

Aguilera-Rodríguez et al. (2020) mencionan en su investigación sobre crecimiento en campo de *P. patula*, como efecto de la poda radicular y los contenedores utilizados en vivero, que con una dosis de 8 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante Osmocote® Plus (15-9-12) de ocho a nueve meses de liberación controlada se obtienen plantas de calidad en vivero.

## Etapa de campo

### Supervivencia

El Cuadro 3 indica que la supervivencia de la plantación de *P. patula* en las tres evaluaciones a los 4, 9 y 12 meses de establecida en campo, para cada tratamiento, fue superior al 72 % y la supervivencia promedio en todos los tratamientos fue 75 %. Estos valores son superiores a los reportados por Mexal, Cuevas, y Landis (2008) en plantaciones establecidas en el Valle de México con la misma especie a los 4, 10 y 26 meses, donde obtuvieron

**Table 3. Average survival (n = 40 plants) of *Pinus patula* in the field at three evaluation times after planting.**

**Cuadro 3. Supervivencia promedio (n = 40 plantas) de *Pinus patula* en campo en tres tiempos de evaluación después de la plantación.**

Treatments/ Tratamientos	4 months (%)/ 4 meses (%)	9 months (%)/ 9 meses (%)	12 months (%)/ 12 meses (%)
T1 (control/testigo)	97	90	90
T2	95	90	72
T3	95	85	78
T4	95	90	85
T5	100	90	75
T6	100	85	75
T7	100	85	85
T8	100	95	95

The formula of the treatments is shown in Table 1.

La formulación de los tratamientos se puede consultar en el Cuadro 1.



following concentrations of nutrients in foliage: 1.1 to 3.5 % of N, 0.1 to 0.6 % of P and 0.5 to 2.5 % of K. According to the described scales, quality plants were produced in this study according to Prieto and Sáenz (2011); as for the recommendations of Escobar-Alonso and Rodríguez-Trejo (2019), for N and P, quality plants were produced and in the case of P the concentrations were low. Binkley and Fisher (2019) have proposed that, generally, critical P concentrations are equivalent to 10 % of N concentrations and in this study, they are between 7 and 9 %.

According to Table 4, in all treatments, foliar N concentration increased as the nursery fertilizer rate increased, as reported by Sloan and Jacobs (2013), who analyzed controlled-release fertilizers in comparison with immediately available fertilizers and unfertilized controls in *Picea glauca* (Moench) Voss and *Populus tremuloides* Michx. They concluded that the usually higher levels of foliar N in the first year of planting were found in trees fertilized with higher rates of controlled-release fertilizers in the root zone.

In this research, treatment T4 had the highest percentage of N, followed by T8, while the plants fertilized in the field (T5, T6 and T7) showed a different behavior, being treatment T6 the one that assimilated the highest percentage of N. For P, there were no differences between the percentages contained in the plants, being in a range of 0.13 to 0.15 % in all treatments. K content in the plants also showed low variation, with treatments T1 and T7 being the ones with the highest and lowest percentages, respectively.

#### Plantation growth

According to the comparison made at the time of planting and after 12 months, the saplings of all

44, 33 y 27 % de supervivencia, respectivamente. No obstante, los resultados son menores que los señalados por Sosa-Pérez y Rodríguez-Trejo (2003), quienes consiguieron 93 % de supervivencia, 12 meses después de la plantación de *P. patula* en un área quemada.

La supervivencia fue mayor con el tratamiento T8 (95 %), mientras que los valores más bajos se tuvieron con T2 (72 %), T5 y T6 (ambos con 75 %); los dos últimos tratamientos tienen la característica de que se fertilizaron adicionalmente en campo. Trubat, Cortina, y Vilagrosa (2010) destacan que el manejo de nutrientes en el vivero muestra un fuerte potencial para modificar la morfología de las plántulas de *Quercus suber* L., pero la relación entre estos cambios y la supervivencia de las plántulas a corto plazo sigue siendo difícil de alcanzar, lo cual se puede constatar en esta investigación debido a factores tanto ambientales como de la plantación.

#### Contenido nutrimental

Escobar-Alonso y Rodríguez-Trejo (2019) indican que los valores recomendados de concentración foliar de nutrimentos como indicadores fisiológicos en especies de *Pinus* son: 1.4 a 2.2 % de N, 0.2 a 0.4 % de P y 0.4 a 1.5 % de K. En otro estudio sobre indicadores de calidad de planta en pinos nativos, Prieto y Sáenz (2011) proponen las concentraciones siguientes de nutrimentos en el follaje: 1.1 a 3.5 % de N, 0.1 a 0.6 % de P y 0.5 a 2.5 % de K. De acuerdo con las escalas descritas, en el presente estudio se produjeron plantas de calidad de acuerdo con Prieto y Sáenz (2011); en cuanto a las recomendaciones de Escobar-Alonso y Rodríguez-Trejo (2019), para el N y P se produjeron plantas de calidad y en el caso del P las concentraciones fueron bajas. Binkley y Fisher (2019) han propuesto que, en general, las concentraciones críticas de P equivalen a 10 % de las concentraciones de N y en este estudio están entre 7 y 9 %.

**Table 4. Average concentrations (n = 4) per treatment of the main nutrients in the foliage of *Pinus patula* plants, nine months after planting in the field.**

**Cuadro 4. Concentraciones promedio (n = 4) por tratamiento de los principales nutrimentos en el follaje de plantas de *Pinus patula*, después de nueve meses de establecida la plantación en campo.**

Treatments/Tratamientos	N (%)	P (%)	K (%)
T1 (control/testigo)	1.65	0.15	0.66
T2	1.97	0.15	0.59
T3	2.08	0.14	0.61
T4	2.17	0.14	0.60
T5	1.72	0.15	0.63
T6	1.91	0.14	0.60
T7	1.79	0.13	0.55
T8	2.11	0.14	0.63

The formula of the treatments can be found in Table 1.

La formulación de los tratamientos se puede consultar en el Cuadro 1.

treatments increased 71 cm in height on average (Figure 1) and 11.44 mm in diameter (Figure 2). Treatment T3 generated, on average, the greatest height (1.10 m) followed by T4 (1.09 m) and T8 (1.00 m); the first two treatments had the greatest height when leaving the nursery. Since the evaluation was only for one year, these values could be considered of good size if compared with those obtained by Aguilera-Rodríguez et al. (2020), who determined height growth of 1.54 and 1.47 m in *P. patula*, for two years in the field.

De acuerdo con el Cuadro 4, en todos los tratamientos, la concentración de N en el follaje incrementó conforme aumentó la dosis de fertilización en vivero, tal como lo reportan Sloan y Jacobs (2013), quienes analizaron fertilizantes de liberación controlada en comparación con fertilizantes inmediatamente disponibles y con testigos sin fertilizar en *Picea glauca* (Moench) Voss y *Populus tremuloides* Michx. Dichos autores concluyeron que los niveles generalmente más altos de N foliar en el primer año de la plantación se encontraron en los

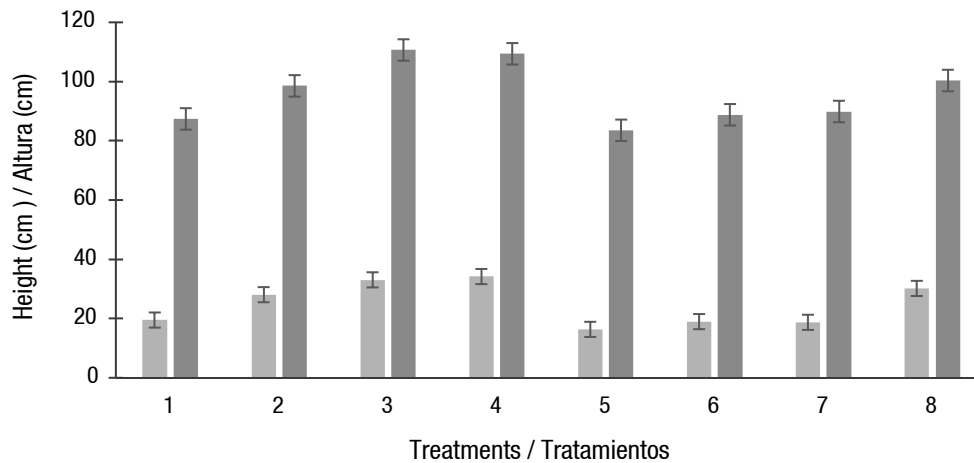


Figure 1. Average height growth of *Pinus patula* per treatment at field planting (light gray) and 12 months later (dark gray). The standard error of the mean is represented on the bars.

Figura 1. Crecimiento promedio en altura de *Pinus patula* por tratamiento al momento de la plantación en campo (gris claro) y 12 meses después (gris oscuro). En las barras se representa el error estándar de la media.

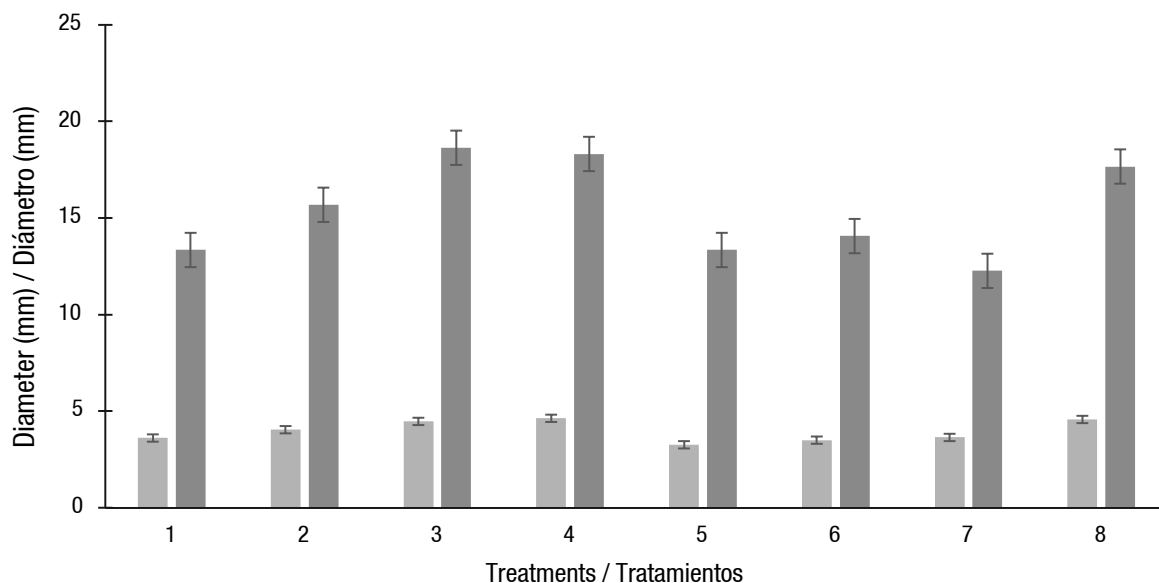


Figure 2. Average diameter growth of *Pinus patula* per treatment at field planting (light gray) and 12 months later (dark gray). The standard error of the mean is represented on the bars.

Figura 2. Crecimiento promedio en diámetro de *Pinus patula* por tratamiento al momento de la plantación en campo (gris claro) y 12 meses después (gris oscuro). El error estándar de la media está representado en las barras.

Similar results were found for diameter growth; plants in treatment T3 averaged 18.64 mm, followed by T4 and T8 with 18.32 and 17.67 mm, respectively.

## Conclusions

The effect of fertilization was significant in *Pinus patula*. The combination of eight and 12 months-controlled release fertilizer doses in nursery generated plants with morphological characteristics suitable for establishment and high survival rates (72 to 100 %) in the early stages of development in the field. The additional fertilization applied at the time of field planting had no major effect on plant survival and development. Under the conditions of this research, the recommended dose for *P. patula* at nursery and field stage is 4 g·L<sup>-1</sup> of eight-month release fertilizer in combination with 4 g·L<sup>-1</sup> of 12-month release fertilizer.

## Acknowledgments

The authors thank the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for the support to carry out this research; also, thanks to the Vargas family for their assistance in the GUMAIR nursery and thanks to Ing. Saúl Neri for his help in the establishment of the plantation.

*End of English version*

## References / Referencias

- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J., López-López, M. A., & Ordaz-Chaparro, V. M. (2020). Crecimiento en campo de *Pinus patula* Schlttdl. & Cham. como efecto de la poda radicular y los contenedores utilizados en vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 26(2), 307–319. doi: 10.5154/r.rchscfa.2019.07.055
- Alcántar, G. G., & Sandoval, V. M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal: Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación*. Chapingo, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo - Universidad Autónoma Chapingo.
- Binkley, D., & Fisher, R. F. (2019). *Ecology and management of forest soils*. USA: Jhon Wiley & Sons.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). Normales climatológicas-Servicio Meteorológico Nacional. Retrieved from <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2018). Informe de autoevaluación enero-diciembre de 2018. Retrieved from <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7635Informe%20de%20autoevaluaci%C3%B3n%20enero%20diciembre%202018.pdf>

árboles fertilizados con tasas mayores de fertilizantes de liberación controlada en la zona de las raíces.

En la presente investigación, el tratamiento T4 tuvo el mayor porcentaje de N, seguido del T8, mientras que las plantas fertilizadas en campo (T5, T6 y T7) no tuvieron este mismo comportamiento siendo el tratamiento T6 el que asimiló mayor porcentaje de N. Para el caso del P no existieron diferencias entre los porcentajes contenidos en las plantas, estando en un rango de 0.13 a 0.15 % en todos los tratamientos. El contenido de K en las plantas también tuvo poca variación siendo el tratamiento T1 y T7 el de mayor y menor porcentaje, respectivamente.

## Crecimiento de la plantación

De acuerdo con la comparación realizada al momento de la plantación y después de 12 meses, los brinzales de todos los tratamientos incrementaron 71 cm de altura en promedio (Figura 1) y 11.44 mm en diámetro (Figura 2). El tratamiento T3 generó, en promedio, la mayor altura (1.10 m) seguido del T4 (1.09 m) y T8 (1.00 m); los dos primeros tuvieron las tallas mayores al salir del vivero. Considerando que la evaluación fue solo de un año, estos valores podrían considerarse de buena talla si se comparan con los obtenidos por Aguilera-Rodríguez et al. (2020), quienes determinaron crecimientos en altura de 1.54 y 1.47 m en *P. patula*, durante dos años en campo.

En cuanto al crecimiento en diámetro se obtuvieron resultados similares; las plantas del tratamiento T3 tuvieron 18.64 mm, en promedio, seguidas de T4 y T8 con 18.32 y 17.67 mm, respectivamente.

## Conclusiones

El efecto de la fertilización fue significativo en *Pinus patula*. La combinación de las dosis de fertilizantes de ocho y 12 meses de liberación controlada en vivero generó plantas con características morfológicas adecuadas para su establecimiento y porcentajes de supervivencia altos (72 a 100 %) en las primeras etapas de desarrollo en campo. La fertilización adicional que se aplicó en el momento de la plantación en campo no causó mayor efecto con respecto a la supervivencia y desarrollo de las plantas. En las condiciones de esta investigación, la dosis recomendada para *P. patula* en etapa de vivero y campo es 4 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de liberación de ocho meses en combinación con 4 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de liberación de 12 meses.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por los recursos destinados a la realización de esta investigación; a la familia Vargas por

- Duryea, M. L. (1985). *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests*. Corvallis, OR, USA: Oregon State University.
- Escobar-Alonso, S., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2019). Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(55), 4–38. doi: 10.29298/rmcf.v10i55.558
- Fu, Y., Oliet, J. A., Li, G., & Wang, J. (2017). Effect of controlled release fertilizer type and rate on mineral nutrients, non-structural carbohydrates, and field performance of Chinese pine container-grown seedlings. *Silva Fennica*, 51(2), article ID 1607. doi: 10.14214/sf.1607
- Grossnickle, S. C., & MacDonald, J. E. (2018). Seedling quality: History, application, and plant attributes. *Forests*, 9, 283. doi: 10.3390/f9050283
- Haase, D. L., Rose, R., & Trobaugh, J. (2006). Field performance of three stock sizes of Douglas-fir container seedlings grown with slow-release fertilizer in the nursery growing medium. *New Forests*, 31, 1–24. doi: 10.1007/s11056-004-5396-6
- Jackson, D. P., Dumroese, R. K., & Barnett, J. P. (2012). Nursery response of container *Pinus palustris* seedlings to nitrogen supply and subsequent effects on outplanting performance. *Forest Ecology and Management*, 265, 1–12. doi: 10.1016/j.foreco.2011.10.018
- Landis, T. D., Dumroese, R. K., & Haase, D. L. (2010). *The container tree nursery manual. Seedling processing, storage and outplanting* (vol. 7). Washington, DC, USA: USDA Forest Service. Retrieved from <https://rngr.net/publications/ctnm/volume-7>
- Landis, T. D., & Dumroese, R. K. (2009). Using polymer-coated controlled-release fertilizers in the nursery and after outplanting. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/237372027\\_Using\\_Polymer-coated\\_Controlled-release\\_Fertilizers\\_in\\_the\\_Nursery\\_and\\_After\\_Outplanting](https://www.researchgate.net/publication/237372027_Using_Polymer-coated_Controlled-release_Fertilizers_in_the_Nursery_and_After_Outplanting)
- Mexal, J. G., Cuevas, R. R. A., & Landis, T. D. (2008). Reforestation success in central Mexico: factors determining survival and early growth. *Tree Planters' Notes*, 53, 16–22. Retrieved from [https://rngr.net/publications/tpn/index\\_html](https://rngr.net/publications/tpn/index_html)
- Oliet, J. A., Puértolas, J., Planelles, R., & Jacobs, D. F. (2013). Nutrient loading of forest tree seedlings to promote stress resistance and field performance: a Mediterranean perspective. *New Forests*, 44, 649–669. doi: 10.1007/s11056-013-9382-8
- Prieto, R. J. A., & Sáenz, R. J. T. (2011). *Indicadores de calidad de planta en viveros forestales de la Sierra Madre Occidental*. Libro técnico núm. 3. Durango México: Campo Experimental Valle del Guadiana, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP.
- Prieto, R. J. A., García, R. J. L., & Mejía, B. J. M., Huchin, A. S., & Aguilar, V. J. L. (2009). *Producción de planta del género Pinus en vivero en clima templado frío*. Durango, México: Campo Experimental Valle del Guadiana, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP.
- su apoyo en el vivero GUMAIR y al Ing. Saúl Neri por su apoyo en el establecimiento de la plantación.

### Fin de la versión en español

- Rodríguez, T. D. A. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal*. México: Mundi Prensa.
- Rose, R., Haase, D., & Arellano, E. (2004). Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque*, 25(2), 89–100. doi: 10.4067/s0717-92002004000200009
- Rueda, S., A., Benavides, S. J. de D., Sáenz, R. J. T., Muñoz, F. H. J., Prieto, R. J. A., & Orozco, G. G. (2014). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(22), 58–73. doi: 10.29298/rmcf.v5i22.350
- Sáenz, J. T. R., Villaseñor, R. F. J., Muñoz, F. H. J., Rueda, S. A., & Prieto, R. J. A. (2010). *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán*. Uruapan, Michoacán, México: Campo Experimental Uruapan, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP. Retrieved from <https://docplayer.es/17222741-Calidad-de-planta-en-viveros-forestales-de-clima-templado-en-michoacan.html>
- Secretaría de Economía. (2014). *Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2014. Certificación de la operación de viveros forestales*. México: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3430.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-021-REC-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. México: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/w069255.pdf>
- Sloan, J. L., & Jacobs, D. F. (2013). Fertilization at planting influences seedling growth and vegetative competition on a post-mining boreal reclamation site. *New Forests*, 44, 687–701. doi: 10.1007/s11056-013-9378-4
- Sosa-Pérez G., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2003). Efecto de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de *Pinus patula* en un área quemada. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(1), 36–43. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/629/62990104.pdf>
- Trubat, R., Cortina, J., & Vilagrosa, A. (2010). Nursery fertilization affects seedling traits but not field performance in *Quercus suber* L. *Journal of Arid Environments*, 74(4), 491–497. doi: 10.1016/j.jaridenv.2009.10.007
- Wells, C., & Allen, L. (1985). A loblolly pine management guide: When and where to apply fertilizer. doi: 10.2737/SE-GTR-36