

# Growth and survival of a plantation of *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* under different fertilization treatments

## Crecimiento y supervivencia de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* bajo diferentes tratamientos de fertilización

Isaac Vázquez-Cisneros<sup>1</sup>; José A. Prieto-Ruíz<sup>2\*</sup>; Miguel A. López-López<sup>3</sup>; Christian Wehenkel<sup>4</sup>; Pedro A. Domínguez-Calleros<sup>2</sup>; Fernando E. Muñoz-Sáez<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango, Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales. Constitución núm. 404 sur, zona centro. C. P. 34000. Durango, Durango, México.

<sup>2</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales. Av. Río Papaloapan y bulevar Durango s/n, col. Valle del Sur. C. P. 34120. Durango, Durango, México.

<sup>3</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. km 36.5 carretera México-Texcoco. C. P. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

<sup>4</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango, Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Bulevar del Guadiana núm. 501, Cd. Universitaria. C. P. 34120. Durango, Durango, México.

<sup>5</sup>Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. Victoria núm. 631, Barrio Universitario. Concepción, Región del Biobío, Chile.

\*Corresponding author: jprieto@ujed.mx, tel.: +52 (618) 130 1148

### Abstract

**Introduction:** The forestry sector in Mexico faces deforestation problems and low productive growth. To activate unproductive regions, in the state of Durango, the establishment of *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* plantations is promoted.

**Objective:** To evaluate the effect of fertilizers on growth, nutrient status and survival of *P. greggii* var. *greggii* seedlings.

**Materials and methods:** Five slow-release fertilizers and two fertilizers for agricultural use were studied in doses of 7 and 14 g per plant, and a control (unfertilized).

**Results and discussion:** After 12 months significant differences were found ( $P < 0.001$ ) in volume, height, and diameter increments, due to the effect of fertilizers. In comparison with the control, only slow-release fertilizers 12-25-12, 09-23-14 and 18-06-12 of N-P-K had increases in height and diameter, as well as wood volumes, significantly higher. In the case of foliar concentrations, only P showed significant differences between treatments ( $P = 0.030$ ). N and P were limiting, but the application of K favored growth. Regarding the survival of seedlings, no significant differences were found attributable to fertilizer and its doses.

**Conclusion:** The initial application of slow-release fertilizers 12-25-12, 09-23-14 and 18-06-12 of N-P-K favors growth of *P. greggii* var. *greggii* seedlings.

### Resumen

**Introducción:** El sector forestal de México enfrenta problemas de deforestación y de escaso crecimiento productivo. Para activar regiones improductivas, en el estado de Durango se impulsa el establecimiento de plantaciones con *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii*.

**Objetivo:** Evaluar el efecto de fertilizantes en el crecimiento, estado nutricional y supervivencia de brinzales de *P. greggii* var. *greggii*.

**Materiales y métodos:** Se evaluaron cinco fertilizantes de liberación lenta y dos de uso agrícola, en dosis de 7 y 14 g por planta, más un testigo (sin fertilizar).

**Resultados y discusión:** Después de 12 meses se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.001$ ) en el volumen y en los incrementos de altura y diámetro, debido al efecto de los fertilizantes. En comparación con el testigo, únicamente los fertilizantes de liberación lenta 12-25-12, 09-23-14 y 18-06-12 de N-P-K produjeron incrementos de altura y diámetro, así como volúmenes de madera, significativamente mayores. En cuanto a la concentración foliar, solo el P mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $P = 0.030$ ). El N y P fueron limitantes, pero la aplicación de K favoreció el crecimiento. Con relación a la supervivencia de brinzales, no se encontraron diferencias significativas atribuibles al fertilizante y sus dosis.

**Conclusión:** La aplicación inicial de fertilizantes de liberación lenta 12-25-12, 09-23-14 y 18-06-12 de N-P-K favorece el crecimiento de los brinzales de *P. greggii* var. *greggii*.

**Keywords:** slow-release fertilizer; agricultural fertilizer; nutrient; forest plantation; seedlings.

**Palabras clave:** fertilizante de liberación lenta; fertilizante agrícola; nutrimento; plantación forestal; brinzales.

## Introduction

The forest sector in Mexico faces two important challenges: deforestation and scarce productive growth (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2014). Traditionally, the products of the forest industry come from natural forests; however, they can also be obtained from forest plantations, thereby reducing the ecological pressure exerted by the use of resources (Brown & Ball, 2000; CONAFOR, 2012).

In Mexico, around 325 000 ha of commercial forest plantations are reported, mainly in the South and West of Mexico (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2017). In the state of Durango, in the last 10 years, 4 963 ha of commercial plantations have been established (SEMARNAT, 2017) with the aim of reconvertir unproductive regions (Carle, Vuorinen, & Lungo, 2002; Jacobs et al., 2015). Among the most used species *Pinus greggii* Engelm ex Parl. var. *greggii* stands out since, this species has acceptable growth rates in height (55 cm per year) and diameter (1.2 cm per year) (López-Ayala, Vargas-Hernández, Ramírez-Herrera, & López-Upton, 1999; Salazar et al., 1999), as well as adaptability to low humidity conditions (between 400 and 600 mm per year) (CONAFOR, 2010; Domínguez, Návar, & Loera, 2001; Domínguez-Calleros, Rodríguez-Laguna, Capulín-Grande, Razo-Zárate, & Díaz-Vásquez, 2017). This species is endemic to Mexico, distributes in the northern region in semi-arid zones of Coahuila and Nuevo León (Ramírez-Herrera, Vargas-Hernández, & López-Upton, 2005) and has economic relevance because of its wood for the industry of sawmill, poles, fences and firewood (Ramírez-Herrera et al., 2005).

The success of a forest plantation depends on several factors, the most important are related to the species, origin, plant quality, land preparation, weed control, prevention of pests and diseases, and nutrition (CONAFOR, 2012; Fox, 2000). The latter is related to biochemical, physiological and morphological changes of the plant that affect wood performance and quality (Ibell, Xu, Blake, Wright, & Blumfield, 2014).

Fertilizers provide nutrients to plants. Some are slow-release fertilizers, so that they assure permanent availability for a certain time; diffusion depends on temperature and humidity (Reyes-Millalón, Gerding, & Thiers-Espinoza, 2012). In contrast, in fertilizers for agricultural use, nutrients are available immediately and, in some cases, for a short period; when used excessively they can cause stress on roots or even death of plants (Landis & Dumroese, 2009). On the other hand, the costs of slow-release fertilizers and fertilizers for agricultural use differ considerably, agricultural fertilizers are cheaper, aspect that should be considered when making recommendations in fertilization

## Introducción

El sector forestal de México enfrenta dos retos importantes: deforestación y escaso crecimiento productivo (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2014). Tradicionalmente, los productos de la industria forestal provienen de bosques naturales; sin embargo, también pueden obtenerse de plantaciones forestales, reduciendo con ello la presión ecológica ejercida por el aprovechamiento de los recursos (Brown & Ball, 2000; CONAFOR, 2012).

En México se reportan alrededor de 325 000 ha de plantaciones forestales comerciales, principalmente en el sur y occidente del país (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2017). En el estado de Durango, en los últimos 10 años, se han establecido 4 963 ha de plantaciones comerciales (SEMARNAT, 2017) con el objetivo de reconvertir regiones poco productivas (Carle, Vuorinen, & Lungo, 2002; Jacobs et al., 2015). Entre las especies más utilizadas destaca *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii*, la cual tiene tasas de crecimiento aceptables en altura (55 cm anuales) y diámetro (1.2 cm anuales) (López-Ayala, Vargas-Hernández, Ramírez-Herrera, & López-Upton, 1999; Salazar et al., 1999), así como adaptabilidad a condiciones de poca humedad (entre 400 y 600 mm anuales) (CONAFOR, 2010; Domínguez, Návar, & Loera, 2001; Domínguez-Calleros, Rodríguez-Laguna, Capulín-Grande, Razo-Zárate, & Díaz-Vásquez, 2017). Esta especie es endémica de México, se distribuye en la región norte en zonas semiáridas de Coahuila y Nuevo León (Ramírez-Herrera, Vargas-Hernández, & López-Upton, 2005) y tiene importancia económica debido a la obtención de madera para la industria del aserrío, postes, cercas y leña (Ramírez-Herrera et al., 2005).

El éxito de una plantación forestal depende de varios factores, los más importantes están relacionados con la especie, procedencia, calidad de planta, preparación de terreno, control de malezas, prevención de plagas y enfermedades, y nutrición (CONAFOR, 2012; Fox, 2000). Esta última se relaciona con cambios bioquímicos, fisiológicos y morfológicos de la planta que repercuten en el rendimiento y calidad de la madera (Ibell, Xu, Blake, Wright, & Blumfield, 2014).

Los fertilizantes aportan nutrimentos a las plantas. Unos son de liberación lenta, de tal forma que existe disponibilidad permanente durante cierto tiempo; la difusión depende de la temperatura y humedad (Reyes-Millalón, Gerding, & Thiers-Espinoza, 2012). En cambio, en los fertilizantes de uso agrícola, los nutrimentos están disponibles de forma inmediata y, en algunos casos, por un periodo corto; cuando se usan en exceso pueden ocasionar estrés en las raíces o incluso la muerte de las plantas (Landis & Dumroese,

programs for commercial forest plantations. In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of slow-release fertilizers and agricultural fertilizers on survival, growth and nutrient status of a *Pinus greggii* var. *greggii* plantation. The hypothesis postulates that at least one fertilizer must stand out from the remaining ones in terms of seedlings growth and survival of the species studied.

## Materials and methods

### Plantation site

The experiment was established in the ejido Aquiles Serdán, municipality of Durango, Durango, Mexico. The ejido is located at the geographic coordinates 23° 53' 39.24" N and 104° 33' 43.94" W, at an altitude of 1 898 m. The average annual temperature is 16.59 °C; the coldest month is December with an average temperature of 2.58 °C and the warmest month is June with an average temperature of 28.91 °C. The average annual rainfall is 715.8 mm (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias [INIFAP], 2017). The land has slight waves and a slope lower than 3 %. The soil has loamy texture, neutral pH (6.9) and low organic matter (1.05 %). These and other soil physicochemical properties were determined based on the Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002); the information obtained is shown in Appendix 1.

### Establishment, treatments and experimental design

The seed was collected from 20 trees located in Alberca, Coahuila (23° 32' N and 100° 52' W, altitude 2 400 m). The plants were grown in a nursery using polystyrene containers with 77 cavities, with a capacity of 170 mL per cavity. The plantation was established on July 24, 2014 using 10 month-old seedlings with average height and diameter of 34 cm and 3 mm, respectively. Soil preparation was made with agricultural tractor (subsoiling at 40 cm). The plants were deposited in strains of 25 to 30 cm deep and their distribution was in real frame with a spacing of 2 m between plants and lines.

The experiment had a completely random design; seven fertilizers were evaluated in doses of 7 and 14 g and a control (unfertilized). Table 1 shows the nutrient composition of the fertilizers evaluated. Each treatment had four replicates and each experimental unit consisted of 12 plants. Prior to planting, fertilizers were incorporated into the bottom of the strains, to avoid direct contact with the roots; then about 40 g of soil was added and the plants were placed. Plants were not irrigated during the evaluation period.

2009). Por otra parte, los costos de los fertilizantes de liberación lenta y los fertilizantes de uso agrícola difieren considerablemente, siendo más económicos los agrícolas, aspecto que debe ser considerado al realizar recomendaciones en los programas de fertilización en plantaciones forestales comerciales. En tal contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de fertilizantes de liberación lenta y fertilizantes de uso agrícola sobre la supervivencia, crecimiento y estado nutrimental de una plantación de *Pinus greggii* var. *greggii*. La hipótesis postula que al menos un fertilizante debe destacar sobre los demás en cuanto al crecimiento y supervivencia de brinzales de la especie estudiada.

## Materiales y métodos

### Sitio de plantación

El experimento se estableció en el ejido Aquiles Serdán, municipio de Durango, Durango, México. El ejido se ubica en las coordenadas geográficas 23° 53' 39.24" N y 104° 33' 43.94" O, a una altitud de 1 898 m. La temperatura media anual es de 16.59 °C; el mes más frío es diciembre con una temperatura media de 2.58 °C y el mes más cálido es junio con una temperatura media de 28.91 °C. La precipitación media anual es de 715.8 mm (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias [INIFAP], 2017). El terreno tiene leves ondulaciones y una pendiente menor de 3 %. El suelo es de textura franca, de pH neutro (6.9) y bajo en materia orgánica (1.05 %). Estas y otras propiedades fisicoquímicas del suelo se determinaron con base en lo establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002); la información obtenida se muestra en el Anexo 1.

### Establecimiento, tratamientos y diseño experimental

La semilla se colectó en 20 árboles ubicados en la localidad Alberca, Coahuila (23° 32' N y 100° 52' O, altitud 2 400 m). Las plantas se cultivaron en vivero en contenedores de poliestireno de 77 cavidades, con capacidad de 170 mL por cavidad. La plantación se estableció el 24 de julio de 2014 utilizando brinzales de 10 meses de edad con altura y diámetro promedios de 34 cm y 3 mm, respectivamente. La preparación del suelo se hizo con tractor agrícola (subsoleo a 40 cm). Las plantas se depositaron en cepas de 25 a 30 cm de profundidad y su distribución fue en marco real con un espaciamiento de 2 m entre plantas y líneas.

El experimento tuvo un diseño completamente al azar; se evaluaron siete fertilizantes en dosis de 7 y 14 g y un testigo (sin fertilizar). El Cuadro 1 muestra

**Table 1. Nutrient composition of the fertilizers evaluated in the *Pinus greggii* var. *greggii* plantation.**  
**Cuadro 1. Composición nutrimental de los fertilizantes evaluados en la plantación de *Pinus greggii* var. *greggii*.**

Formulation N-P-K/ Formulación N-P-K	Release time (months)/ Tiempo de liberación (meses)	Nitrogen (%)/ Nitrógeno (%)	Phosphorus (%)/ Fósforo (%)		Potassium (%)/ Potasio (%)	
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P	K <sub>2</sub> O	K
Control/Testigo	-	-	-	-	-	-
Agricultural fertilizer 16-16-16/ Fertilizante agrícola 16-16-16	-	16	16	6.98	16	13.28
Agricultural fertilizer 18-46-00/ Fertilizante agrícola 18-46-00	-	18	46	20.06	-	-
Slow-release fertilizer 09-23-14/ Fertilizante de liberación lenta 09-23-14	9	9	23	10.03	14	11.62
Slow-release fertilizer 12-25-12/ Fertilizante de liberación lenta 12-25-12	9	12	25	10.90	12	9.96
Slow-release fertilizer 14-14-14/ Fertilizante de liberación lenta 14-14-14	4	14	14	6.10	14	11.62
Slow-release fertilizer 17-17-17/ Fertilizante de liberación lenta 17-17-17	4	17	17	7.41	17	14.11
Slow-release fertilizer 18-06-12/ Fertilizante de liberación lenta 18-06-12	9	18	6	2.62	12	9.96

### Plant evaluation

The test was carried out on July 30, 2015. Survival was quantified by a binary scale, assigning values of 0 to dead plants and 1 to living plants. Height increments (cm) and base diameter (mm) were obtained from the differences between the initial and final measurement of each plant. The stem volume was estimated with the following equation (Balám-Che, Gómez-Guerrero, Vargas-Hernández, Aldrete, & Obrador-Olán, 2015):

$$V = 0.0333 (0.7854 * DBT^2 * H)$$

where,

V = volume (cm<sup>3</sup>)

DBT= diameter at the base of the trunk (cm)

H = total height (m)

0.7854 = factor  $\pi/4$

0.0333 = factor of the conical shape.

On the other hand, the foliar concentration of N, P and K was determined in needles from the last flow of growth of three seedlings per treatment; also, dry weight of 100 dehydrated needles was obtained using a drying oven at 70 °C for 72 h. With these data, vector nomograms were made (Haase & Rose, 1995; Timmer, 1991) to know the relationship between nutrient concentration and biomass. N was estimated with the Kjeldahl method, P by means of yellow vanadomolybdate complex colorimetry and K by means of atomic emission (SEMARNAT, 2002).

la composición nutrimental de los fertilizantes evaluados. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones y cada unidad experimental estuvo conformada por 12 plantas. Previo a la plantación, los fertilizantes se incorporaron en el fondo de las cepas, para evitar el contacto directo con las raíces; después se agregaron 40 g de suelo, aproximadamente, y se colocaron las plantas. Estas no se regaron durante el periodo de evaluación.

### Evaluación de la planta

El ensayo se evaluó el 30 de julio 2015. La supervivencia se cuantificó mediante una escala binaria, asignando valores de 0 a las plantas muertas y 1 a las plantas vivas. Los incrementos de altura (cm) y diámetro en la base (mm) se obtuvieron de las diferencias entre la medición inicial y final de cada planta. El volumen del tallo se calculó con la siguiente ecuación (Balám-Che, Gómez-Guerrero, Vargas-Hernández, Aldrete, & Obrador-Olán, 2015):

$$V = 0.0333 (0.7854 * DAB^2 * H)$$

donde,

V = volumen (cm<sup>3</sup>)

DAB = diámetro en la base del árbol (cm)

H = altura total (m)

0.7854 = factor  $\pi/4$

0.0333 = factor de la forma cónica.

## Statistical analysis

Analyses were carried out using the statistical software R 3.2.3 (R Core Team, 2015). To know the variability of growth explained by the addition of nutrients, coefficients of determination ( $R^2$ ) were obtained from a linear regression between the contents of N,  $P_2O_5$  and  $K_2O$  in each fertilizer and height and diameter increment variables. Seedlings survival values and foliar N-P-K concentration were transformed with the arcsine and square root function, since these values were expressed in percentage (Steel & Torrie, 1988). The Kruskal-Wallis non-parametric statistical test (Kruskal & Wallis, 1952) was used for the variables evaluated, because the data did not meet the assumption of normality; subsequently, a mean separation test of Bonferroni-Dunn was carried out ( $P < 0.05$ ) (Pohlert, 2014). The statistical model used was as follows:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + e_i$$

where,

$Y_i$  = response variable

$\mu$  = data general mean

$\alpha_i$  = mean difference of the  $i$ -th treatment

$e_i$  = residual error.

## Results and discussion

### Height, diameter and volume increments of *Pinus greggii* var. *greggii*

The application of K favored the growth of seedlings (Table 2), even though this element was not deficient in the site ( $0.99 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ , Appendix 1). The NOM-021-RECNAT-2000 indicates average values of K from 0.3 to  $0.6 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$  of soil (SEMARNAT, 2002). In addition to fertilizer, factors such as water availability, type of soil and temperature influence the growth of plants, which together are associated with the capacity to assimilate nutrients (Núñez, 2013).

Por otro lado, la concentración foliar de N, P y K se determinó en acículas provenientes del último flujo de crecimiento de tres brinzales por tratamiento; asimismo, se obtuvo el peso seco de 100 acículas deshidratadas en una estufa de secado a  $70^\circ \text{C}$  durante 72 h. Con estos datos se hicieron nomogramas de vectores (Haase & Rose, 1995; Timmer, 1991) para conocer la relación entre la concentración nutrimental y la biomasa. El N se estimó con el método Kjeldahl, el P mediante colorimetría de complejo amarillo vanadomolibdato y el K por emisión atómica (SEMARNAT, 2002).

### Análisis estadístico

Los análisis se realizaron con el software estadístico R 3.2.3 (R Core Team, 2015). Para conocer la variabilidad del crecimiento explicada por la adición de nutrientes, se obtuvieron coeficientes de determinación ( $R^2$ ) a partir de una regresión lineal entre los contenidos de N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$  en cada fertilizante y las variables de incremento de altura y diámetro. Los valores de supervivencia de brinzales y concentración de N-P-K foliares se transformaron con la función arcoseno y raíz cuadrada, ya que dichos valores estaban expresados en porcentaje (Steel & Torrie, 1988). Para las variables evaluadas se utilizó la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952), debido a que los datos no cumplían con el supuesto de normalidad; posteriormente se hizo una prueba de separación de medias de Bonferroni-Dunn ( $P < 0.05$ ) (Pohlert, 2014). El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + e_i$$

donde,

$Y_i$  = variable respuesta

$\mu$  = media general de los datos

$\alpha_i$  = diferencia de la media del  $i$ -ésimo tratamiento

$e_i$  = error residual.

**Table 2. Matrix of coefficients of determination ( $R^2$ ) between the nutrients applied and height and diameter increments**

**Cuadro 2. Matriz de coeficientes de determinación ( $R^2$ ) entre los nutrimentos aplicados y los incrementos en diámetro y altura.**

	N	P	K
Diameter/Diámetro	0.1942	0.1356	0.2447
Height/Altura	0.1749	0.0928	0.2380

In agreement with Table 3, volume and height and diameter increases showed significant differences ( $P < 0.001$ ) due to the effect of fertilization treatments. Slow-release fertilizers had increments similar to those caused by agricultural fertilizers in the three variables evaluated; slow-release fertilizer 12-25-12 stood out, although, statistically, the effect was the same as the rest of the treatments. In comparison with the control, only the slow-release fertilizers 12-25-12, 09-23-14 and 18-06-12 of N-P-K promoted height and diameter increments, as well as wood volumes, significantly higher.

On the other hand, according to Table 4, the doses of fertilizers (7 and 14 g) caused significant differences in height ( $P = 0.002$ ), diameter ( $P < 0.001$ ) increases and in volume ( $P = 0.001$ ) only with respect to the control (without fertilizer). Olliet et al. (2009) tested two slow-release fertilizers (9-13-18 and 17-10-10 NPK) in doses of 3, 5 and 7 g, and an unfertilized control, and determined that the formulation 9-13-18 of NPK in dose of 7 g generated the greatest increments in diameter and height of *Pinus halepensis* Mill.

## Resultados y discusión

### Incremento en altura, diámetro y volumen de *Pinus greggii* var. *greggii*

La aplicación de K favoreció el crecimiento de los brinzales (Cuadro 2), aun cuando este elemento no fue deficiente en el sitio ( $0.99 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ , Anexo 1). La NOM-021-RECNAT-2000 señala valores medios de K de 0.3 a  $0.6 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$  de suelo (SEMARNAT, 2002). Además del fertilizante, factores como la disponibilidad de agua, tipo de suelo y temperatura influyen en el crecimiento de las plantas, los cuales en conjunto se asocian a la capacidad de asimilación de nutrientes (Núñez, 2013).

Acorde con el Cuadro 3, el volumen y los incrementos en altura y diámetro mostraron diferencias significativas ( $P < 0.001$ ) por efecto de los tratamientos de fertilización. Los fertilizantes de liberación lenta tuvieron incrementos similares a los causados por los fertilizantes agrícolas en las tres variables evaluadas; el fertilizante de liberación lenta 12-25-12 destacó,

**Table 3. Height and diameter increments, and volume of *Pinus greggii* var. *greggii* seedlings after a year of establishment, under fertilization treatments.**

**Cuadro 3. Incrementos de altura y diámetro, y volumen de los brinzales de *Pinus greggii* var. *greggii* después de un año de establecimiento, bajo tratamientos de fertilización.**

Fertilization treatments (N-P-K)/ Tratamientos de fertilización (N-P-K)	Height increases (cm)/ Incremento en altura (cm)	Diameter increases (mm)/ Incremento en diámetro (mm)	Volume (cm <sup>3</sup> )/ Volumen (cm <sup>3</sup> )
Control/Testigo	9.32 ± 1.73 c	3.30 ± 0.58 c	1.7 ± 0.4 c
Agricultural fertilizer 16-16-16/ Fertilizante agrícola 16-16-16	19.28 ± 2.11 abc	6.23 ± 0.66 abc	9.6 ± 2.1 abc
Agricultural fertilizer 18-46-00/ Fertilizante agrícola 18-46-00	17.87 ± 1.81 abc	6.14 ± 0.57 abc	6.7 ± 1.3 abc
Slow-release fertilizer 09-23-14/ Fertilizante de liberación lenta 09-23-14	23.06 ± 2.18 ab	7.61 ± 0.68 ab	11.4 ± 1.5 ab
Slow-release fertilizer 12-25-12/ Fertilizante de liberación lenta 12-25-12	29.49 ± 2.76 a	9.17 ± 0.76 a	19.8 ± 2.9 a
Slow-release fertilizer 14-14-14/ Fertilizante de liberación lenta 14-14-14	20.77 ± 2.12 abc	7.03 ± 0.66 ab	9.8 ± 1.4 ab
Slow-release fertilizer 17-17-17/ Fertilizante de liberación lenta 17-17-17	16.01 ± 2.04 bc	5.51 ± 0.61 bc	7.3 ± 1.6 abc
Slow-release fertilizer 18-06-12/ Fertilizante de liberación lenta 18-06-12	23.45 ± 2.33 ab	7.30 ± 0.66 ab	11.5 ± 1.7 ab

\*Different letters for the same variable indicate significant differences between treatments according to the Bonferroni-Dunn test ( $P < 0.05$ ). ± Standard error of the mean.

\*Letras diferentes para una misma variable indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba de Bonferroni-Dunn ( $P < 0.05$ ). ± error estándar de la media.

**Table 4. Increments of height and diameter, and volume of *Pinus greggii* var. *greggii* seedlings one year from establishment, under the fertilization doses tested.****Cuadro 4. Incrementos de altura y diámetro, y volumen de los brinzales de *Pinus greggii* var. *greggii* después de un año de establecimiento, bajo las dosis de fertilización probadas.**

Dose/Dosis	Height (cm)/Altura (cm)	Diameter (mm)/ Diámetro (mm)	Volume (cm <sup>3</sup> )/ Volumen (cm <sup>3</sup> )
Control/Testigo	9.32 ± 1.73 b	3.30 ± 0.058 b	1.72 ± 0.45 b
7 g	21.31 ± 1.19 a	6.87 ± 0.35 a	10.45 ± 0.95 a
14 g	21.53 ± 1.21 a	7.13 ± 0.36 a	11.38 ± 1.13 a

\*Different letters for the same variable indicate significant differences between treatments according to the Bonferroni-Dunn test ( $P < 0.05$ ). ± Standard error of the mean.

\*Letras diferentes para una misma variable indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba de Bonferroni-Dunn ( $P < 0.05$ ). ± error estándar de la media.

In general, agricultural fertilizers had lower efficiency in the nutrient contribution. This agrees with the results of Reyes-Millalón et al. (2012), who found a better response in the growth of *P. radiata* D. Don with slow-release fertilizers than with water-soluble fertilizers and the control (without fertilization); Everett, Hawkins, and Kiiskila (2007) also observed a similar trend with *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* (Beissn.) Franco. Gotore, Murepa, and Gapare (2014) found a particular response in the growth of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham.; these authors suggest that the addition of nutrients is not necessary in the initial stage of planting. However, the present study demonstrates that nutrient management is important in the plantation of *P. greggii* var. *greggii*, since it generated a significant response in growth; this is indicated by Román, Vargas, Baca, Trinidad, and Alarcón (2001), who demonstrated that the nutrient management of *P. greggii* var. *australis* with nutrient solutions increased height, diameter and biomass.

The variables height, diameter and volume had significant differences between treatments; however, it is convenient to make future evaluations of the plantation to determine if the same differences remain or if others occur, which will probably happen during crown closure, which is the stage of greatest nutrient demand.

#### Survival of *Pinus greggii* var. *greggii*

Survival did not have significant differences due to the effect of fertilization ( $P = 0.799$ ) and the doses tested ( $P = 0.241$ ). It is possible that the reduced percentage of survival of control trees (52.1 %), agricultural fertilizers 16-16-16 (59.4 %) and 18-46-00 (64.4 %), as well as slow-release fertilizers 09-23-14 (64.6 %), 12-25-12 (67.7 %), 14-14-14 (63.5 %), 17-17-17 (59.4 %) and 18-06-12 (67.7 %), owes more to the conditions of low moisture availability in the soil, than to plant needs for nutrients (Haase &

aunque, estadísticamente, el efecto fue el mismo que en el resto de los tratamientos. En comparación con el testigo, únicamente los fertilizantes de liberación lenta 12-25-12, 09-23-14 y 18-06-12 de N-P-K produjeron incrementos de altura y diámetro, así como volúmenes de madera, significativamente mayores.

Por otra parte, de acuerdo con el Cuadro 4, las dosis de fertilizantes (7 y 14 g) ocasionaron diferencias significativas en el incremento en altura ( $P = 0.002$ ), en diámetro ( $P < 0.001$ ) y en volumen ( $P = 0.001$ ) solo con respecto al testigo (sin fertilizante). Oliet et al. (2009) probaron dos fertilizantes de liberación lenta (9-13-18 y 17-10-10 de N-P-K) en dosis de 3, 5 y 7 g, más un testigo sin fertilizar, y determinaron que la formulación 9-13-18 de N-P-K en dosis de 7 g generó los mayores incrementos en diámetro y altura de *Pinus halepensis* Mill.

En general, los fertilizantes de uso agrícola tuvieron una menor eficiencia en el aporte nutrimental. Esto concuerda con los resultados de Reyes-Millalón et al. (2012), quienes encontraron mejor respuesta en el crecimiento de *P. radiata* D. Don con los fertilizantes de liberación lenta que con fertilizantes hidrosolubles y el testigo (sin fertilización); Everett, Hawkins, y Kiiskila (2007) también observaron una tendencia similar con *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* (Beissn.) Franco. Por su parte, Gotore, Murepa, y Gapare (2014) encontraron una respuesta particular en el crecimiento de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham.; estos autores sugieren que la adición de nutrimentos no es necesaria en la etapa inicial de la plantación. No obstante, el presente estudio demuestra que el manejo nutrimental es importante en la plantación de *P. greggii* var. *greggii*, puesto generó una respuesta significativa en el crecimiento; así lo señalan Román, Vargas, Baca, Trinidad, y Alarcón (2001), quienes demostraron que el manejo nutrimental de plántulas de *P. greggii* var.

Jacobs, 2013; Reyes-Millalón et al., 2012). Perez, Valeri, Cruz, and Vasconcelos (2016) indicate that an adequate or even high level of K promotes the most efficient use of water in plants. In this study, probably, K exerted this effect and, therefore, influenced survival.

It is worth mentioning that the values obtained by any of the treatments evaluated exceed the national figure of survival after one year of planting in the reforestations: 36 % according to Wallace et al. (2015) and <50 % according to Burney et al. (2015). In addition, taking into account that *P. greggii* var. *greggii* is an exotic species in Durango, survival values are acceptable, even though CONAFOR demands 80 % survival in the first year.

#### Foliar concentration of nutrients

Table 5 shows the results of the determination of foliar concentration of N, P and K in *P. greggii* var. *greggii*. The fertilizers used did not generate significant differences in foliar concentrations of N ( $P = 0.536$ ) and K ( $P = 0.603$ ), but there were differences in those of P ( $P = 0.030$ ). The existence of similar concentrations of N may be due to its condition of deficiency in the site, which allows to suppose that the nutrient was absorbed by the plants and diluted within the biomass (López-López & Estañol-Botello, 2007).

*australis* con soluciones nutritivas incrementó la altura, el diámetro y la biomasa.

Las variables altura, diámetro y volumen tuvieron diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, conviene hacer evaluaciones futuras de la plantación para determinar si las mismas diferencias continúan o si ocurren otras, lo cual probablemente sucederá durante el cierre de copas, que es la etapa de mayor demanda nutricional.

#### Supervivencia de *Pinus greggii* var. *greggii*

La supervivencia no tuvo diferencias significativas por efecto de la fertilización ( $P = 0.799$ ) y las dosis probadas ( $P = 0.241$ ). Es posible que el porcentaje reducido de supervivencia del testigo (52.1 %), de los fertilizantes de uso agrícola 16-16-16 (59.4 %) y 18-46-00 (64.4 %), así como de los fertilizantes de liberación lenta 09-23-14 (64.6 %), 12-25-12 (67.7 %), 14-14-14 (63.5 %), 17-17-17 (59.4 %) y 18-06-12 (67.7 %), se deba más a las condiciones de baja disponibilidad de humedad en el suelo, que a las necesidades de nutrimentos en las plantas (Haase & Jacobs, 2013; Reyes-Millalón et al., 2012). Perez, Valeri, Cruz, y Vasconcelos (2016) indican que un nivel de K adecuado, o incluso elevado, promueve el uso más eficiente del agua en las plantas. En este estudio,

**Table 5. Foliar concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium in *Pinus greggii* var. *greggii*, after the first year of planting.**

**Cuadro 5. Concentraciones foliares de nitrógeno, fósforo y potasio en *Pinus greggii* var. *greggii*, después del primer año de plantación.**

Fertilizer (N-P-K)/Fertilizante (N-P-K)	N (%)	P (%)	K (%)
Control/Testigo	1.422 a*	0.120 ab	0.877 a
Agricultural fertilizer 16-16-16/ Fertilizante agrícola 16-16-16	1.602 a	0.126 a	0.957 a
Agricultural fertilizer 18-46-00/ Fertilizante agrícola 18-46-00	1.400 a	0.113 ab	0.996 a
Slow-release fertilizer 09-23-14/ Fertilizante de liberación lenta 09-23-14	1.410 a	0.113 ab	0.960 a
Slow-release fertilizer 12-25-12/ Fertilizante de liberación lenta 12-25-12	1.578 a	0.119 ab	0.873 a
Slow-release fertilizer 14-14-14/ Fertilizante de liberación lenta 14-14-14	1.393 a	0.110 ab	0.885 a
Slow-release fertilizer 17-17-17/ Fertilizante de liberación lenta 17-17-17	1.392 a	0.111 ab	0.884 a
Slow-release fertilizer 18-06-12/ Fertilizante de liberación lenta 18-06-12	1.361 a	0.105 b	0.864 a

\*Different letters for the same variable indicate significant differences between treatments according to the Bonferroni-Dunn test ( $P < 0.05$ ).

\*Letras diferentes para una misma variable indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba de Bonferroni-Dunn ( $P < 0.05$ ).



Even though it is an adequate nutrient in soil (Appendix 1), K favored more the growth of seedlings (Table 2), because it probably promoted a better use of water (Perez et al., 2016). If this effect had occurred, it is likely that foliar K has tended to be diluted in the biomass, generating only small and insignificant changes in the foliar concentrations of the nutrient (Table 5) (López-López & Alvarado-López, 2010). In contrast, the foliar concentrations of P were modified as the nutrient was added in the fertilizing formula; apparently the immediate release of nutrients by the agricultural fertilizer 16-16-16 allowed the increase of foliar P, while, the slow-release fertilizer, due to its durable condition, only released small portions of nutrients for a longer time. This implies that P was deficient in the site before applying the treatments ( $3.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Appendix 1), since the NOM-021-RECNAT-2000 indicates as mean values 5.5 to  $11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (SEMARNAT, 2002).

Regarding fertilizer doses, there were no significant differences in foliar concentration of N ( $P = 0.079$ ), P ( $P = 0.535$ ) and K ( $P = 0.592$ ). In the comparison of nutrient foliar concentrations, the absence of differences between treatments is frequent, due to the presence of dilution effects due to seedling growth (López-López & Alvarado-López, 2010).

The vector analysis, shown in Figure 1a, indicates that the slow-release fertilizers 09-23-14, 14-14-14, 18-06-12 and the agricultural fertilizer 18-46-00 N-P-K, generated an increase in the weight of needles and the reduction in the concentration of foliar N, nutrient that was deficient before applying it; such an interpretation agrees with the soil analysis (0.05 % is considered low [SEMARNAT, 2002]) and the behavior of the foliar concentration of N (Table 5) (López-López & Alvarado-López, 2010). This same effect is observed in P with the slow-release fertilizers 09-23-14, 14-14-14 and 18-06-12, and the agricultural fertilizer 18-46-00 (Figure 1b), and in the case of K with the slow-release fertilizer 06-18-12 (Figure 1c). This indicates that these nutrients were insufficient to increase the biomass of needles, which is often directly related to the total biomass of seedlings (Timmer & Stone, 1978).

The nomogram of N also shows that the agricultural fertilizer 16-16-16 and that of slow-release 12-25-12 have a vector that indicates a decrease in the weight of needles, and an increase in the foliar concentration of N (Figure 1a). Apparently it is an effect of N concentration, due to the limitation of growth by some factor probably linked to fertilizers. Likewise, the vector of the slow-release fertilizer 17-17-17 reflects weight reduction of needles and foliar concentration, this may be due to an antagonistic effect with another nutrient (López-López & Alvarado-López, 2010) that decreased the availability of N. That same tendency is observed in P with the slow-release fertilizer 17-17-17 and 12-25-12 of

probablemente, el K ejerció dicho efecto y, por ende, influyó en la supervivencia.

Cabe mencionar que los valores obtenidos por cualquiera de los tratamientos evaluados superan la cifra nacional de supervivencia al año de plantación en las reforestaciones: 36 % según Wallace et al. (2015) y <50 % según Burney et al. (2015). Además, considerando que *P. greggii* var. *greggii* es una especie exótica en Durango, los valores de supervivencia son aceptables, aun cuando la CONAFOR exige 80 % de supervivencia en el primer año.

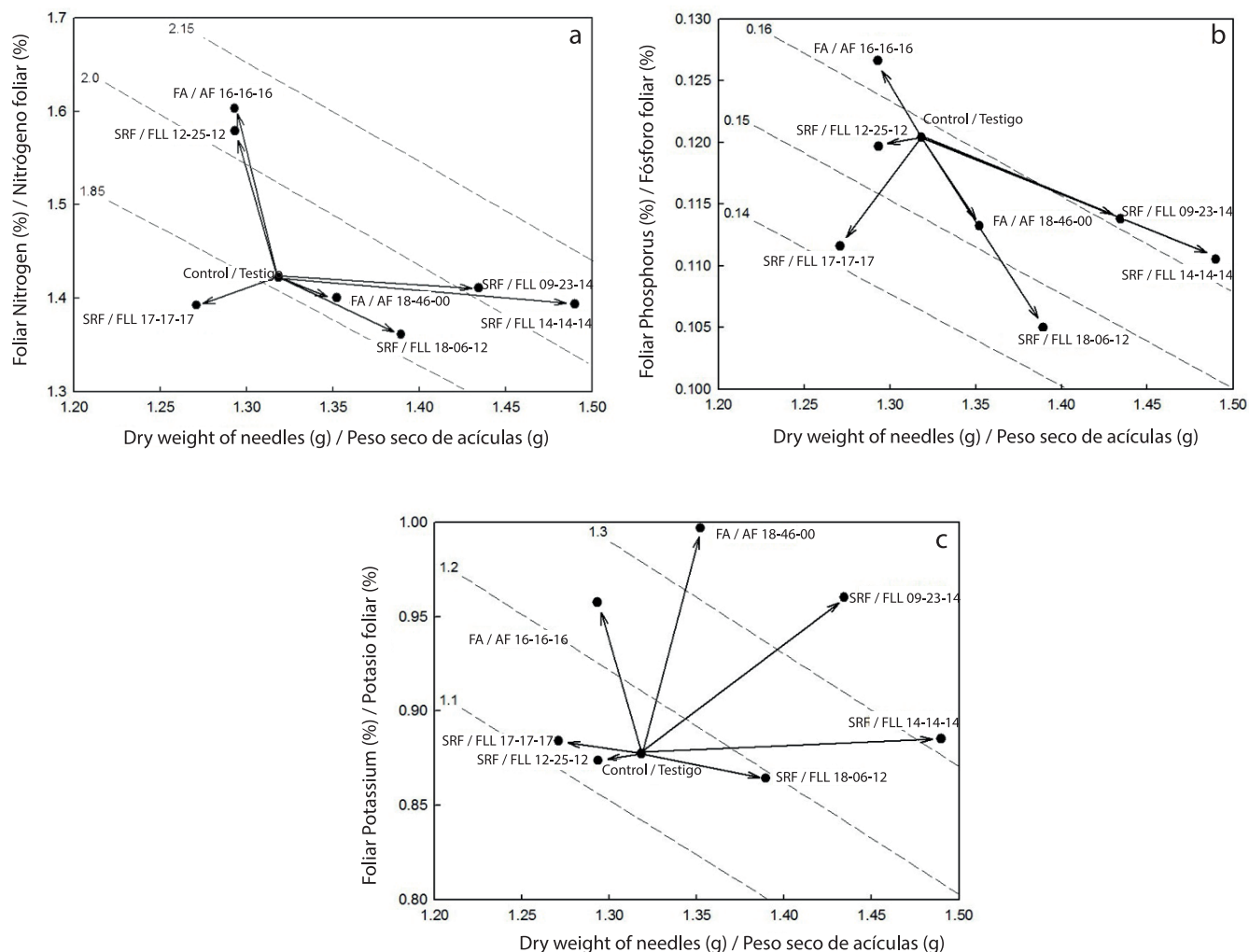
### Concentración foliar de nutrimentos

El Cuadro 5 presenta los resultados de la determinación de concentración foliar de N, P y K en *P. greggii* var. *greggii*. Los fertilizantes utilizados no generaron diferencias significativas en las concentraciones foliares de N ( $P = 0.536$ ) y K ( $P = 0.603$ ), pero sí en las de P ( $P = 0.030$ ). La existencia de concentraciones similares de N puede deberse a su condición de deficiencia en el sitio, lo cual permite suponer que el nutrimento fue absorbido por las plantas y se diluyó en la biomasa (López-López & Estañol-Botello, 2007).

Aun siendo un nutrimento suficiente en el suelo (Anexo 1), el K favoreció más el crecimiento de los brinzales (Cuadro 2), debido a que probablemente promovió un uso mejor del agua (Perez et al., 2016). De haber sucedido este efecto, es probable que el K foliar haya tendido a diluirse en la biomasa, generando solo cambios pequeños y no significativos en las concentraciones foliares del nutrimento (Cuadro 5) (López-López & Alvarado-López, 2010). En cambio, las concentraciones foliares de P se modificaron según se agregó el nutrimento en la fórmula fertilizante; al parecer la liberación inmediata de nutrimentos por parte del fertilizante de uso agrícola 16-16-16 permitió el aumento de P foliar, mientras que, los fertilizantes de liberación lenta, por su condición duradera, solo liberaron porciones pequeñas de nutrimentos durante un tiempo prolongado. Lo anterior implica que el P era deficiente en el sitio antes de aplicar los tratamientos ( $3.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Anexo 1), ya que la NOM-021-RECNAT-2000 señala como valores medios 5.5 a  $11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (SEMARNAT, 2002).

Con relación a las dosis de fertilizantes, no existieron diferencias significativas en la concentración foliar de N ( $P = 0.079$ ), P ( $P = 0.535$ ) y K ( $P = 0.592$ ). En la comparación de concentraciones foliares de nutrimentos es frecuente la ausencia de diferencias entre tratamientos, debido a la presencia de los efectos de dilución en el crecimiento de los brinzales (López-López & Alvarado-López, 2010).

El análisis de vectores, mostrado en Figura 1a, indica que los fertilizantes de liberación lenta 09-23-14, 14-14-14, 18-06-12 y el de uso agrícola 18-46-00 de



**Figure 1. Vector nomograms of fertilization treatments with different formulations in *Pinus greggii* var. *greggii*. AF: Agricultural fertilizer and SRF: Slow-release fertilizer.**

**Figura 1. Nomogramas de vectores de tratamientos de fertilización con distintas formulaciones en *Pinus greggii* var. *greggii*. FA: fertilizante agrícola y FLL: fertilizante de liberación lenta.**

N-P-K, while in K that was only observed with the slow-release fertilizer 12-25-12 of N-P-K.

On the other hand, in the nomogram of K it is observed that the vectors of slow-release fertilizers 09-23-14, 14-14-14 and that of agricultural use 18-46-00 indicate increase in weight of needles and increase in concentration (Figure 1c), this suggests that K was deficient before treatment; K insufficiency was corrected and a high consumption occurred (López-López & Alvarado-López, 2010). According to soil analysis, K is sufficient and it seems that this nutrient improved the water status of the seedlings and their growth (Román et al., 2001), despite the fact that water is a limiting factor in the area.

N-P-K, generaron aumento en el peso de acículas y la reducción en la concentración de N foliar, nutriente que era deficiente antes de aplicarlo; tal interpretación concuerda con el análisis de suelo (0.05 % se considera bajo [SEMARNAT, 2002]) y el comportamiento de la concentración foliar del N (Cuadro 5) (López-López & Alvarado-López, 2010). Este mismo efecto se observa en P con los fertilizantes de liberación lenta 09-23-14, 14-14-14 y 18-06-12, y el de uso agrícola 18-46-00 (Figura 1b), y en el caso del K con el fertilizante de liberación lenta 18-06-12 (Figura 1c). Lo anterior indica que estos nutrientes fueron insuficientes para incrementar la biomasa de acículas, misma que frecuentemente se relaciona en forma directa con la biomasa total de los brinzales (Timmer & Stone, 1978).

In general, slow-release fertilizer 17-17-17 induced reduction of foliar biomass (Figure 1). Apparently, P was the deficient nutrient in the plots that received slow-release fertilizer 17-17-17 from N-P-K (Figure 1b), in which case, the foliar concentration decreased up to 0.11 %. P is a nutrient highly prone to pH conditions (<5 precipitation, > 5 adsorption, occlusion and reversion) and it is likely that it has restricted absorption (Núñez, 2013) in fertilizer 17-17-17, decreasing the growth, including that of the roots; the same effect may also have reduced the absorption of N and, to some extent, that of K.

## Conclusions

The initial application of slow-release fertilizers 12-25-12, 09-23-14 and 18-06-12 of N-P-K favored growth in height, diameter and volume of the *Pinus greggii* var. *greggii* seedlings compared to the control treatment. Fertilization treatments did not influence the one-year survival of the plantation establishment. With regard to foliar concentration, only phosphorus showed significant differences between treatments. Nitrogen and phosphorus were limiting, but the application of potassium favored growth even when this element is in the soil at sufficient levels. The experimental site is deficient in nitrogen and phosphorus, which is why the application of nitrogen and phosphate fertilizers is recommended in the establishment of *P. greggii* var. *greggii* plantations.

## Acknowledgments

The authors thank the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for the financial support for the doctorate studies of the first author; the Secretaría de Educación Pública (SEP), who financed part of the research through the Programa para Desarrollo Profesional Docente (PRODEP); and the Universidad Juárez del Estado de Durango, for providing measurement and financing equipment through the Facultad de Ciencias Forestales.

El nomograma de N muestra también que el fertilizante de uso agrícola 16-16-16 y el de liberación lenta 12-25-12 presentan un vector que indica disminución del peso de acículas, así como aumento de la concentración foliar de N (Figura 1a). Aparentemente se trata de un efecto de concentración de N, debido a la limitación del crecimiento por algún factor ligado probablemente a los fertilizantes. Asimismo, el vector del fertilizante de liberación lenta 17-17-17 refleja reducción de peso de acículas y de concentración foliar, esto puede deberse a un efecto antagónico con otro nutrimento (López-López & Alvarado-López, 2010) que disminuyó la disponibilidad de N. Esa misma tendencia se observa en P con el fertilizante de lenta liberación 17-17-17 y 12-25-12 de N-P-K, mientras que en K solo con el fertilizante de lenta liberación 12-25-12 de N-P-K.

Por otro lado, en el nomograma de K se observa que los vectores de los fertilizantes de liberación lenta 09-23-14, 14-14-14 y el de uso agrícola 18-46-00 indican aumento de peso de acículas e incremento en la concentración (Figura 1c), esto sugiere que el K era deficiente antes del tratamiento; la insuficiencia K se subsanó y ocurrió un alto consumo (López-López & Alvarado-López, 2010). Según el análisis de suelo, el K es suficiente y parece ser que este nutrimento mejoró el estado hídrico de los brinzales y su crecimiento (Román et al., 2001), a pesar de que el agua es un factor limitante en la zona.

En general, el fertilizante de liberación lenta 17-17-17 indujo reducción de la biomasa foliar (Figura 1). Al parecer, el P fue el nutrimento deficiente en las parcelas que recibieron fertilizante de liberación lenta 17-17-17 de N-P-K (Figura 1b), en cuyo caso, la concentración foliar disminuyó hasta 0.11 %. El P es un nutrimento altamente proclive a las condiciones de pH (<5 precipitación; >5 adsorción, oclusión y reversión) y es probable que este haya restringido la absorción (Núñez, 2013) en el fertilizante 17-17-17, disminuyendo el crecimiento, incluyendo el de las raíces; el mismo efecto pudo haber reducido la absorción también de N y, en alguna medida, la de K.

## Conclusiones

La aplicación inicial de fertilizantes de liberación lenta 12-25-12, 09-23-14 y 18-06-12 de N-P-K favoreció el crecimiento en altura, diámetro y volumen de los brinzales de *Pinus greggii* var. *greggii* en comparación con el testigo. Los tratamientos de fertilización no influyeron en la supervivencia a un año del establecimiento de la plantación. Con relación a la concentración foliar, solo el fósforo mostró diferencias significativas entre tratamientos. El nitrógeno y fósforo fueron limitantes, pero la aplicación de potasio favoreció el crecimiento aun cuando este elemento se encuentra en el suelo en niveles suficientes. El sitio experimental es deficiente

*End of English version*

## References / Referencias

- Balám-Che, M., Gómez-Guerrero, A., Vargas-Hernández, J. J., Aldrete, A., & Obrador-Olán, J. J. (2015). Fertilización inicial de plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* Linn F.) en el sureste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(2), 205–212. Retrieved from <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/38-2/11a.pdf>
- Brown, C., & Ball, J. (2000). World view of plantation grown wood. In B. Krishnapillay, E. Soepadmo, N. L. Arshad, A. Wong, S. Appanah, S. W. Chik, ...K. K. Choon (Eds.), *Forests and society: the role of research* (pp. 377–389). Kuala Lumpur, Malasia. Retrieved from <http://www.fao.org/forestry/4596-0bc06e1b1190f66bb48651bfd756f37fd.pdf>
- Burney, O., Aldrete, A., Alvarez, R. R., Prieto, R. J. A., Sánchez, V. J. R., & Mexal, J. G. (2015). México—Addressing challenges to reforestation. *Journal of Forestry*, 113(4), 404–413. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/279865463\\_M\\_xico-Addressing\\_Challenges\\_to\\_Reforestation](https://www.researchgate.net/publication/279865463_M_xico-Addressing_Challenges_to_Reforestation)
- Carle, J., Vuorinen, P., & Lungo, A. (2002). Status and trends in global forest plantation development. *Forest Products Journal*, 52, 1–13. Retrieved from <http://www.fao.org/forestry/25856-0c773a78823b8b936c7f6c323919bd706.pdf>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2010). Prácticas de reforestación. Manual básico. Retrieved from [http://www.conafor.gob.mx/BIBLIOTECA/MANUAL\\_PRACTICAS\\_DE\\_REFORESTACION.PDF](http://www.conafor.gob.mx/BIBLIOTECA/MANUAL_PRACTICAS_DE_REFORESTACION.PDF)
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2012). Programa de desarrollo de plantaciones forestales comerciales, a 15 años de su creación. Zapopan, Jalisco, México: CONAFOR. Retrieved from [http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/PROGRAMA\\_DE\\_DESARROLLO\\_DE\\_PFC\\_A\\_15\\_ANOS\\_DE\\_SU\\_CREACION.PDF](http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/PROGRAMA_DE_DESARROLLO_DE_PFC_A_15_ANOS_DE_SU_CREACION.PDF)
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2014). Programa Nacional Forestal 2014-2018. Retrieved from <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/4/5382Programa%20Nacional%20Forestal%202014-2018.pdf>
- Domínguez, C. P. A., Návar, C. J. J., & Loera, O. J. A. (2001). Comparación del rendimiento de pinos en la reforestación de sitios marginales en Nuevo León. *Madera y Bosques*, 7(1), 27–35. Retrieved from <http://myb.ojs.inacol.mx/index.php/myb/article/viewFile/1316/1486>
- Domínguez-Calleros, P. A., Rodríguez-Laguna, R., Capulín-Grande, J. Razo-Zárate, R., & Díaz-Vásquez, M. A. (2017). Influencia de factores edáficos en el crecimiento de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. en Santiago de Anaya, Hidalgo, México. *Madera y Bosques*, 23(2), 145–154. Retrieved from <http://myb.ojs.inacol.mx/index.php/myb/article/view/1522/1682>
- Everett, K. T., Hawkins, B. J., & Kiiskila, S. (2007). Growth and nutrient dynamics of Douglas-fir seedlings raised with exponential or conventional fertilization and en nitrógeno y fósforo, por lo que se recomienda la aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosfatados en el establecimiento de plantaciones de *P. greggii* var. *greggii*.

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero en los estudios de doctorado del primer autor; a la Secretaría de Educación Pública, quien financió parte de la Investigación a través del Programa para Desarrollo Profesional Docente (PRODEP); y a la Universidad Juárez del Estado de Durango, quien facilitó equipo de medición y financiamiento a través de la Facultad de Ciencias Forestales.

## Fin de la versión en español

- planted with or without fertilizer. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(12), 2552–2562. doi: 10.1139/X07-108
- Fox, T. R. (2000). Sustained productivity in intensively managed forest plantations. *Forest Ecology and Management*, 138(1), 187–202. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00396-0
- Gotore, T., Murepa, R., & Gapare, W. J. (2014). Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on the early growth of *Pinus patula* and *Eucalyptus grandis*. *Journal of Tropical Forest Science*, 26(1), 22–31. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/23617010>
- Haase, D. L., & Jacobs, D. F. (2013). Nutrient dynamics of planted forests. *New Forests*, 44(5), 629–633. doi: 10.1007/s11056-013-9383-7
- Haase, D. L., & Rose, R. (1995). Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments. *Forest Science*, 41(1), 54–66. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/233674789\\_Vector\\_Analysis\\_and\\_its\\_use\\_for\\_Interpreting\\_Plant\\_Nutrient\\_Shifts\\_in\\_Response\\_to\\_Silvicultural\\_Treatments](https://www.researchgate.net/publication/233674789_Vector_Analysis_and_its_use_for_Interpreting_Plant_Nutrient_Shifts_in_Response_to_Silvicultural_Treatments)
- Ibell, P. T., Xu, Z. H., Blake, T. J., Wright, C., & Blumfield, T. J. (2014). How weed control and fertilization influence tree physiological processes and growth at early establishment in an exotic F1 hybrid pine plantation of subtropical Australia. *Journal of Soils and Sediments*, 14(5), 872–885. doi: 10.1007/s11368-014-0891-7
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2017). Red de estaciones agroclimáticas. Retrieved March 16, 2017, from <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=26473>
- Jacobs, D. F., Olliet, J. A., Aronson, J., Bolte, A., Bullock, J. M., Donoso, P. J., ...Weber, J. C. (2015). Restoring forests: What constitutes success in the twenty-first century? *New Forests*, 46(5-6), 601–614. doi: 10.1007/s11056-015-9513-5

- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47, 583–621. doi: 10.2307/2280779
- Landis, T. D., & Dumroese, R. K. (2009). Using polymer-coated controlled-release fertilizers in the nursery and after outplanting. *Forest Nursery Notes*, 29, 5–12. Retrieved from [http://www.fs.fed.us/rm/pubs\\_other/rmrs\\_2009\\_landis\\_t001.pdf](http://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_2009_landis_t001.pdf)
- López-Ayala, J. L., Vargas-Hernández, J. J., Ramírez-Herrera, C., & López-Upton, J. (1999). Variación intraespecífica en el patrón de crecimiento del brote terminal en *Pinus greggii* Engelm. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 5(2), 133–140. Retrieved from [https://www.chapingo.mx/revistas/forestales/contenido.php?seccion=numero&id\\_revista\\_numero=210](https://www.chapingo.mx/revistas/forestales/contenido.php?seccion=numero&id_revista_numero=210)
- López-López, M. A., & Alvarado-López, J. (2010). Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales. *Madera y Bosques*, 16(1), 99–108. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-04712010000100007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712010000100007)
- López-López, M. A. & Estañol-Botello, E. (2007). Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. *Terra Latinoamericana*, 25, 9–15. Retrieved from <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57311513002>
- Núñez, E. R. (2013). El suelo como medio natural en la nutrición de los cultivos. In G. G. Alcántar, & L. I. Trejo-Téllez (Eds.), *Nutrición de cultivos* (1.ª ed., pp. 122–129). México: Colegio de Postgraduados.
- Oliet, J. A., Planelles, R., Artero, F., Valverde, R., Jacobs, D. F., & Segura, M. L. (2009). Field performance of *Pinus halepensis* planted in Mediterranean arid conditions: relative influence of seedling morphology and mineral nutrition. *New Forests*, 37(3), 313–331. doi: 10.1007/s11056-008-9126-3
- Perez, B. A. P., Valeri, S. E. V., Cruz, M. C. P., & Vasconcelos, R. T. O. (2016). Potassium doses for African mahogany plants growth under two hydric conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 11(22), 1973–1979. doi: 10.5897/AJAR2016.11026
- Pohlert, T. (2014). The Pairwise Multiple Comparison of Mean Ranks Package (PMCMR). R package. Retrieved from <https://cran.r-project.org/web/packages/PMCMR/vignettes/PMCMR.pdf>
- R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Ramírez-Herrera, C., Vargas-Hernández, J. J., & López-Upton, J. (2005). Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta Botánica Mexicana*, 72, 1–16. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-71512005000300001&lng=es&tlng=](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512005000300001&lng=es&tlng=)
- Reyes-Millalón, J., Gerding, V., & Thiers-Espinoza, O. (2012). Fertilizantes de liberación controlada aplicados al establecimiento de *Pinus radiata* D. Don en Chile. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(3), 313–328. doi: 10.5154/r.rchscfa.2011.08.060
- Román, J. A. R., Vargas, H. J. J., Baca, C. G. A., Trinidad, S. A., & Alarcón, B. M. P. (2001). Crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* Engelm. en respuesta a la fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 26(89), 19–43.
- Salazar, G. J. G., Vargas, H. J. J., Jasso, M. J., Molina, G. J. D., Ramírez, H. C., & López, U. J. (1999). Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. *Madera y Bosques*, 5(2), 19–34. doi: 10.21829/myb.1999.521345
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo. Estudios, muestreo y análisis. México: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from [http://diariooficial.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002](http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2017). Base de datos. Consulta temática. Plantaciones forestales comerciales. Retrieved from [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_RFORESTA09\\_02&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce&NOMBREENTIDAD=\\* &NOMBREANIO=\\*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RFORESTA09_02&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=* &NOMBREANIO=*)
- Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1988). *Bioestadística: Principios y Procedimientos* (2.ª ed.). México: McGRAW-HILL.
- Timmer, V. R. (1991). Interpretation of seedling analysis and visual symptoms. In R. Driessche, van den. (Ed.), *Mineral nutrition of conifer seedlings* (pp. 113–134). Boca Raton, Florida, USA: CRC Press
- Timmer, V. R., & Stone, E. L. (1978). Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 125–130. doi: 10.2136/sssaj1978.03615995004200010027x
- Wallace, J., Aquilué, N., Archambault, C., Carpentier, S., Francoeur, X., Greffard, M. H., ... Messier, C. (2015). Present forest management structures and policies in temperate forests of Mexico: Challenges and prospects for unique tree species assemblages. *The Forestry Chronicle*, 91(3), 306–317. doi: 10.5558/tfc2015-052

**Appendix 1. Physicochemical properties of soil of *Pinus greggii* var. *greggii* plantations in the Ejido Aquiles Serdán, Durango, Mexico.**

**Anexo 1. Propiedades fisicoquímicas del suelo de la plantación de *Pinus greggii* var. *greggii* en el ejido Aquiles Serdán, Durango, México.**

Variable	Minimum/ Mínima	Mean/ Media	Maximum/ Máxima	Standard error/ Error estándar
Organic matter (%)/Materia orgánica (%)	0.99	1.05	1.06	0.02
Sand (%)/Arena (%)	23.08	33.08	41.08	3.74
Silt (%)/Limo (%)	33.64	41.14	47.64	2.87
Clay (%)/Arcilla (%)	23.28	25.78	29.28	1.26
pH	6.08	6.9	7.1	0.07
CE (dS·m <sup>-1</sup> )	0.03	0.04	0.05	<0.01
N (%)	0.05	0.05	0.05	<0.01
N-NO <sub>3</sub> (ppm, mg·kg <sup>-1</sup> )	10.22	12.18	17.29	1.71
N-NH <sub>4</sub> (ppm, mg·kg <sup>-1</sup> )	14.15	18.67	21.22	1.68
P Olsen (ppm, mg·kg <sup>-1</sup> )	3.00	4.63	5.75	0.58
K (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )	0.99	1.07	1.22	0.05
Ca (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )	5.86	6.48	7.07	0.32
Mg (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )	1.13	1.24	1.31	0.04
Na (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )	0.15	0.15	0.15	<0.01
Fe (ppm, mg·kg <sup>-1</sup> )	11.12	12.52	14.22	0.75
Cu (ppm, mg·kg <sup>-1</sup> )	0.05	0.06	0.07	<0.01
Zn (ppm, mg·kg <sup>-1</sup> )	0.23	0.34	0.42	0.04
Mn (ppm, mg·kg <sup>-1</sup> )	32.55	55.64	93.39	13.37
Texture/Clase textural	Loamy/Franca			