



Artículo / Article

## Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada

## Production of *Pinus pseudostrobus* Lindl. with sawdust substrates and controlled release fertilizers

Manuel Aguilera Rodríguez<sup>1</sup>, Arnulfo Aldrete<sup>1</sup>, Tomás Martínez Trinidad<sup>1</sup> y Víctor Manuel Ordaz Chaparro<sup>1</sup>

### Resumen

El aserrín de pino se ha empleado para la producción de planta en los viveros forestales con resultados prometedores. El objetivo del presente trabajo consistió en probar la eficiencia de dos sustratos de ese material y dos fertilizantes de liberación controlada. Se produjo *Pinus pseudostrobus* en charolas de poliestireno de 77 cavidades, con S1 (aserrín de pino intemperizado, corteza compostada de pino, turba de musgo y vermiculita, 60, 15, 15, y 10 %), y S2 (aserrín fresco de pino, corteza compostada de pino, turba de musgo y vermiculita, 60, 15, 15 y 10 %); además de dos fertilizantes con dos periodos de liberación de nutrientes: Multicote® (18-6-12, de 8 y 4 meses) y Osmocote Plus® (15-9-12, de 8 a 9 meses y 5 a 6 meses), con una dosis única de 8 g L<sup>-1</sup> de sustrato. Se usó un diseño completamente al azar, con 12 tratamientos y cuatro repeticiones. En todos los casos se obtuvo planta de buena calidad, con diámetro mayor de 5 mm, altura de 22 a 25 cm e índice de calidad de Dickson superior a 0.7. Los valores de las variables morfológicas fueron iguales en ambos sustratos, excepto el peso seco radical que fue superior en el sustrato S2. Osmocote® presentó valores superiores a Multicote®, pero solo en la variable altura fue menor. Se concluye que el aserrín de pino es útil como sustrato, y que la combinación de fertilizantes con diferentes periodos de liberación es más eficiente que la aplicación de un solo fertilizante.

**Palabras clave:** Aserrín de pino, calidad de planta, Multicote®, Osmocote®, *Pinus pseudostrobus* Lindl., poda de raíz.

### Abstract

Pine sawdust has been utilized for plant production in forest nurseries with promising results. The objective of the present study consisted in proving the effectiveness of two substrates of these materials and two controlled release fertilizers. *Pinus pseudostrobus* was produced in polystyrene trays with 77 cavities, with: S1 (60, 15, 15, and 10 % weathered pine sawdust, composted pine bark, peat moss and vermiculite), and S2 (60, 15, 15 and 10 % fresh pine sawdust, composted pine bark, peat moss and vermiculite), besides two fertilizers with two nutrient release periods: Multicote® (18-6-12, 8 and 4 months) and Osmocote Plus® (15-9-12), applied during 8 to 9 months and during 5 to 6 months), with a single dose of 8 g L<sup>-1</sup> of substrate. A wholly random design with 12 treatments and four repetitions was used. In every case, good quality plants were obtained, with a diameter of over 5 mm, a height of 22 to 25 cm, and a Dickson's quality index above 0.7. The values of the morphological variables were equal in both strata, except for the dry root weight, which was higher in substrate S2. Overall, Osmocote® had higher values than Multicote®, except for the height variable. It was concluded that pine sawdust is useful as a substrate, and the use of a combination of fertilizers with various release periods proved to be more effective than the application of a single fertilizer.

**Key words:** Pine sawdust, plant quality, Multicote®, Osmocote®, *Pinus pseudostrobus* Lindl., root pruning.

## Introducción

En el año de 1993 se inició en México la producción intensiva de planta de especies forestales en charolas. Al principio, toda la producción se realizaba con sustratos elaborados con turba de musgo importada de Canadá; posteriormente, se empezó a sustituir por otros materiales locales más económicos como la corteza y el aserrín de pino, la fibra de coco, bagazos de agave y caña de azúcar y composta de café, entre otros. Durante la última década, el valor de la turba se ha duplicado, como consecuencia del incremento en el costo de los combustibles y el transporte (Landis y Morgan, 2009; Schaefer, 2009); sin embargo, en el país, aún se continúa utilizando este material en más de 60 % de la planta, que se produce en charolas con fines de restauración, por su fácil adquisición y manejo (Conafor, 2014).

De los insumos orgánicos locales usados como sustratos, el aserrín presenta las mejores ventajas, entre las cuales destacan su mayor abundancia y su creciente producción en el mediano plazo; en 2014, la industria del aserrío produjo 3 902 545 m<sup>3</sup> de madera aserrada de los géneros *Pinus* y *Abies* (Semarnat, 2014). El proceso de aserrío se estimó que generó 1 683 450 m<sup>3</sup> de aserrín (Zavala y Hernández, 2000); su precio es bajo, de \$100.00 a \$ 300.00 por metro cúbico, en comparación con la turba que varía de \$2 200.00 a \$ 2 400.00; es fácil de cernir y depurar; se puede emplear sin compostar y no es tóxico para las plantas en vivero (Mateo *et al.*, 2011; Hernández *et al.*, 2014).

El uso de fertilizantes de liberación controlada (FLC) como única fuente de nutrición para las plantas es una práctica que simplifica el manejo de la producción y reduce los costos, además de que minimiza las pérdidas de fertilizantes por lixiviación, comparado con el uso tradicional de fertilizantes hidrosolubles (Rose *et al.*, 2004; Landis y Dumroese, 2009).

A partir de 2003, en algunos viveros del estado de Puebla se utilizan con éxito sustratos formulados con aserrín de pino, nuevo o intemperizado (acumulado en patios de los aserraderos por más de un año), combinado con FLC en dosis de 7 g L<sup>-1</sup>, y la aplicación de fertilizantes hidrosolubles (FHS) durante todo el período de desarrollo de las plantas (Hernández *et al.*, 2014).

En la última década, se han hecho experimentos con sustratos de aserrín fresco de pino (recién producido en aserradero) y FLC en dosis de 7 y 8 g L<sup>-1</sup>, en los cuales se ha obtenido planta de buena calidad de: *Pinus pseudostrobus* Lindley var. *apulcensis*, (Lindley) Martínez non Shaw, *Pinus greggii* Engelm. y *Cedrela odorata* L. (Reyes *et al.*, 2005; Maldonado *et al.*, 2011; Mateo *et al.*, 2011). Tanto en la producción normal, como en la experimental se han aplicado FLC de una sola marca comercial, con periodos de liberación de 8 a 9 meses, a pesar de que existen en el mercado varias empresas que ofrecen productos con diferentes tiempos de liberación, desde 3 hasta 24 meses.

## Introduction

In Mexico, intensive production of forest species of plants in trays began in the year 1993. Initially, all the production was carried out with substrates made with peat moss imported from Canada; this was later gradually replaced with other, more economic materials, such as pine bark and pine sawdust, coconut fiber, agave and sugar cane mash, and coffee compost, among others. During the last decade, the cost of peat has doubled as a consequence of the increase in the cost of fuels and transportation (Landis and Morgan, 2009; Schaefer, 2009). However, this material is still in use in Mexico in more than 60 % of the plants produced in trays for restoration purposes, due to its accessibility and easy management (Conafor, 2014).

Of the local organic matter inputs used as substrates, sawdust offers the best advantages, the most prominent of which are that it is the most abundant, and its production tends to increase in the medium term. In 2014 the sawmill industry produced 3 902 545 m<sup>3</sup> of *Pinus* and *Abies* sawn timber (Semarnat, 2014). The sawmilling process is estimated to have generated 1 683 450 m<sup>3</sup> of sawdust (Zavala and Hernández, 2000). The cost of sawdust is low, ranging between 100 and 300 pesos per cubic meter, compared to peat, whose price ranges between 2 200 and 2 400 pesos; sawdust is easy to sift and clean, can be used without composting, and is not toxic for the plants in the nursery (Mateo *et al.*, 2011; Hernández *et al.*, 2014).

The use of controlled release fertilizers (CRFs) as a single source of nutrition for the plants is a practice that simplifies the management of the production and reduces costs; it also minimizes the loss of fertilizers due to leaching, compared to the traditional use of hydrosoluble fertilizers (Rose *et al.*, 2004; Landis and Dumroese, 2009).

Since 2003, substrates made with new or weathered pine sawdust (accumulated in the yards of the sawmills for over a year) have been used in the nurseries of the state of Puebla, in combination with CRFs, in doses of 7 g L<sup>-1</sup>, and hydrosoluble fertilizers (HSFs) throughout the plants development period (Hernández *et al.*, 2014).

Experiments using substrates with fresh pine sawdust (recently produced at the sawmill) and CRFs in doses of 7 and 8 g L<sup>-1</sup> have been carried out in the last decade, and as a result, good quality plants of the following species have been obtained: *Pinus pseudostrobus* Lindley var. *apulcensis*, (Lindley) Martínez non Shaw, *Pinus greggii* Engelm. and *Cedrela odorata* L. (Reyes *et al.*, 2005; Maldonado *et al.*, 2011; Mateo *et al.*, 2011). A single commercial brand of CRF has been applied in both normal and experimental productions, with release periods of 8 to 9 months, although several companies in the market offer products with various release periods, ranging between 3 and 24 months.

Con base en las ventajas que tienen los sustratos con aserrín de pino y los FLC, el objetivo del presente trabajo consistió en probar la eficiencia de dos sustratos formulados con aserrín de pino intemperizado y fresco, y la de dos FLC (Multicote® y Osmocote Plus®), en tres combinaciones de liberación de nutrientes para cada uno en la producción de planta de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en charolas de poliestireno de 77 cavidades. La especie seleccionada es una de las cinco de pino de mayor distribución natural en el territorio nacional (Perry, 1991) y la más usada en los programas de reforestación que anualmente realiza la Comisión Nacional Forestal (Conafor, 2014).

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El experimento se desarrolló desde la tercera semana de septiembre de 2013, hasta la tercera semana de julio de 2014 en el vivero forestal GUMAIR, localizado en las coordenadas geográficas 20° 09' 08" latitud norte y 98° 13' 12" longitud oeste, en el municipio Acaxochitlán, Hidalgo, a 2 400 msnm. El clima de la zona corresponde al tipo templado subhúmedo, con lluvias en verano, temperatura media de 15.1 °C y precipitación anual promedio de 915.5 mm (Conagua, 2014).

El área de producción del vivero cuenta con estructura metálica tipo "casa sombra" de 5 m de alto, cubierta con malla sombra de 50 % de luz, de color negro; mesas metálicas porta charolas de 1.5 m de ancho y 80 cm de alto, malla plástica antihierbas (*ground cover*) en la superficie del piso, sistema de riego fijo por microaspersión, dosificador hidráulico de agroquímicos, pozo profundo y cisterna para almacenamiento de agua.

Insumos utilizados. Charolas de poliestireno expandido de 77 cavidades de 160 cm<sup>3</sup> de capacidad, con una densidad de siembra de 360 plantas m<sup>-2</sup>. Semilla de *Pinus pseudostrabus* recolectada en bosques del municipio Chignahuapan, Puebla. Los tratamientos de sustratos fueron S1 = aserrín de pino intemperizado (60 %), corteza compostada de pino (15 %), turba de musgo (15 %) y vermiculita (10 %); y S2 = aserrín fresco de pino (70 %), corteza compostada de pino (15 %), turba de musgo (15 %) y vermiculita (10 %). Se aplicaron dos fertilizantes de liberación controlada, con dos diferentes tiempos de liberación de nutrientes: Multicote® de 8 y 4 meses, con la fórmula 18N - 6P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 12K<sub>2</sub>O + 2MgO + micro nutrientes (Haifa Chemicals Ltd.); y Osmocote Plus® de 8 a 9 meses y de 5 a 6 meses, con la fórmula 15N - 9P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 12K<sub>2</sub>O + micro nutrientes (Everris NA, Inc.). En las etiquetas de sus envases comerciales se advierte que los periodos señalados en meses, se presentan a temperaturas constantes de 25 °C del suelo o del sustrato. También se aclara que se reducen, en promedio, un mes a 15 °C y se incrementan un mes, a temperaturas de 26 a 27 °C.

Based on the advantages of the pine sawdust substrates and CRFs, the objective of the present study was to prove the effectiveness of two substrates made with weathered and fresh pine sawdust and two CRFs (Multicote® and Osmocote Plus®) in three combinations of nutrient release each, in the production of *Pinus pseudostrabus* Lindl. plants in polystyrene trays with 77 cavities. The selected species is one of the five pine species with the broadest natural distribution in the national territory (Perry, 1991) and the most frequently used in reforestation programs, carried out annually by the *Comisión Nacional Forestal* (National Forest Commission) (Conafor, 2014).

## Materials and Methods

### Study area

The experiment was developed from the third week of September, 2013, until the third week of July, 2014, at the GUMAIR forest nursery, located at the geographical coordinates 20° 09' 08" latitude north and 98° 13' 12" longitude west, in the municipality of *Acaxochitlán*, *Hidalgo* State, at an altitude of 2 400 masl. The area has a temperate subhumid weather with rains in the summer, a mean temperature of 15.1 °C and a mean annual precipitation of 915.5 mm (Conagua, 2014).

The production area of the nursery has a 5 m high shade house-like metallic structure covered with black 50 % shade mesh; 1.5 m wide and 80 cm tall metal tables for trays, anti-weed plastic mesh (*ground cover*) on the floor surface, fixed micro sprinkler irrigation system, hydraulic dispenser of agrochemicals, and a deep well and a cistern for water storage.

Utilized material inputs. 77 expanded polystyrene trays with a capacity of 160 cm<sup>3</sup>, a planting density of 360 plants m<sup>-2</sup>. *Pinus pseudostrabus* seeds collected in forests of the municipality of *Chignahuapan*, *Puebla* State. The substrate treatments were S1 = weathered pine sawdust (60 %), composted pine bark (15 %), peat moss (15 %) and vermiculite (10 %), and S2 = fresh pine sawdust (70 %), composted pine bark (15 %), peat moss (15 %) and vermiculite (10 %). Two controlled release fertilizers with two different nutrient release periods were applied: 8 and 4 month Multicote®, with the formula 18N - 6P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 12K<sub>2</sub>O + 2MgO + micro nutrients (Haifa Chemicals Ltd.), and 8 to 9 month and 5 to 6 month Osmocote Plus®, with the formula 15N - 9P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 12K<sub>2</sub>O + micro nutrients (Everris NA, Inc.). The label of their commercial packaging warns that the periods indicated in months are considered as occurring at a constant temperature of the soil or the substrate of 25 °C. They also clarify that the temperature goes down, in average, to 15 °C during one month, and up to 26 to 27 °C during one month.

In addition, a slow release fertilizer (without polymer coating) made up by micro nutrients –named Micromax® (Everris NA, Inc.)– was utilized to prevent nutritional deficiencies in the plants.

Adicionalmente, se utilizó un fertilizante de liberación lenta (sin recubrimiento de polímero) compuesto por micronutrientes, denominado Micromax® (Everris NA, Inc.), para prevenir deficiencias nutrimentales en las plantas.

Diseño experimental. Con la combinación de sustratos y fertilizantes se generaron 12 tratamientos, seis por sustrato y seis para cada marca comercial de fertilizante. En todos se utilizó una sola dosis de fertilizante al sustrato de 8 g L<sup>-1</sup> y 1 g L<sup>-1</sup> de Micromax® (Cuadro 1).

Experimental design. With the combination of substrates and fertilizers, 12 treatments were generated (six for each substrate and six for each commercial fertilizer brand). In all of them, a single dose of 8 g L<sup>-1</sup> and 1 g L<sup>-1</sup> of the Micromax® fertilizer was applied to the substrate (Table 1).



Cuadro 1. Tratamientos para la producción de planta de *Pinus pseudostrubus* Lindl. en charolas de poliestireno.

T	S	Tipo de Fertilizante	Tipo de Fertilizante	
			Combinación	g L <sup>-1</sup>
T1	S1	Multicote® 4M + Multicote® 8M	I	2 + 6
T2		Multicote® 4M + Multicote® 8M	II	4 + 4
T3		Multicote® 8M	III	8
T4		Osmocote Plus® 5-6M + Osmocote Plus® 8-9M	I	2 + 6
T5		Osmocote Plus® 5-6M + Osmocote Plus® 8-9M	II	4 + 4
T6		Osmocote Plus® 8-9M	III	8
T7	S2	Multicote® 4M + Multicote® 8M	I	2 + 6
T8		Multicote® 4M + Multicote® 8M	II	4 + 4
T9		Multicote® 8M	III	8
T10		Osmocote Plus® 5-6M + Osmocote Plus® 8-9M	I	2 + 6
T11		Osmocote Plus® 5-6M + Osmocote Plus® 8-9M	II	4 + 4
T12		Osmocote Plus® 8-9M	III	8

T = Tratamiento; S = Sustrato; S1 = Aserrín de pino intemperizado, corteza de pino compostada, turba de musgo y vermiculita, 60, 15, 15 y 10 %; S2 = Aserrín fresco de pino, corteza compostada de pino, turba de musgo y vermiculita, 60, 15, 15 y 10 %; M = Periodo de liberación de nutrimentos en meses.



Table 1. Treatments for the production of *Pinus pseudostrabus* Lindl. plants in polystyrene trays.

T	S	Type of Fertilizer	Dose	
			Combination	g L <sup>-1</sup>
T1	S1	4 M Multicote <sup>®</sup> + 8 M Multicote <sup>®</sup>	I	2 + 6
T2		4 M Multicote <sup>®</sup> + 8 M Multicote <sup>®</sup>	II	4 + 4
T3		8 M Multicote <sup>®</sup>	III	8
T4		5-6 M Osmocote Plus <sup>®</sup> + 8-9 M Osmocote Plus <sup>®</sup>	I	2 + 6
T5		5-6 M Osmocote Plus <sup>®</sup> + 8-9 M Osmocote Plus <sup>®</sup>	II	4 + 4
T6		8-9 M Osmocote Plus <sup>®</sup>	III	8
T7	S2	4 M Multicote <sup>®</sup> + 8 M Multicote <sup>®</sup>	I	2 + 6
T8		4 M Multicote <sup>®</sup> + 8 M Multicote <sup>®</sup>	II	4 + 4
T9		8 M Multicote <sup>®</sup>	III	8
T10		5-6 M Osmocote Plus <sup>®</sup> + 8-9 M Osmocote Plus <sup>®</sup>	I	2 + 6
T11		5-6 M Osmocote Plus <sup>®</sup> + 8-9 M Osmocote Plus <sup>®</sup>	II	4 + 4
T12		8-9 M Osmocote Plus <sup>®</sup>	III	8

T = Treatment; S = Substrate; S1 = 60, 15, 15 and 10 % weathered pine sawdust, composted pine bark, peat moss and vermiculite; S2 = 60, 15, 15 and 10 % fresh pine sawdust, composted pine bark, peat moss and vermiculite; M = Nutrient release period, in months.

Cada tratamiento incluyó cuatro repeticiones para un total de 48 charolas, las cuales se acomodaron en forma aleatoria sobre una de las mesas del centro del área de producción, para minimizar los efectos de borde. El total de plantas producidas fue de 3 696.

### Manejo de la producción

La poda química de las raíces laterales de las plantas, previo al llenado de las charolas con los sustratos, se promovió mediante la impregnación de las paredes interiores de las cavidades con una solución de hidróxido cúprico a 7 %, misma que se usa en el vivero desde el año 2010. En los sustratos se eliminaron las partículas mayores de 10 mm de diámetro. La semilla se remojó en agua durante 8 h, se desinfectó en solución de agua oxigenada comercial a 5 % durante 20 min, y se impregnó con Bactiva<sup>®</sup> (*Basilus* spp. y *Trichoderma* spp.), en una dosis de 3 g kg<sup>-1</sup>, para prevenir el desarrollo en las plantas de hongos patógenos como: *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp. y *Phyitium* spp.

La siembra se llevó a cabo con dos semillas por cavidad, en la tercera semana de septiembre de 2013. La cubierta de malla sombra de 50 % se mantuvo en el área de producción para protección de las plantas, desde la siembra hasta el mes de abril de 2014. Durante el desarrollo de la planta no se registraron afectaciones por patógenos o fenómenos meteorológicos.

Each treatment included four repetitions for a total of 48 trays, which were placed at random on one of the tables at the center of the production area in order to minimize edge effects. The total number of plants produced was 3 696.

### Production management

Chemical pruning of the side roots previously to the filling of the trays with the substrates was promoted through the impregnation of the inner walls of the cavities with a 7 % copper hydroxide solution, which has been used at the nursery since 2010. Particles with a diameter of over 10 mm were eliminated from the substrates. The seeds were soaked in water during 8 hours, disinfected in a commercial 5 % hydrogen peroxide solution for 20 min, and impregnated with a dose of 3 g kg<sup>-1</sup> of Bactiva<sup>®</sup> (*Basilus* spp. and *Trichoderma* spp.) in order to prevent the development in the plants of fungal pathogens such as *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp. and *Phyitium* spp.

Two seeds were planted in each cavity in the third week of September, 2013. The 50 % shade mesh cover was kept spread over the production area in order to protect the plants from the moment of planting to the month of April, 2014. During the development of the plant, no damages caused by pathogens or meteorological phenomena were registered.

## Insumos y variables evaluadas

Sustratos. En el Laboratorio de Física de Suelos del Colegio de Postgraduados se evaluaron las propiedades físicas y químicas de cada sustrato, con tres repeticiones para las siguientes propiedades: diámetro medio de las partículas (DMP), mediante el cernido de muestras de 500 g de sustrato durante 3 min, en un agitador mecánico con tamices de 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.4, 4.8, 6.4 y 10 mm de diámetro; densidad aparente (DA), al dividir el peso seco de muestras de 1 L de sustrato (secado en horno eléctrico marca Riossa, modelo OHF-125 durante 24 h, a 70 °C) entre su volumen aparente; porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA) y porosidad de retención de agua (PRA), con el procedimiento de recipientes de 1 L descrito por Landis *et al.* (1990); pH y conductividad eléctrica (CE) en muestras de 100 mL de sustrato disuelto en 100 mL de agua destilada, con 24 h de reposo; los contenidos de materia orgánica (MO), C, N, y la relación C:N, se determinaron conforme a los procedimientos descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (Semarnat, 2002).

## Características morfológicas de las plantas

La evaluación de las plantas se realizó durante la tercera semana de julio de 2014, diez meses después de la siembra (Figura 1).

## Assessed material inputs and variables

Substrates. The physical and chemical properties of each substrate were assessed at the Soil Physics Laboratory of the *Colegio de Postgraduados*, with three repetitions for the following properties: mean diameter of the particles (MDP), estimated by sifting 500 g samples of the substrate during 3 min in a mechanical stirrer with 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.4, 4.8, 6.4 and 10 mm diameter sieves; apparent density (AD), obtained by dividing the dry weight of 1 L substrate samples (dried in a Riossa OHF-125 electric oven at 70 °C during 24 h) by their apparent volume; total porosity (TP), aeration porosity (AP) and water retention porosity (WRP), with the 1 L container procedure described by Landis *et al.* (1990); pH and electrical conductivity (EC) in 100 mL samples of substrate dissolved in 100 mL of distilled water, with 24 h repose; organic matter contents (OM), C, N and the C:N ratio, were determined according to the procedures described in the Mexican Official Norm NOM-021-SEMARNAT-2000 (Semarnat, 2002).

## Morphological characteristics of the plant

The evaluation of the plants was carried out during the third week of July, 2014, ten months after planting (Figure 1).

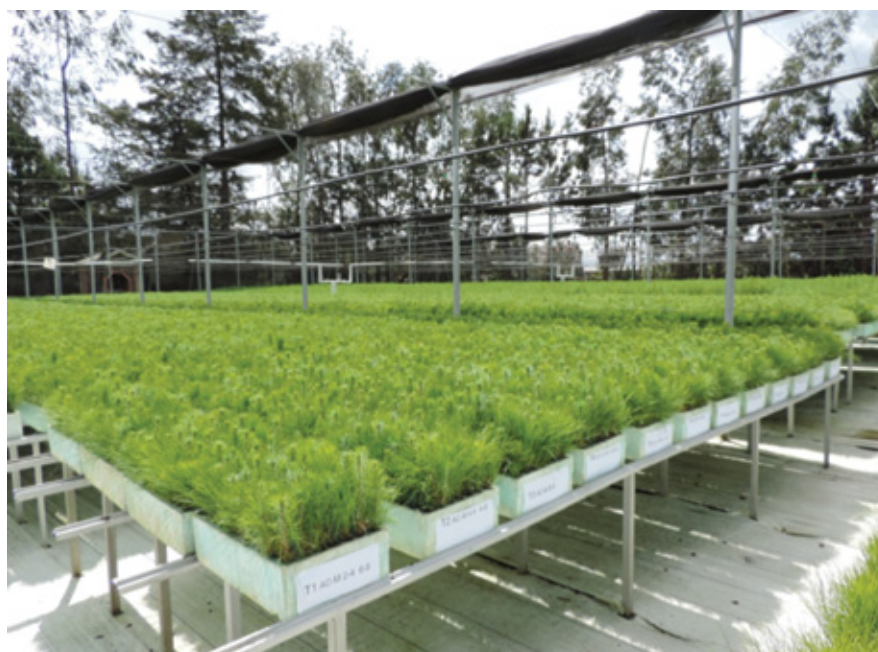


Figura 1. Área de producción, tratamientos y repeticiones con planta de *Pinus pseudostrobus* Lindl., diez meses después de la siembra.

Figure 1. Production area, treatments and repetitions with *Pinus pseudostrobus* Lindl. plants ten months after planting.

De la parte central de cada charola se extrajeron, en forma aleatoria, 20 plantas, lo que sumó 80 individuos por tratamiento. A estas se les determinaron las variables: diámetro del tallo (D); altura de la parte aérea (A); peso seco radicular (PSR) y peso seco aéreo (PSA). Con una báscula analítica (OHAUS, modelo Galaxy® 200), previa deshidratación de las plantas en un horno eléctrico (Riossa, modelo OHF-125) a 70 °C, durante 72 h; se determinó el peso seco total (PST); relación PSA / PSR; y el índice de calidad de Dickson (ICD), obtenido con la ecuación (Dickson *et al.*, 1960):

$$[(PST / (A / D) + (PSA / PSR)]$$

## Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial  $2 \times 2 \times 3$ , consistente en dos sustratos, dos FLC y tres combinaciones de tiempos de liberación de cada fertilizante. Se usó el modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

- A = Sustrato
- B = Fertilizante
- C = Las combinaciones de tiempos de liberación de los fertilizantes
- $\epsilon$  = Error experimental

Los valores de respuesta se sometieron a un análisis de varianza y a una comparación de medias, mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); asimismo, se determinó el efecto de las interacciones entre los sustratos, los fertilizantes y las combinaciones de tiempos de liberación de nutrientes, con el software estadístico *InfoStat*® versión 2016 (Di Rienzo *et al.*, 2016).

## Resultados y Discusión

### Propiedades físicas y químicas de los sustratos

Los valores calculados para las propiedades físicas y químicas de los sustratos están dentro de los intervalos sugeridos por diversos autores para la producción de planta en charolas (Landis *et al.*, 1990; Mathers *et al.*, 2007; Prieto *et al.*, 2009), con excepción de la relación C:N, la cual tuvo valores altos en los dos sustratos, principalmente en el S2 elaborado con aserrín fresco de pino (Cuadro 2).



20 plants were extracted at random from the central part of each tray, adding up to a total of 80 individuals per treatment. Their following variables were determined: stem diameter (D); height of the aerial part (A); dry root weight (DRW) and dry aerial weight (DAW). Using a (OHAUS, Galaxy® 200) analytical balance after having dehydrated the plants in a (Riossa OHF-125) electric oven at 70 °C for 72 h, the total dry weight (TDW), the DAW/DRW ratio, and Dickson's quality index (QI) were determined using the equation (Dickson *et al.*, 1960):

$$[(TDW / (A / D) + (DAW / DRW)]$$

### Experimental design and statistical analysis

A wholly random experimental design with a  $2 \times 2 \times 3$ , factorial arrangement, consisting of two substrates, two CRFs and three combinations of release periods for each fertilizer, was used. The following model was utilized:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Where:

- A = Substrate
- B = Fertilizer
- C = The combinations of release periods of the fertilizers
- $\epsilon$  = Experimental error

The response values were subjected to a variance analysis and a Tukey's mean comparison ( $P \leq 0.05$ ); furthermore, the effect of the interactions between the substrates, the fertilizers and the combinations of nutrient release periods were determined using the 2016 version of the *InfoStat*® statistical software (Di Rienzo *et al.*, 2016).

## Results and Discussion

### Physical and chemical properties of the substrates

The estimated values for the physical and chemical properties of the substrates are within the intervals suggested by various authors for plant production in trays (Landis *et al.*, 1990; Mathers *et al.*, 2007; Prieto *et al.*, 2009), with the exception of the C:N ratio, which had high values in the two substrates, particularly in S2 made with fresh pine sawdust (Table 2).

Substrates similar to S2 as to the predominance of fresh pine sawdust over the other material input have proven successful with forest species like *Cedrela odorata* L. (Mateo *et al.*, 2011) and *Pinus greggii* Engelm. (Maldonado *et al.*, 2011). Particularly prominent is a study of *Pinus montezumae* Lamb. plant production with nine substrates (Hernández *et al.*, 2014), in which the best quality was obtained using 60, 20 and 20 % peat moss, perlite and vermiculite (a mixture traditionally used in nurseries); 70, 10,

Cuadro 2. Características fisicoquímicas de los sustratos utilizados en la producción de planta de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en charolas de poliestireno.

S	DMP (mm)	PT (%)	PA (%)	PRA (%)	C:N	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )
S1	1.19	80	21	59	252	4.8	0.05
S2	1.27	82	27	65	587	4.3	0.03
RV	0.8 a 6.0	60 a 80	15 a 35	25 a 55	<140	5 a 6.5	<1.0

Table 2. Physical-chemical characteristics of the substrates utilized in the production of *Pinus pseudostrobus* Lindl. plants in polystyrene trays.

S	MWD (mm)	TP (%)	AP (%)	WRP (%)	C:N	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )
S1	1.19	80	21	59	252	4.8	0.05
S2	1.27	82	27	65	587	4.3	0.03
RV	0.8 a 6.0	60 a 80	15 a 35	25 a 55	<140	5 a 6.5	<1.0

Sustratos similares al S2, en cuanto a la predominancia del aserrín fresco de pino sobre los otros insumos, se han probado con éxito en especies forestales como *Cedrela odorata* L. (Mateo *et al.*, 2011) y *Pinus greggii* Engelm. (Maldonado *et al.*, 2011). De manera especial, destaca un estudio de producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb. con nueve sustratos (Hernández *et al.*, 2014), en el cual la mejor calidad se produjo en: turba de musgo, perlita y vermiculita, 60, 20 y 20 % (mezcla tradicional en los viveros); aserrín fresco de pino, corteza compostada de pino, perlita y vermiculita, 70, 10, 10 y 10 %; y aserrín fresco de pino, turba de musgo, perlita y vermiculita, 70, 10, 10 y 10 %. Esta última se emplea desde 2003 en diversos viveros del estado de Puebla y otras entidades del centro del país.

### Variables morfológicas

Los valores promedio de las variables morfológicas evaluadas fueron estadísticamente iguales en ambos sustratos, con excepción de la variable PSR, en la que el sustrato S2 (con aserrín fresco) fue superior ( $p < 0.0451$ ) al S1 (con aserrín intemperizado), debido, en parte, a que en el S2 se observaron más micorrizas. Los tratamientos con fertilizante Osmocote Plus® presentaron

10 and 10 % fresh pine sawdust, composted pine bark, perlite and vermiculite, and 70, 10, 10 and 10 % fresh pine sawdust, peat moss, perlite and vermiculite. The third mixture has been utilized since 2003 in various nurseries of the state of Puebla and in other states of central Mexico.

### Morphological variables

The average values of the assessed morphological variables were statistically equal in both substrates, with the exception of the DRW variable, for which the S2 substrate (with fresh sawdust) had a higher value (of  $p < 0.0451$ ) than S1 (with weathered sawdust), partly because a larger amount of micorrhizae was observed in S2. Treatments with the Osmocote Plus® fertilizer had higher values than with Multicote® for all the variables, except height (H), in which Multicote® surpassed Osmocote Plus®; this may be ascribed to the fact that Multicote® contains 3 % more nitrogen than Osmocote Plus®. The higher effectiveness of Osmocote Plus® in most of the measured variables is due to the fact that this fertilizer includes better balanced contents of N, P and K, more in keeping with the needs of the species. In particular, it contains 3 % more phosphorus than Multicote®, as stated in a study on root



cifras más altas que cuando se usó Multicote® en todas las variables, excepto en la altura (A) en la que el Multicote® fue mayor ( $p < 0.0003$ ); lo que es atribuible a que el Multicote® contiene 3 % más cantidad de nitrógeno que el Osmocote Plus®. La eficiencia de Osmocote Plus® en la mayoría de las variables medidas, se explica en el hecho de que este fertilizante incluye contenidos de N, P, K más equilibrados y acordes a las necesidades de la especie; en particular, tiene 3 % más de fósforo que el Multicote®, lo cual coincide con un estudio sobre potencial de crecimiento radical en *Pinus halepensis* Miller (Oliet et al., 2003), en el que se probaron tres formulaciones de Osmocote Plus® (9N - 13P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 18K<sub>2</sub>O; 17N - 10P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 10K<sub>2</sub>O y 15N - 8P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 11K<sub>2</sub>O); de ellas, la primera presentó diferencias significativas en la emisión de raíces nuevas, en más de 50 %, respecto a las raíces formadas en los tratamientos con las formulaciones bajas en fósforo.

Los tratamientos 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10 y 11, en los que se combinaron fertilizantes con diferentes periodos de liberación de nutrimentos (I y II), evidenciaron diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) en las variables ICD y PSR y PSA/PSR, respecto a los tratamientos 3, 6, 9 y 12, en los que se usó un solo período de liberación (III). La combinación de FLC con diferentes periodos de liberación permitió aumentar la disponibilidad de nutrimentos, lo cual se tradujo en planta con variables morfológicas más equilibradas, en comparación con las producidas con FLC de un solo periodo de liberación. Los mejores valores fueron, en orden deacreciente para las combinaciones de fertilizantes II, I y III, respectivamente. En promedio, el tratamiento 11 mostró los mejores valores y los más bajos se registraron en los tratamientos 9 y 12 (Cuadro 3).

growth potential in *Pinus halepensis* Miller (Oliet et al., 2003), in which three Osmocote Plus® formulas were tried: (9N - 13P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 18K<sub>2</sub>O; 17N - 10P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 10K<sub>2</sub>O and 15N - 8P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 11K<sub>2</sub>O). Of these, the first showed significant differences in the emission of new roots, which surpassed the emission of roots with low phosphorus formulas by 50 %.

Treatments 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10 and 11, in which fertilizers with different nutrient release periods (I and II) were combined, evidenced significant differences ( $p < 0.0001$ ) in the QI and DRW and DAW/DRW variables with respect to treatments 3, 6, 9 and 12, in which a single nutrient release period (III) was used. The combination of CRFs with different release periods made it possible to increase the availability of nutrients, which resulted in plants with better balanced morphological variables than those produced with CRFs with a single nutrient release period. The best values were, in descending order, for fertilizer combinations II, I and III, respectively. In average, treatment 11 showed the most appropriate values, and the lowest were obtained with treatments 9 and 12 (Table 3).

The two treatments produced plants with a mean diameter above 5 mm and a height of 22 to 25.5 cm (Table 3). These data are within the intervals established for *Pinus pseudostrabus* in the *Norma Mexicana para la Certificación de la Operación de Viveros Forestales* (Mexican Official Norm for the Operational Certification of Forest Nurseries) NMX-AA-170-SCFI-2014 (SE, 2014), which establishes a minimum diameter of 4 mm and a height of 20 to 25 cm. Therefore, it can be concluded that good quality plants were obtained with all the treatments.

Cuadro 3. Valores promedio por tratamiento para las variables morfológicas de las plantas de *Pinus pseudostrabus* Lindl., diez meses después de la siembra.

T	S	F	C	D (mm)	A (cm)	PSA (g)	PSR (g)	PSA / PSR	ICD
1		M	I	5.61a	22.13cd	4.36a	1.29d	3.47cd	0.78bcde
2		M	II	5.33ab	23.36bc	4.15a	1.51abc	2.80ab	0.80abcde
3	SI	M	II	5.33ab	23.43b	4.26a	1.31d	3.33bcd	0.74cde
4		O	I	5.51ab	24.26ab	4.38a	1.44bcd	3.12abc	0.79abcde
5		O	II	5.47ab	22.09cd	4.72a	1.55ab	3.09abc	0.90ab
6		O	III	5.43ab	24.03ab	4.43a	1.35cd	3.31abcd	0.75cde

Continúa Cuadro 3..



Continúa Cuadro 3..

T	S	F	C	D (mm)	A (cm)	PSA (g)	PSR (g)	PSA / PSR	ICD
7		M	I	5.11b	23.18bcd	4.36a	1.55ab	2.85ab	0.82abcd
8		M	II	5.20ab	25.49a	4.31a	1.43bcd	3.28abcd	0.71de
9	S2	M	III	5.26ab	24.43ab	4.27a	1.26d	3.70d	0.68e
10		O	I	5.65a	23.31bcd	4.44a	1.52abc	3.09abc	0.85abc
11		O	II	5.56ab	22.09cd	4.42a	1.62a	2.77a	0.91a
12		O	III	5.26ab	24.43ab	4.27a	1.26d	3.70d	0.69e

T = Tratamiento; S = Sustrato; F = Fertilizante; C = Combinación de períodos de liberación de nutrientes; D = Diámetro del tallo; A = Altura de la planta; PSA = Peso seco aéreo; PSR = Peso seco radicular; PSA / PSR = Relación peso seco aéreo entre peso seco radicular; ICD = Índice de calidad de Dickson; S1 = Aserrín de pino intemperizado, corteza compostada de pino, turba de musgo y vermiculita, 60, 15, 15 y 10 %; S2 = Aserrín fresco de pino, corteza compostada de pino, turba de musgo y vermiculita, 60, 15, 15 y 10 %.

Table 3. Average values per treatment for the morphological variables of *Pinus pseudostrabus* Lindl. plants, ten months after planting.

T	S	F	C	D (mm)	A (cm)	PSA (g)	PSR (g)	DAW / DRW	QI
1		M	I	5.61a	22.13cd	4.36a	1.29d	3.47cd	0.78bcde
2		M	II	5.33ab	23.36bc	4.15a	1.51abc	2.80ab	0.80abcde
3	S1	M	II	5.33ab	23.43b	4.26a	1.31d	3.33bcd	0.74cde
4			I	5.51ab	24.26ab	4.38a	1.44bcd	3.12abc	0.79abcde
5			II	5.47ab	22.09cd	4.72a	1.55ab	3.09abc	0.90ab
6			III	5.43ab	24.03ab	4.43a	1.35cd	3.31abcd	0.75cde
7		M	I	5.11b	23.18bcd	4.36a	1.55ab	2.85ab	0.82abcd
8		M	II	5.20ab	25.49a	4.31a	1.43bcd	3.28abcd	0.71de
9	S2	M	III	5.26ab	24.43ab	4.27a	1.26d	3.70d	0.68e
10		O	I	5.65a	23.31bcd	4.44a	1.52abc	3.09abc	0.85abc
11		O	II	5.56ab	22.09cd	4.42a	1.62a	2.77a	0.91a
12		O	III	5.26ab	24.43ab	4.27a	1.26d	3.70d	0.69e

T = Treatment; S = Substrate; F = Fertilizer; C = Combined nutrient release periods; D = Stem diameter; H = Height of the plant; DAW = Dry aerial weight; DRW = Dry root weight; DAW / DRW = Dry aerial weight / dry root weight ratio; QI = Dickson's quality index; S1 = 60, 15, 15 and 10 % weathered pine sawdust, composted pine bark, peat moss and vermiculite; S2 = 60, 15, 15 and 10 % fresh pine sawdust, composted pine bark, peat moss and vermiculite.



En los 12 tratamientos se produjo planta con diámetro medio superior a 5 mm y altura de 22 a 25.5 cm (Cuadro 3), datos que están dentro de los intervalos establecidos para *Pinus pseudostrabus* en la Norma Mexicana para la Certificación de la Operación de Viveros Forestales NMX-AA-170-SCFI-2014 (SE, 2014), en la cual se establece un diámetro mínimo de 4 mm y una altura de 20 a 25 cm. Por lo anterior, se concluye que con todos los tratamientos se obtuvo planta de buena calidad.

En otro esquema de calificación, Prieto y Sáenz (2011) proponen un conjunto de parámetros para calificar la calidad de la planta de los pinos nativos de la Sierra Madre Occidental, entre ellos *Pinus pseudostrabus* y otras especies no cespitosas. Los autores consideran como planta de alta calidad para reforestación, aquella cuyas variables morfológicas se ubiquen en los siguientes intervalos: altura, 15 a 25 cm; diámetro,  $\geq 4$  mm; relación peso seco aéreo / peso seco radical, de 1.5 a 2.5; índice de calidad de Dickson  $\geq 0.5$ . En el presente trabajo, las variables tuvieron esos valores, con excepción de los calculados para PSA / PSR, los cuales resultaron mayores en todos los tratamientos, con cifras de 2.7 a 3.7.

Los valores, aparentemente altos, para la variable PSA / PSR se explican porque la planta se produjo en charolas de poliestireno con cavidades impregnadas con sales de cobre, lo cual contribuyó a generar sistemas radicales con un eje central y raíces primarias y secundarias delgadas, menores de 0.5 mm de diámetro y de 3 cm de largo, con bajo peso seco (Figura 2).

In another rating system, Prieto and Sáenz (2011) propose a set of parameters to rate the plant quality of the native pines of the Sierra Madre Occidental, including *Pinus pseudostrabus* and other non-cespitosous species. The authors consider plants with morphological variables within the following intervals as high-quality plants for reforestation purposes: height, 15 to 25 cm; diameter,  $\geq 4$  mm; dry aerial weight / dry root weight ratio of 1.5 to 2.5;  $\geq 0.5$  Dickson's quality index. In the present study, the variables have these values, with the exception of the values estimated for DAW / DRW, which were higher in all the treatments, reaching figures of 2.7 to 3.7.

The apparently high values for the DAW / DRW variable can be accounted for by the fact that the plant was produced in polystyrene trays with cavities impregnated with copper salts, which contributed to generate root systems with a central axis and thin primary and secondary roots with a diameter of less than 0.5 mm and a length of 3 cm, with a low dry weight (Figure 2).

When the root ball of the plants is longitudinally sectioned, the architecture of the root resembles the spine of a fish, without enveloping or ascending roots, unlike individuals of other pine taxa produced in trays with cavities without treatment or not designed to propitiate chemical or aerial root pruning. Three plant quality assessment studies carried out in six forest nurseries in the states of Jalisco and Michoacán (Rueda et al., 2010; Sáenz et al., 2010; Sáenz et al., 2014) yielded average



Figura 2. Conformación de la raíz con poda química lateral en las plantas de *Pinus pseudostrabus* Lindl., producidas en charolas de poliestireno.

Figure 2. Conformation of the root with chemical side pruning in *Pinus pseudostrabus* Lindl. plants produced in polystyrene trays.

Al seccionar longitudinalmente el cepellón de las plantas, la arquitectura de la raíz se asemeja a una espina dorsal de pescado, sin raíces envolventes ni ascendentes, como ocurre en individuos de otras taxa de pino producidos en charolas con cavidades, sin tratamiento o diseño para propiciar la poda química o aérea de la raíz. En tres estudios de evaluación de la calidad de planta llevados a cabo en seis viveros forestales de los estados de Jalisco y Michoacán (Rueda *et al.*, 2010; Sáenz *et al.*, 2010; Sáenz *et al.*, 2014), se obtuvieron valores promedio de 2.9 a 4.9 para la variable PSA / PSR en plantas de *Pinus pseudostrabus* en charolas de poliestireno, con cavidades de 160 cm<sup>3</sup> de capacidad e impregnadas con sales de cobre. Sword *et al.* (2011), al evaluar el efecto de la poda química y el tamaño de las cavidades de charolas de poliestireno en la producción de *Pinus palustris* Mill., indican una reducción de 18 % en el peso seco de la raíz de las plantas producidas en charolas con cavidades de 160 cm<sup>3</sup> y poda química, respecto a las cavidades sin poda química.

Con base en los resultados descritos es factible afirmar que los valores, relativamente, bajos en el peso seco de la raíz de las plantas son una condición normal por la poda química de las raíces primarias y secundarias, mas no una característica que implique baja calidad del sistema radical de las plantas.

## Conclusiones

Los sustratos elaborados con aserrín fresco de pino o intemperizado, combinados con Multicote® u Osmocote Plus® con periodos de liberación de nutrimentos de 8 a 9 meses, en dosis de 8 g L<sup>-1</sup> de sustrato son adecuados para producir planta de calidad de *Pinus pseudostrabus*, en charolas de poliestireno de 77 cavidades, con ciclo de producción de 10 meses en vivero.

Con la combinación de los fertilizantes comerciales probados de periodos de liberación de ocho a nueve meses con las de cuatro a seis meses de liberación, se produce planta con características morfológicas de mejor calidad, con respecto al uso tradicional de un fertilizante con un solo periodo de liberación, de ocho a nueve meses.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su reconocimiento al Colegio de Postgraduados por el entrenamiento y al Conacyt por la beca otorgada al primer autor para realizar sus estudios de maestría en ciencias forestales. A la familia Vargas Islas, por su apoyo y facilidades para desarrollar el experimento en el vivero GUMAIR.

values of 2.9 to 4.9 for the DAW / DRW variable in *Pinus pseudostrabus* plants grown in polystyrene trays with 160 cm<sup>3</sup> cavities impregnated with copper salts. Sword *et al.* (2011) assessed the effect of chemical pruning and of the size of the cavities of the polystyrene trays on production (*Pinus palustris* Mill.), and found a reduction of 18 % in the dry weight of the root of plants produced in trays with 160 cm<sup>3</sup> cavities and chemical pruning, compared to the same size cavities but without chemical pruning.

Based on the results described above, it may be said that the seemingly low values for the dry weight of the plant roots are a normal condition due to the chemical pruning of the primary and secondary roots; however, this characteristic is not indicative of low quality of the plants' root system.

## Conclusions

Substrates made with fresh or weathered pine sawdust combined with Multicote® or Osmocote Plus® with 8- to 9-month nutrient release periods in doses of 8 g L<sup>-1</sup> of substrate are adequate to produce high quality *Pinus pseudostrabus* plants in polystyrene trays with 77 cavities, with a 10-month production cycle in the nursery.

The combination of tested commercial fertilizers with eight- to nine-month and with four- to six-month release periods produces plants with higher-quality morphological traits than those grown with the traditional method using a fertilizer with a single, 8- to 9-month release period.

## Acknowledgments

The authors would like to express our gratitude to the Colegio de Postgraduados for the training and to Conacyt for the scholarship granted to the first author to pursue his Master's degree studies in forestry sciences, as well as to the Vargas Islas family for their support and the facilities granted for the development of the experiment at the GUMAIR nursery.

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

## Contributions by author

Manuel Aguilera Rodríguez: literature review, statistical analysis and writing of the manuscript; Arnulfo Aldrete: review and correction of the manuscript; Tomás Martínez Trinidad: review of the manuscript; Víctor Manuel Ordaz Chaparro: review of the manuscript.

*End of the English version*



## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Contribuciones por autor

Manuel Aguilera Rodríguez: revisión de literatura, análisis estadístico y elaboración del documento; Arnulfo Aldrete: revisión y correcciones del documento; Tomás Martínez Trinidad: revisión del documento; Víctor Manuel Ordaz Chaparro: revisión del documento.



## Referencias

- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2014. Objetivo Específico 1 del Monitoreo y Evaluación Complementaria de los Apoyos de Reforestación y Suelos 2012. Guadalajara, Jal., México. pp. 178-187.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). 2014. Normales Climatológicas-Servicio Meteorológico Nacional. [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42&Itemid=75](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75) (28 de febrero de 2014).
- Dickson, A., A. L. Leaf and J. F. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle* 36(1): 10-13.
- Di Rienzo J., A., F. Casanoves, G. Balzarini M., L. González, M. Tablada y W. Robledo C. 2008. InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar> (12 de noviembre de 2014).
- Hernández Z., L., A. Aldrete, V. M. Ordaz C., J. López U. y M. A. López L. 2014. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48 (6): 627-637.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. Mc Donald and J. P. Barnett. 1990. Containers and Growing Media Vol. 2. The Container Tree Nursery Manual. Agric. USDA Forest Service. Washington, DC, USA. Handbook 674. 88 p.
- Landis, T. D. and R. K. Dumroese. 2009. Using polymer-coated controlled-release fertilizers in the nursery and after outplanting. *USDA Forest Service. Winter Forest Nursery Notes*. Washington, DC, USA. pp. 5-12.
- Landis, T. D. and N. Morgan. 2009. Growing media alternatives for forest and native plant nurseries. *U.S. Department of Agriculture, Forest Service Proceedings*. Fort Collins, CO, USA. RMRS-P-58: 26-31.
- Maldonado B., K. R., A. Aldrete, J. López U., H. Vaquera H. y V. M. Cetina A. 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego en vivero. *Agrociencia* 45: 389-398.
- Mateo S., J. J., R. Bonifacio V., S. R. Pérez R., L. Mohedano C. y J. Capulín G. 2011. Producción de *Cedrela odorata* L. en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tépam de Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai* 7: 123-132.
- Mathers, H. M., S. B. Lowe, C. Scagel, D. K. Struve and L. T. Case. 2007. Abiotic factors influencing root growth of woody nursery plants in containers. *HortTechnology* 17(2): 151-162.
- Oliet, J., R. Palanellas, F. Artero, E. Martínez M., L. Álvarez L., R. Alejano y M. López A. 2003. El potencial de crecimiento radical en planta de vivero de *Pinus halepensis* Mill. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 12: 51-60.
- Perry, P. J. 1991. *The Pines of México and Central América*. Timber Press. Portland, OR, USA. 231 p.
- Prieto R., J. A., J. L. García R., J. M. Mejía B., S. Huchín A. y J. L. Aguilar V. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. *Campo Experimental Valle del Guadiana*. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. Durango, Dgo., México. Publicación Especial. Núm. 28. 48 p.
- Prieto R., J. A. y J. T. Sáenz R. 2011. Indicadores de calidad de planta en viveros forestales de la Sierra Madre Occidental. *Libro Técnico Campo Experimental Valle del Guadiana*. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. Durango, Dgo., México. Núm. 3. 210 p.
- Reyes R., J. A. Aldrete, V. M. Cetina A. y J. López U. 2005. Producción de *Pinus pseudostrabus* var. *apulcensis* en sustratos a base de aserrín. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11: 105-110.
- Rose, R., D. L. Haase y E. Arellano. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque* 25: 89-100.
- Rueda S., A., J. D. Benavides S., J. A. Prieto R., J. T. Sáenz R. y G. Orozco G. 2010. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco y Nayarit. *Campo Experimental Centro Altos de Jalisco*. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. INIFAP. Guadalajara, Jal., México. Folleto técnico Núm. 17. 166 p.
- Sáenz R., J. T., F. J. Villaseñor R., H. J. Muñoz F., A. Rueda S. y J. A. Prieto R. 2010. Calidad de planta de tres especies de pino en el clima templado en Michoacán. *Campo Experimental Uruapan*, del Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. INIFAP. Uruapan, Mich., México. Folleto técnico Núm. 17. 41 p.
- Sáenz R., J. T., H. J. Muñoz F., C. M. A. Pérez D., A. Rueda S. y J. Hernández R. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero Morelia, estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5: 90-110.
- Schaefer, K. J. 2009. Growing reforestation conifer stock: utilizing peat/sawdust medium. *USDA Forest Service Proceedings*. Fort Collins, CO, USA. RMRS-P-58. pp. 35-36.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*, 31 de diciembre de 2002. México, D.F., México. Segunda Sección. pp. 1-73.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2014. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2013. México, D.F., México. pp. 9-18.
- Secretaría de Economía (SE). 2014. Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2014. Certificación de la operación de viveros forestales. *Diario Oficial de la Federación*. 22 de septiembre de 2014. México, D.F., México. pp. 11-18.
- Sword S., M. A., S. J. S. Sung and J. D. Haywood. 2011. Longleaf pine root system development and seedling quality response to copper root pruning and cavity size. *South. Journal of Applied Forestry* 35(1): 5-11.
- Zavala Z., D. y R. Hernández C. 2000. Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques* 6: 41-55.

