

CRECIMIENTO DE *Pinus cembroides* ZUCC. EN VIVERO EN DIVERSOS SUSTRATOS Y FERTILIZANTES

NURSERY GROWTH OF *Pinus cembroides* ZUCC. IN DIVERSE SUBSTRATES AND FERTILIZERS

Rosa E. Madrid-Aispuro¹, José Á. Prieto-Ruiz^{2*}, Arnulfo Aldrete³, José C. Hernández-Díaz⁴,
Christian Wehenkel⁴, Jorge A. Chávez-Simental⁴

Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. 34120. Durango, Durango. ²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. 34120. Durango, Durango. (jprieto@ujed.mx). ³Ciencias Forestales, Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados 56230. Montecillo, Estado de México. ⁴Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango. 34120. Durango, Durango.

RESUMEN

Los sustratos a base de aserrín crudo de pino y corteza compostada de pino, con fertilizantes de liberación controlada, son una alternativa para producir planta forestal en vivero. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del sustrato, fertilizante de liberación controlada (FLC) y fertilizante hidrosoluble (FH) en el crecimiento de *Pinus cembroides* Zucc. en vivero. Las mezclas evaluadas fueron corteza compostada de pino (*P. douglasiana* Martínez), aserrín crudo de pino (*P. engelmannii* Carr., *P. cooperi* Blanco y *P. durangensis* Martínez) y turba de musgo (*Sphagnum* sp.): M1 (60:0:40), M2 (35:30:35), M3 (25:50:25), M4 (15:70:15), con tres esquemas de fertilización basados en combinaciones seleccionadas de las dosis 0, 4 y 8 kg m⁻³ de FLC (Multicote®), y 0.0, 0.5 y 1.0 g L⁻¹ de FH (Triple 19° de N, P y K). El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 4 x 3. Las variables evaluadas fueron: altura, diámetro, biomasa total, índice de calidad de Dickson, volumen radical (VR) y concentración de N, P y K en el follaje. La mezcla de sustratos y el esquema de fertilización afectaron significativamente (p ≤ 0.0001) las variables estudiadas. Las plantas con altura y biomasa total mayores, fueron las del tratamiento con 4 kg m⁻³ de FLC más 0.5 g L⁻¹ de FH. El diámetro y los VR mayores se obtuvieron con 8 kg m⁻³ de Multicote®. Los valores inferiores, en la mayoría de las variables, ocurrieron cuando se aplicó sólo aserrín crudo de pino y en mezclas con mayor proporción de aserrín. En los tratamientos que contuvieron FLC y FH se obtuvieron plantas con atributos morfológicos mayores, independientemente del sustrato.

ABSTRACT

Substrates based on raw pine sawdust and composted pine bark, with controlled-release fertilizers, are an alternative for producing forest plants in nurseries. The aim of this study was to evaluate the effect of substrate, controlled-release fertilizer (FLC) and water-soluble fertilizer (FH) on the growth of *Pinus cembroides* Zucc. in nursery. The mixtures evaluated were composted pine bark (*P. douglasiana* Martínez), raw pine sawdust (*P. engelmannii* Carr., *P. cooperi* Blanco and *P. durangensis* Martínez) and peat moss (*Sphagnum* sp.): M1 (60:0:40), M2 (35:30:35), M3 (25:50:25), M4 (15:70:15), with three fertilization schemes based on selected combinations of doses 0, 4 and 8 kg m⁻³ of FLC (Multicote®), and 0.0, 0.5 and 1.0 g L⁻¹ of FH (Triple 19° of N, P and K). The experimental design was completely randomized with a 4 x 3 factorial arrangement. The variables evaluated were: height, diameter, total biomass, Dickson's quality index, root volume (VR) and concentration of N, P and K in the foliage. The mixture of substrates and the fertilization scheme significantly affected (p ≤ 0.0001) the variables studied. The seedlings with greater height and total biomass were those treated with 4 kg m⁻³ FLC plus 0.5 g L⁻¹ FH. The largest diameter and VR were obtained with 8 kg m⁻³ of Multicote®. In most variables, the lower values occurred when only raw pine sawdust was applied and in mixtures with a higher proportion of sawdust. In treatments containing FLC and FH, plants with higher morphological attributes were obtained, regardless of the substrate.

Key words: nutrition, sawdust, pine bark, peat, morphology, plant quality.

* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

Recibido: noviembre, 2018. Aprobado: julio, 2019.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 54: 539-554. 2020.

Palabras clave: nutrición, aserrín, corteza de pino, turba, morfología, calidad de planta.

INTRODUCCIÓN

Pinus cembroides Zucc. es el pino piñonero más abundante y con distribución mayor en el sur de EE.UU., norte y centro de México (Martínez, 1948; Luna *et al.*, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2015). Crece en zonas de transición, entre el matorral xerófilo y los bosques templados (Granados *et al.*, 2015; Rosas *et al.*, 2015), con precipitación anual entre 365 y 450 mm y temperaturas hasta 40 °C (Treviño, 2001; Pompa y Yerena, 2014). La resiliencia que presenta, bajo condiciones de disturbio, lo convierte en una especie viable para reforestaciones en regiones áridas y semiáridas (De los Ríos *et al.*, 2008; Reyes *et al.*, 2013; Granados *et al.*, 2015). La semilla se usa con fines alimenticios, por lo cual tiene alta demanda y valor comercial (Perry, 1991; Farjon *et al.*, 1997); además, la madera se aprovecha para obtener leña y para la construcción (Gutiérrez *et al.*, 2015).

Ante el aumento de la demanda por servicios y productos forestales, la producción de planta en vivero se ha enfocado principalmente a especies nativas; además, el uso de planta de calidad tiene mejores tasas de supervivencia y crecimiento donde se planta (Bautista *et al.*, 2005; Davis y Jacobs, 2005; Carpenedo *et al.*, 2016; Robles *et al.*, 2017). Lo anterior implica desarrollar sistemas de producción innovadores que optimicen los insumos para favorecer la calidad de la planta en vivero, aspectos donde destacan los sustratos y los fertilizantes, los cuales sirven de soporte a las plantas, son el medio a través del cual absorben el agua y proveen los nutrimentos para su crecimiento (Navarro *et al.*, 2013).

Para elegir el sustrato a utilizar se deben considerar aspectos diversos y entre ellos destacan sus características físicas y químicas; además, considerar su costo y disponibilidad (Martínez y Soriano, 2014). En México, los sustratos más utilizados están compuestos por la mitad o más del componente turba de musgo, combinado con vermiculita y agrolita, conocida como mezcla base (Sánchez *et al.*, 2008); sin embargo, con el paso del tiempo el uso de dichos materiales ha disminuido, debido al costo elevado (Maldonado *et al.*, 2011) y a consideraciones medioambientales al obtenerse de bancos de extracción de materiales (Mañas *et al.*, 2009; Buendía *et al.*,

INTRODUCTION

Pinus cembroides Zucc. is the most abundant and widely distributed stone pine in the southern USA, northern and central Mexico (Martínez, 1948; Luna *et al.*, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2015). It grows in transition areas, between xerophytic scrub and temperate forests (Granados *et al.*, 2015; Rosas *et al.*, 2015), with annual rainfall between 365 and 450 mm and temperatures up to 40 °C (Treviño, 2001; Pompa and Yerena, 2014). Its resilience under disturbance conditions makes it a viable species for reforestation in arid and semi-arid regions (De los Ríos *et al.*, 2008; Reyes *et al.*, 2013; Granados *et al.*, 2015). The seed is used for food purposes, which is why it has high demand and commercial value (Perry, 1991; Farjon *et al.*, 1997); in addition, the wood is used for firewood and for construction (Gutiérrez *et al.*, 2015).

Given the increased demand for forest services and products, nursery plant production has focused mainly on native species; furthermore, the use of quality plants has better survival and growth rates where they are planted (Bautista *et al.*, 2005; Davis and Jacobs, 2005; Carpenedo *et al.*, 2016; Robles *et al.*, 2017). This implies developing innovative production systems that optimize inputs to favor the quality of the plant in nursery, aspects where the substrates and fertilizers, which serve as support for the seedlings, are the means through which they absorb water and provide nutrients for their growth (Navarro *et al.*, 2013).

In order to choose the substrate to be used, various aspects must be considered, including its physical and chemical characteristics, cost and availability (Martínez and Soriano, 2014). In Mexico, the most commonly used substrates are composed of half or more of the peat moss component, combined with vermiculite and agrolite, known as base mix (Sánchez *et al.*, 2008). However, over time the use of these materials has decreased, due to the high cost (Maldonado *et al.*, 2011) and environmental considerations when obtained from material extraction banks (Mañas *et al.*, 2009; Buendía *et al.*, 2016). Sawdust and pine bark are materials that can be used as part of the substrate because they have successful results in the production of *P. montezumae* Lamb. (Hernández *et al.*, 2014; Aguilera *et al.*, 2016a), *P. greggii* var. *australis* (Castro *et al.*, 2018)

2016). El aserrín y la corteza de pino son materiales que pueden utilizarse como parte del sustrato porque han tenido resultados exitosos en la producción de planta de *P. montezumae* Lamb. (Hernández *et al.*, 2014; Aguilera *et al.*, 2016a), *P. greggii* var. *australis* (Castro *et al.*, 2018) y *P. cooperi* Blanco (González *et al.*, 2018); en particular, el aserrín se proyecta como una alternativa viable por su abundancia y creciente producción a largo plazo (Isogis Corp, 2010).

Después del riego, la fertilización es la práctica cultural más importante en los viveros forestales (Bustos *et al.*, 2008), porque influye en el crecimiento de las partes aérea y radical de la planta (Navarro *et al.*, 2013). Cada especie responde de manera diferente a la adición de nutrientes (Escamilla *et al.*, 2015), y su eficiencia depende del tipo de fertilizante y dosis aplicadas. De acuerdo con Rose *et al.* (2004) y Bustos *et al.* (2008), el uso de fertilizantes de liberación controlada en forma de gránulos, incorporados durante la preparación del sustrato con diferentes formulaciones de nitrógeno, fósforo y potasio (N, P y K) y tiempos de liberación, mejora la eficiencia del proceso de nutrición. Estos productos presentan ventajas con respecto a los fertilizantes hidrosolubles por la forma de suministrar nutrientes a una tasa que coincida con la demanda de la planta, de tal forma que el N asimilable por las plantas se libera lentamente, en períodos de tiempo prolongados y minimiza las pérdidas por lixiviación.

Debido a la importancia del sustrato y la fertilización en la calidad de planta, la hipótesis de este estudio fue que al menos una mezcla de sustratos en combinación con esquemas de fertilización, favorece el crecimiento morfológico de las plantas. El objetivo fue evaluar el efecto de cuatro mezclas de sustrato, a base de aserrín crudo de pino, corteza compostada de pino y turba de musgo, y de tres esquemas de fertilización, con un nivel mínimo, un medio y un máximo, en el crecimiento de *P. cembroides* Zucc. en vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el vivero forestal “General Francisco Villa”, en el ejido 15 de Septiembre, municipio de Durango,

and *P. cooperi* Blanco (González *et al.*, 2018); in particular, sawdust is projected as a viable alternative because of its abundance and growing production in the long term (Isogis Corp, 2010).

After irrigation, fertilization is the most important cultural practice in forest nurseries (Bustos *et al.*, 2008), because it influences the growth of the plant, both of its aerial and root parts (Navarro *et al.*, 2013). Each species responds differently to the addition of nutrients (Escamilla *et al.*, 2015), and its efficiency depends on the type of fertilizer and dosage applied. According to Rose *et al.* (2004) and Bustos *et al.* (2008), the use of controlled-release fertilizers in the form of granules incorporated during the preparation of the substrate with different formulations of nitrogen, phosphorus and potassium (N, P and K) and release times, improves the efficiency of the nutrition process. These products have advantages over water-soluble fertilizers because they supply nutrients at a rate that coincides with plant demand, so that the nitrogen that can be assimilated by the plants is released slowly, over long periods of time, and leaching losses are minimized.

Due to the importance of substrate and fertilization in plant quality, the hypothesis of this study was that at least a mixture of substrates in combination with fertilization schemes, favors the morphological growth of the seedlings. The objective was to evaluate the effect of four substrate mixtures, based on raw pine sawdust, composted pine bark and peat moss, and three fertilization schemes, with a minimum, a medium and a maximum level, on the growth of *P. cembroides* Zucc. in nursery.

MATERIALS AND METHODS

Area of study

The study was conducted at the “General Francisco Villa” forest nursery, at the 15 de Septiembre ejido, municipality of Durango, Durango, Mexico (23° 58' 20.38" N, 104° 35' 55.83" W and 1875 masl). The plant was produced in a greenhouse covered with 720 caliber polyethylene plastic, treated against ultraviolet rays and with shade cloth at 70%; inside, average minimum temperatures of 3 °C and maximum temperatures of 40 °C were recorded, while the average relative humidity was 70%. The average light intensity was 370 klx.

Durango, México (23° 58' 20.38" N, 104° 35' 55.83" O y 1 875 msnm). La planta se produjo en un invernadero cubierto con plástico de polietileno calibre 720, tratado contra rayos ultravioleta y con malla sombra al 70%; al interior se registraron temperaturas promedio mínimas de 3 °C y máximas de 40 °C, mientras que la humedad relativa promedio fue 70%. La intensidad de luz promedio fue 370 klx.

Producción de planta

Siembra

Ante la carencia de rodales semilleros establecidos, la semilla se recolectó en un rodal natural, en el municipio de Durango. Para uniformizar y acelerar el inicio de la germinación, las semillas se pusieron en remojo 24 h en agua a 25 °C y se desinfectaron 10 min en una solución con 90% de agua y 10% de cloro comercial. Después se colocaron en papel absorbente y una vez semisecas, la testa se impregnó con fungicida Tecto®60 (Tia-bendazol: 2-(4-tiazolil)-1H-benzimidazol) para evitar daños por *Damping off* (Prieto *et al.*, 2009). La siembra en almácigo se hizo en una mezcla de corteza compostada de pino y turba de musgo (50:50), sustrato común en esas proporciones en el norte de México, tanto para reproducir planta en almácigo como en envase (González *et al.*, 2018). Cuatro semanas después, 4620 plántulas se trasplantaron en charola de poliestireno de 77 cavidades con capacidad de 170 mL por cavidad.

Sustratos

Los materiales evaluados fueron corteza compostada de pino (*P. douglasiana*) (CC), aserrín crudo de pino (*P. engelmannii*, *P. cooperi* y *P. durangensis*) (AS) y turba de musgo (*Sphagnum* sp.) (TM); los dos primeros son materiales de uso amplio en los viveros forestales de México, al estar disponibles en abundancia y de costo bajo; además, mezclados poseen las características físicas de porosidad para utilizarse como sustratos (Aguilera *et al.*, 2016b). Con esos materiales se prepararon cuatro mezclas con cuatro proporciones de CC, AS y TM: M1) 60:0:40, M2) 35:30:35, M3) 25:50:25, y M4) 15:70:15; la mezcla M1 fue tratamiento testigo porque se usa en viveros. El porcentaje de los materiales evaluados se definió con base en experiencias previas en otras especies del género *Pinus*, y se cuidó que cumplieran con los criterios de porosidad total, porosidad de aireación y capacidad de retención de humedad recomendados por Landis (1990).

Fertilizante

El fertilizante fue de liberación controlada Multicote 8° (18-06-12, N-P-K), en dosis de 0, 4 y 8 kg m⁻³, usados en la producción

Seedling production

Seeding

Due to the lack of established seed areas, the seed was collected in a natural area, in the municipality of Durango. In order to standardize and accelerate the start of germination, the seeds were soaked 24 h in water at 25 °C and disinfected 10 min in a solution with 90% water and 10% commercial chlorine. They were then placed on absorbent paper and once semi-dry, the seed coat was impregnated with Tecto®60 fungicide (Thiabendazole: 2-(4-tiazolyl)-1H-benzimidazole) to avoid damage by *Damping off* (Prieto *et al.*, 2009). The sowing in seedbed was done in a mixture of composted pine bark and peat moss (50:50), a common substrate with those proportions in northern Mexico, both to reproduce the seedling in seedbed and container (González *et al.*, 2018). Four weeks later, 4620 seedlings were transplanted into a 77-cavity polystyrene tray with a capacity of 170 mL per cavity.

Substrates

The materials evaluated were composted pine bark (*P. douglasiana*) (CC), raw pine sawdust (*P. engelmannii*, *P. cooperi* and *P. durangensis*) (AS) and peat moss (*Sphagnum* sp.) (TM); the first two are materials widely used in forest nurseries in Mexico, as they are available in abundance and at low cost; besides, when mixed, they have the physical characteristics of porosity to be used as substrates (Aguilera *et al.*, 2016b). With these materials, four mixtures were prepared with four proportions of CC, AS and TM: M1) 60:0:40; M2) 35:30:35; M3) 25:50:25; and M4) 15:70:15; the M1 mixture was a control treatment because it is used in nurseries. The percentage of materials evaluated was defined based on previous experiences in other species of the *Pinus* genus, and care was taken to ensure that they met the criteria of total porosity, aeration porosity, and moisture retention capacity recommended by Landis (1990).

Fertilizer

The fertilizer was controlled-release Multicote 8° (18-06-12, N-P-K), in doses of 0, 4 and 8 kg m⁻³, used in forest nursery production (Prieto *et al.*, 2009). As they are granulated products, it is necessary to incorporate them during the preparation of the substrate mixtures (Rose *et al.*, 2004). Two months later, based on Landis (1989), the nutrition was complemented with the water-soluble fertilizer (FH) Ultrasol° (19-19-19 of N, P and K) in doses of 0.0, 0.5 and 1.0 g L⁻¹. The fertilization schemes were three combinations of Multicote° and Triple 19° (F1: 8 kg m⁻³ Multicote° + 0.0 g L⁻¹ Triple 19°, F2: 0.0 kg m⁻³ Multicote° + 1.0 g

de planta forestal (Prieto *et al.*, 2009). Al ser productos granulados, es necesario incorporarlos durante la preparación de las mezclas de los sustratos (Rose *et al.*, 2004). Dos meses después, con base en Landis (1989), la nutrición se complementó con el fertilizante hidrosoluble Ultrasol® (19-19-19 de N, P y K) en dosis de 0.0, 0.5 y 1.0 g L⁻¹. Los esquemas de fertilización fueron tres combinaciones de Multicote® y Triple 19® (F1: 8 kg m⁻³ Multicote® + 0.0 g L⁻¹ Triple 19®, F2: 0.0 kg m⁻³ Multicote® + 1.0 g L⁻¹ Triple 19® y F3: 4 kg m⁻³ Multicote® + 0.5 g L⁻¹ Triple 19®). Los FH se aplicaron disueltos en el agua de riego. La humedad se monitoreó mediante el pesaje de una muestra de charolas, y si descendía hasta 75% con respecto al peso de saturación, se regaba a capacidad de campo con una regadera manual de 8 L.

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 4 x 3 (cuatro sustratos y tres esquemas de fertilización) y el modelo fue: $Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$, donde: A es el factor sustrato, B el factor esquema de fertilización y AB la interacción de ambos ($\alpha=0.05$). Los tratamientos fueron 12, derivados de la combinación de cuatro mezclas de sustratos y tres esquemas de fertilización: fertilizante de liberación controlada, fertilizante hidrosoluble y la combinación de ambos (Cuadro 1); cada tratamiento se replicó cinco veces. La unidad experimental fue una charola de 77 plantas y hubo cinco charolas de cada tratamiento y 60 charolas en total, pero debido al efecto de orilla sólo las 45 plantas centrales se consideraron susceptibles de

L⁻¹ Triple 19® and F3: 4 kg m⁻³ Multicote® + 0.5 g L⁻¹ Triple 19®). The FHs were applied dissolved in the irrigation water. Moisture was monitored by weighing a sample of tray, and if it dropped to 75% of the saturation weight, it was irrigated at field capacity with an 8 L hand shower.

Experimental design and treatments

The experimental design was completely randomized with a 4 x 3 factorial arrangement (four substrates and three fertilization schemes) and the model was $Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$, where: A is the substrate factor, B the fertilization scheme factor and AB the interaction of both ($\alpha=0.05$). There were 12 treatments derived from the combination of four substrate mixtures and three fertilization schemes: controlled-release fertilizer, water-soluble fertilizer and the combination of both (Table 1); each treatment was replicated five times. The experimental unit was a 77-plant tray and there were five trays of each treatment and 60 trays in total, but due to the sideways effect only 45 central plants were considered for evaluation. Seedlings were in production for 14 months (August 26, 2016 to October 27, 2017).

Variables evaluated

Seedling sampling and morphologic evaluation

After 14 months of growth, 12 seedlings were randomly extracted from the central part of each tray (60 individuals

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en la producción de planta de *P. cembroides* Zucc. en vivero.
Table 1. Treatments evaluated in the production of *P. cembroides* Zucc. plant in nursery.

T	S	Sustrato			EF	Esquema de fertilización		
		CC (%)	AS (%)	TM (%)		Multicote® (kg m ⁻³)	+	Triple 19® (g L ⁻¹)
T1	M1	60	0	40	F1	8	+	0.0
T2	M1	60	0	40	F2	0	+	1.0
T3	M1	60	0	40	F3	4	+	0.5
T4	M2	35	30	35	F1	8	+	0.0
T5	M2	35	30	35	F2	0	+	1.0
T6	M2	35	30	35	F3	4	+	0.5
T7	M3	25	50	25	F1	8	+	0.0
T8	M3	25	50	25	F2	0	+	1.0
T9	M3	25	50	25	F3	4	+	0.5
T10	M4	15	70	15	F1	8	+	0.0
T11	M4	15	70	15	F2	0	+	1.0
T12	M4	15	70	15	F3	4	+	0.5

T: Tratamiento; S: Sustrato; CC: Corteza compostada de pino; AS: Aserrín crudo de pino; TM: Turba de musgo; EF: Esquema de fertilización ♦ x

x

evaluación. La planta se produjo durante 14 meses (26 agosto de 2016 a 27 de octubre de 2017).

Variables evaluadas

Muestreo y evaluación morfológica de las plantas

Después de 14 meses de crecimiento, se extrajeron en forma aleatoria 12 plantas de la parte central de cada charola (60 individuos por tratamiento). En cada planta se retiró el sustrato mediante un lavado con agua. En la evaluación se midió altura, desde la base del tallo hasta la yema apical (regla graduada modelo PILOT®), diámetro del cuello de la raíz (vernier digital Mitutoyo® modelo CD-6" [AXR]), biomasa aérea, radical y total. Para evaluar la biomasa, la raíz se separó del tallo, ambas partes se colocaron en bolsas de papel de estraza y se secaron en un horno (marca Felisa® modelo FE-291D) a 70 °C por 72 h, una vez que se obtuvo peso constante. Después, en una balanza analítica (Ohaus® modelo PA1502 con una precisión de 0.001 g) se registraron los pesos secos y se calculó el índice de calidad de Dickson (ICD) (Dickson *et al.*, 1960):

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco parte aérea (g)}}{\text{Peso seco raíz (g)}}}$$

El volumen de la raíz se determinó con base en el principio de Arquímedes (Harrington *et al.*, 1994), con una balanza analítica (VELAB™ modelo VE-5000, con una precisión de 0.01 g) y un vaso de precipitado con agua arriba de la báscula. Las raíces se sumergieron en el agua, sin tocar las paredes del vaso, lo que permitió registrar el aumento de peso (g), que equivale al volumen de la raíz (mL).

Concentración nutrimental foliar

Para cuantificar la concentración de N, P y K en follaje, de la sección media de cada planta se extrajeron acículas hasta completar 5 g por repetición (tres repeticiones por tratamiento), y se colocaron en bolsas de papel estraza. Los análisis se realizaron en el laboratorio del CENID-RASPA del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. La concentración de nitrógeno se determinó por el método Micro-Kjeldahl, la concentración de fósforo mediante fotocolorimetría por reducción con Vanadato-Molibdato y el potasio con la lectura directa del digestado en un espectrómetro de absorción atómica (SEMARNAT, 2002).

per treatment). In each seedling the substrate was removed by washing with water. In the evaluation, height was measured from the base of the stem to the apical bud (graduated ruler, model PILOT®), root collar diameter (digital vernier Mitutoyo® model CD-6" [AXR]), as well as aerial, root and total biomass. To evaluate the biomass, the root was separated from the stem, both parts were placed in brown paper bags and dried in an oven (Felisa® brand, model FE-291D) at 70 °C for 72 hours, once constant weight was obtained. Afterwards, the dry weights were recorded on an analytical balance (Ohaus® model PA1502 with an accuracy of 0.001 g) and the Dickson Quality Index (ICD) was calculated (Dickson *et al.*, 1960):

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco parte aérea (g)}}{\text{Peso seco raíz (g)}}}$$

Root volume was determined based on the Archimedes' principle (Harrington *et al.*, 1994), with an analytical balance (VELAB™ model VE-5000, with an accuracy of 0.01 g) and a beaker with water above the scale. The roots were immersed in the water, without touching the walls of the beaker, which allowed recording the weight increase (g), which is equivalent to the root volume (mL).

Foliar nutrient concentration

To quantify the concentration of N, P and K in foliage, needles were extracted from the middle section of each seedling until completing 5 g per replicate (three replicates per treatment) and placed in brown paper bags. The analyses were carried out in the CENID-RASPA laboratory of the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research. The concentration of nitrogen was determined by the Micro-Kjeldahl method, the concentration of phosphorus by means of reduction photochlorimetry with Vanadate-Molybdate and the potassium with the direct reading of the digestate in an atomic absorption spectrometer (SEMARNAT, 2002).

Statistical analysis

For morphological variables, analyses of variance were performed with the SAS ANOVA procedure, version 9.2 (SAS Institute, 2009); in cases with significant differences between treatments, the Tukey's test ($p \leq 0.05$) was used for comparison of means. The effect of fertilization treatments on the nutritional status of plants was evaluated using an ANOVA.

Análisis estadístico

Para las variables morfológicas se realizaron análisis de varianza con el procedimiento ANOVA de SAS versión 9.2 (SAS Institute, 2009); en los casos con diferencias significativas entre tratamientos se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la comparación de medias. El efecto de los tratamientos de fertilización sobre el estado nutrimental de las plantas se evaluó mediante un ANDEVA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estándares morfológicos de calidad de planta

Las mezclas de sustratos y el esquema de fertilización utilizados influyeron ($p \leq 0.05$) en la morfología de las plantas. Además, la interacción de sustratos x esquema de fertilización tuvo efecto significativo ($p \leq 0.0001$) en las variables evaluadas (Cuadro 2).

Los valores mayores de todas las variables se encontraron en los sustratos con proporciones de 50% o menos de aserrín en la mezcla (M1:60:0:40, M2:35:30:35 y M3:25:50:25 de CC:AS:TM, respectivamente) (Cuadro 3). En estas tres mezclas, el Multicote® en dosis de $4 \text{ kg m}^{-3} + 0.5 \text{ g L}^{-1}$ de Triple 19® tuvo mayor efecto en el incremento de la altura y la acumulación de biomasa total de las plantas, mientras que el crecimiento en diámetro y volumen radical fue mayor (3.4 a 4.2 mm y 2.2 a 2.7 mL, respectivamente) cuando sólo se utilizó Multicote®. El tratamiento 9, que es la mezcla M3:25:50:25 con 4 kg m^{-3} de Multicote® + 0.5 g L^{-1} de Triple 19®, produjo una mayor altura (17.1 cm) y más biomasa

RESULTS AND DISCUSSION

Morphological standards of seedling quality

The mixtures of substrates and the fertilization scheme used influenced ($p \leq 0.05$) the morphology of the plants. In addition, the interaction of substrates x fertilization scheme had a significant effect ($p \leq 0.0001$) on the variables evaluated (Table 2).

The highest values of all variables were found on substrates with proportions of 50% or less sawdust in the mixture (M1:60:0:40, M2:35:30:35 and M3:25:50:25 of CC:AS:TM, respectively) (Table 3). In these three mixtures, Multicote® at a dose of $4 \text{ kg m}^{-3} + 0.5 \text{ g L}^{-1}$ of Triple 19® had a greater effect on height increase and total plant biomass accumulation, while growth in diameter and root volume was greater (3.4 to 4.2 mm and 2.2 to 2.7 mL, respectively) when only Multicote® was used. Treatment 9, which is the mixture M3:25:50:25 with 4 kg m^{-3} of Multicote® + 0.5 g L^{-1} of Triple 19®, produced a greater height (17.1 cm) and more total biomass (3.1 g); whereas treatments 10 and 11, with the mixture M4:15:70:15 with 8 kg m^{-3} of Multicote® and 1.0 g L^{-1} of Triple 19®, obtained the lowest values (12.6 and 13.4 cm in height; 2.2 and 2.0 mL in biomass, respectively) (Table 3, Figure 1A, B, C and D). Treatments 10, 11 and 12 are characterized because the substrate contains the highest percentage of sawdust.

In the fertilization scheme factor the values of height and total biomass increased from 15.3 to 17.1 cm and 2.6 to 3.1 g (treatments 3, 6, 9 and 12) with the

Cuadro 2. Valores de p en los análisis de varianza para las variables evaluadas, en respuesta a cuatro sustratos y tres esquemas de fertilización en el crecimiento de *P. cembroides* Zucc. en vivero.

Table 2. P values in the analysis of variance for the variables evaluated, in response to four substrates and three fertilization schemes in the growth of *P. cembroides* Zucc. in nursery.

Variables	Sustrato	Análisis de varianza	
		Esquema de fertilización	Sustrato x Esquema de fertilización
Altura (cm)	0.0001	0.0001	0.0001
Diámetro (mm)	0.0001	0.0005	0.0001
Biomasa total (BT) (g)	0.0001	0.0001	0.0001
Índice de calidad de Dickson	0.0001	0.0025	0.0001
Volumen radical (mL)	0.0001	0.0001	0.0001

Cuadro 3. Valores promedio de variables morfológicas de calidad en *P. cembroides* Zucc. en vivero a los 14 meses.
Table 3. Average values of morphological quality variables in *P. cembroides* Zucc. in nursery at 14 months.

T†	Sustrato	Fertilizante	Altura (cm)	Diámetro (mm)	BT (g)	VR (mL)	ICD
T1	M1	F1	15.6±0.3 abcd	4.2±0.1 a	2.7±0.1 ab	2.5±0.1 abc	0.41±0 a
T2	M1	F2	16.5±0.4 abc	3.9±0.1 abc	2.9±0.1 ab	2.1±0.1 cd	0.39±0 a
T3	M1	F3	16.7±0.4 ab	3.9±0.1 abc	2.7±0.1 ab	2.1±0.1 cd	0.36±0 a
T4	M2	F1	15.0±0.3 de	4.1±0.1 ab	2.5±0.1 bc	2.6±0.1 ab	0.39±0 a
T5	M2	F2	15.0±0.3 de	3.7±0.1 cde	2.7±0.1 ab	2.0±0.1 de	0.35±0 ab
T6	M2	F3	17.0±0.3 a	3.9±0.1 abc	2.9±0.1 ab	2.2±0.1 bcd	0.38±0 a
T7	M3	F1	13.6±0.3 efg	4.0±0.1 ab	2.5±0.1 bc	2.7±0.1 a	0.41±0 a
T8	M3	F2	14.2±0.3 def	3.7±0.1 cde	2.8±0.1 ab	1.9±0.1 de	0.37±0 a
T9	M3	F3	17.1±0.4 a	4.0±0.1 ab	3.1±0.1 a	2.2±0.1 bcd	0.40±0 a
T10	M4	F1	12.6±0.3 g	3.4±0.1 e	2.2±0.1 cd	2.2±0.1 bcd	0.34±0 ab
T11	M4	F2	13.4±0.3 fg	3.4±0.1 e	2.0±0.1 d	1.6±0.1 e	0.27±0 b
T12	M4	F3	15.3±0.3 bcd	3.7±0.1 cde	2.6±0.1 bc	2.0±0.1 de	0.34±0 ab

†T: Tratamiento; M1 (60% corteza compostada de pino y 40% de turba de musgo), M2 (35% corteza compostada de pino, 30% aserrín crudo de pino, 35% turba de musgo), M3 (25 % corteza compostada de pino, 50% aserrín crudo de pino, 25% turba de musgo), M4 (15% corteza compostada de pino, 70% aserrín crudo de pino, 15% turba de musgo). F1) 8 kg m⁻³ Multicote® + 0.0 g L⁻¹ Triple 19®; F2) 0.0 kg m⁻³ Multicote® + 1.0 g L⁻¹ Triple 19®; F3) 4 kg m⁻³ Multicote® + 0.5 g L⁻¹ Triple 19®. BT: Biomasa total; ICD: Índice de Calidad de Dickson; VR: Volumen radical. Valores promedio ± error estándar. Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas (Tukey, p≤0.05) ♦ †T: Treatment. M1: 60% composted pine bark, 40% peat moss; M2: 35% composted pine bark, 30% raw pine sawdust, 35% peat moss; M3: 25% composted pine bark, 50% raw pine sawdust, 25% peat moss; M4: 15% composted pine bark, 70% raw pine sawdust, 15% peat moss). F1: 8 kg m⁻³ Multicote® + 0.0 g L⁻¹ Triple 19®; F2: 0.0 kg m⁻³ Multicote® + 1.0 g L⁻¹ Triple 19®; F3: 4 kg m⁻³ Multicote® + 0.5 g L⁻¹ Triple 19®. BT: Total Biomass; VR: Root Volume; ICD: Dickson Quality Index. Average values ± standard error. Different letters in a column indicate significant differences (Tukey, p≤0.05).

total (3.1 g); en tanto, los tratamientos 10 y 11, con la mezcla M4:15:70:15 con 8 kg m⁻³ de Multicote® y 1.0 g L⁻¹ de Triple 19®, obtuvieron los valores menores (12.6 y 13.4 cm en altura; 2.2 y 2.0 mL en biomasa, respectivamente) (Cuadro 3, Figura 1A, B, C y D). Los tratamientos 10, 11 y 12 se caracterizan porque el sustrato contiene el mayor porcentaje de aserrín.

En el factor esquema de fertilización los valores de altura y biomasa total aumentaron de 15.3 a 17.1 cm y 2.6 a 3.1 g (tratamientos 3, 6, 9 y 12) con la combinación de 4 kg m⁻³ de Multicote® + 0.5 g L⁻¹ de Triple 19®, independientemente de la mezcla de sustratos utilizada. En cambio, en la variable diámetro sobresalieron los tratamientos 1, 4, 7 y 9 (4.2, 4.1, 4.0 y 4.0, respectivamente), asociados con la dosis de 8 kg m⁻³ de Multicote®, excepto el tratamiento 9 formado por la combinación de ambos fertilizantes (Figura 1A, B y C; Cuadro 3).

La combinación de fertilizante de liberación controlada (en dosis de 4 u 8 kg m⁻³) y fertilizante

combination of 4 kg m⁻³ of Multicote® + 0.5 g L⁻¹ of Triple 19®, and regardless of the mixture of substrates used. In contrast, in the diameter variable treatments 1, 4, 7 and 9 (4.2, 4.1, 4.0 and 4.0, respectively) stood out, associated with the 8 kg m⁻³ dose of Multicote®, except for treatment 9 formed by the combination of both fertilizers (Figure 1A, B and C, Table 3).

The combination of controlled-release fertilizer (at a dose of 4 or 8 kg m⁻³) and water-soluble fertilizer, compared to the application of only 1.0 g L⁻¹ of FH, resulted in higher values by providing a permanent supply of nutrients during most of the production stage (14 months), which translated into plants with similar morphological characteristics.

Haase *et al.* (2006) applied controlled-release fertilizer on *Pseudotsuga menziesii*, with better results in height, diameter and stem volume, with increases of 19, 21 and 73%, compared to the plant fed with conventional soluble fertilizer. In our study, with the addition of 8 kg m⁻³ of Multicote® fertilizer the root volume was 41% (T7) higher than the treatment

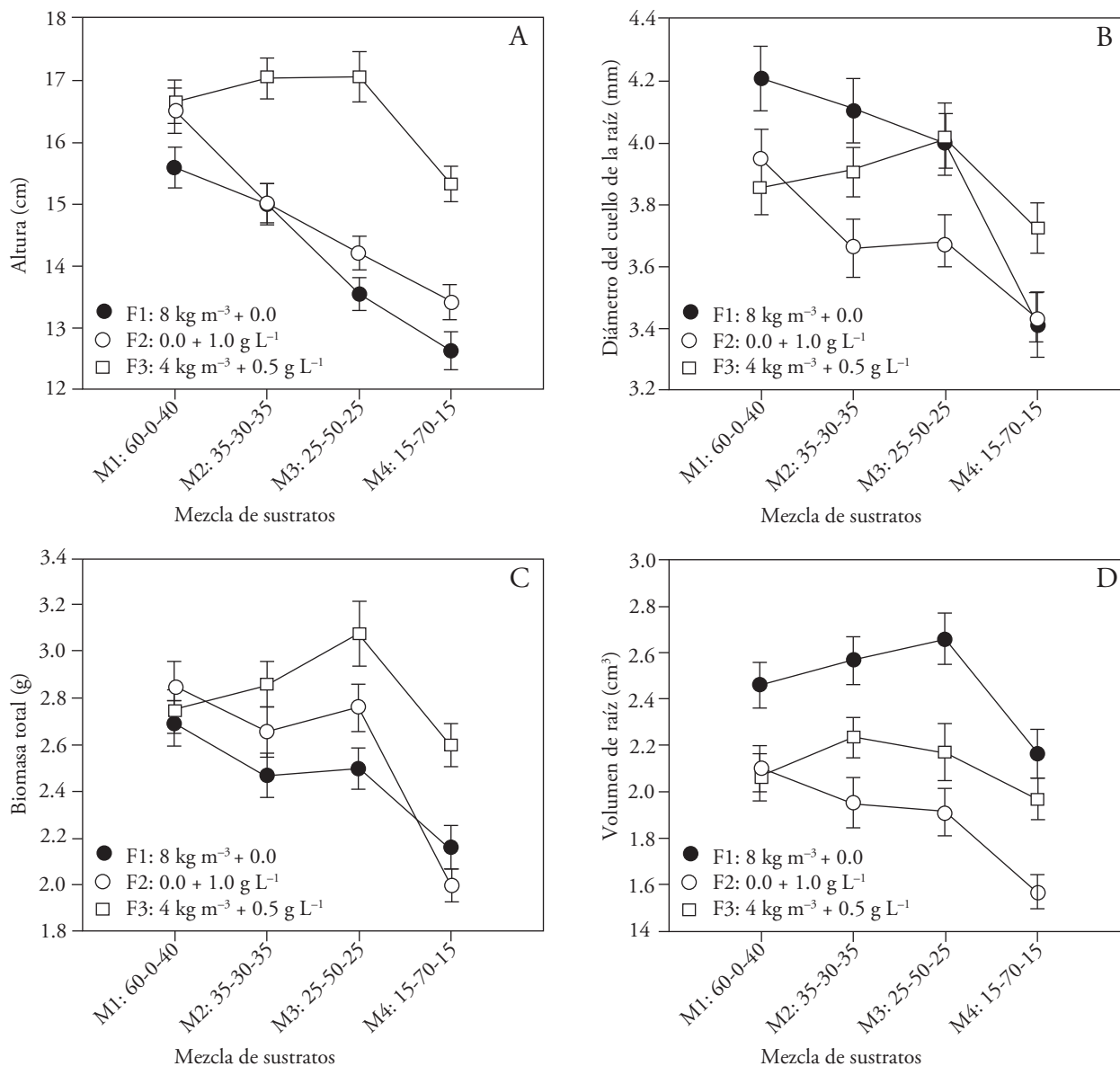


Figura 1. Interacción entre los sustratos y esquemas de fertilización para las variables altura (A), diámetro del cuello de la raíz (B), biomasa total (C) y volumen de raíz (D) en el crecimiento de *P. cembroides* en vivero. Mezcla de sustrato: corteza compostada de pino (CC)-Aserrín crudo de pino (AS)-Turba de musgo (TM).

Figure 1. Interaction between substrates and fertilization schemes for the variables height (A), root collar diameter (B), total biomass (C) and root volume (D) in the growth of *P. cembroides* in nursery. Mixture of substrate: composted pine bark (CC)-Raw pine sawdust (AS)-Peat moss (TM).

hidrosoluble, en comparación con la aplicación de sólo 1.0 g L⁻¹ de FH, originó valores más altos al proporcionar un suministro permanente de nutrientes durante la mayor parte de la etapa de producción (14 meses), lo cual se tradujo en plantas con características morfológicas similares.

11 in which only water-soluble fertilizer was applied (1.0 g L⁻¹ Triple 19®) (Figure 1D, Table 3). This finding is important because seedlings with abundant root systems have a greater capacity to grow quickly after planting in the field (Haase, 2011), which happens because the capacity to absorb

Haase *et al.* (2006) aplicaron fertilizante de liberación controlada en *Pseudotsuga menziesii* y hubo aumentos de 19% en altura, 21% en diámetro y 73% en volumen del tallo, con respecto a la planta nutrida con fertilizante soluble convencional. En nuestro estudio, con la adición de 8 kg m⁻³ de fertilizante Multicote® el volumen de raíz fue superior en 41% (T7) respecto al tratamiento 11 en el cual sólo se aplicó fertilizante hidrosoluble (1.0 g L⁻¹ Triple 19®) (Figura 1D, Cuadro 3). Este hallazgo es importante porque las plantas con sistema radical abundante tienen mayor capacidad para crecer rápido después de plantadas en campo (Haase, 2011), lo cual sucede porque aumenta la capacidad para absorber agua y nutrimentos y se reduce el estrés después del plantado (Fu *et al.*, 2017).

Oliet *et al.* (2009) aplicaron fertilizante de liberación controlada en *P. halepensis* Mill. en vivero, con formulaciones de 9-13-18 y 17-10-10 de N-P-K, en dosis de 3, 5 y 7 g L⁻¹ de sustrato; con la dosis superior del primer producto se lograron plantas más grandes y con mayor concentración de nutrimentos, y después de siete años las mismas plantas presentaron mayor supervivencia en campo (79%), respecto al testigo (42%). Asimismo, Bautista *et al.* (2018) evaluaron en *P. greggii* Engelm. el efecto de 6 kg m⁻³ de fertilizante de liberación controlada (Osmocote®), combinado con fertilizantes hidrosolubles (Triple 19®, Poly-feed® y Peters professional®) en dosis fija (200 ppm) y dosis exponencial (100, 200 y 300 ppm). Los mejores resultados en altura, diámetro, biomasa aérea y total, se obtuvieron con Triple 19® en dosis fija y exponencial; además, fue la opción más económica respecto a los otros fertilizantes hidrosolubles. El esquema de fertilización adecuado depende de factores como el tipo y frecuencia de riego, las características del sustrato, la tasa de liberación de nutrimentos y la eficiencia de uso por la planta, así como los costos (Landis, 1989).

En la producción de diversas especies en vivero se ha utilizado aserrín como parte del sustrato, con resultados exitosos en la calidad de planta de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* (Reyes *et al.*, 2005), *P. montezumae* Lamb. (Hernández *et al.* 2014) y *P. cooperi* Blanco (González *et al.*, 2018). Asimismo, Aguilera *et al.* (2016a) en *P. montezumae* Lamb. obtuvieron las mejores características físicas con un sustrato de 70% de aserrín de pino compostado + 15% de corteza compostada de pino + 15% de vermiculita, y se

water and nutrients is increased and stress is reduced after planting (Fu *et al.*, 2017).

Oliet *et al.* (2009) applied controlled-release fertilizer on *P. halepensis* Mill. in nursery, with formulations of 9-13-18 and 17-10-10 of N-P-K, at doses of 3, 5 and 7 g L⁻¹ of substrate; with the higher dose of the first product, larger seedlings with higher nutrient concentration were achieved, and after seven years the same plants showed higher field survival (79%), compared to the control (42%). Likewise, Bautista *et al.* (2018) evaluated in *P. greggii* Engelm. the effect of 6 kg m⁻³ of controlled-release fertilizer (Osmocote®), combined with water-soluble fertilizers (Triple 19®, Poly-feed® and Peters professional®) in fixed dose (200 ppm) and exponential dose (100, 200 and 300 ppm). The best results in height, diameter, aerial and total biomass were obtained with Triple 19® in fixed and exponential dose; moreover, it was the most economical option compared to the other water-soluble fertilizers. The appropriate fertilization scheme depends on factors such as type and irrigation frequency, substrate characteristics, nutrient release rate and plant use efficiency, as well as costs (Landis, 1989).

Sawdust was used as part of the substrate in the production of various species in nursery, with successful results in the seedling quality of *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* (Reyes *et al.*, 2005), *P. montezumae* Lamb. (Hernández *et al.*, 2014) and *P. cooperi* Blanco (González *et al.*, 2018). Likewise, Aguilera *et al.* (2016a) obtained the best physical characteristics in *P. montezumae* Lamb. with a substrate of 70% composted pine sawdust + 15% composted pine bark + 15% vermiculite, and the cost per plant was reduced up to 50%, compared to the substrate based on peat moss, perlite and vermiculite (60:20:20). Similarly, González *et al.* (2018) in *P. cooperi* Blanco, in a substrate of 30% peat + 20% bark + 50% sawdust with 8 g L⁻¹ of Multicote®, obtained adequate values in height, root biomass and Dickson's quality index; in addition, production costs attributable to the substrate were reduced by 40% in relation to the substrate with peat (46%) and bark (54%). This indicates that the use of substrates based on sawdust and bark mixed with peat is an alternative for producing forest seedlings.

Castro *et al.* (2018) produced *P. greggii* var. *australis* on substrates based on fresh pine sawdust, composted pine bark and peat moss, in ratios of 3:1:1, achieving

redujo el costo por planta hasta 50%, comparado con el sustrato a base de turba de musgo, perlita y vermiculita (60:20:20). De manera similar, González *et al.* (2018) en *P. cooperi* Blanco, en un sustrato de 30% turba + 20% corteza + 50% aserrín con 8 g L⁻¹ de Multicote®, obtuvieron valores adecuados en altura, biomasa de la raíz e índice de calidad de Dickson; además, los costos de producción atribuibles al sustrato se redujeron 40% con relación al sustrato con turba (46%) y corteza (54%). Lo anterior indica que el uso de sustratos a base de aserrín y corteza, mezclados con turba, es una alternativa para producir planta forestal.

Castro *et al.* (2018) produjeron *P. greggii* var. *australis* en sustratos a base aserrín de pino fresco, corteza compostada de pino y turba de musgo, en proporciones de 3:1:1, y lograron las características morfológicas recomendadas en la Norma Mexicana para la Certificación de la Operación de Viveros Forestales NMX-AA-170-SCFI-2016 (SE, 2016). En este caso, las plantas que crecieron en sustratos con aserrín al 70% tuvieron menor altura y diámetro (13.8 cm y 3.5 mm, respectivamente). Esos resultados también difieren con lo reportado por Reyes *et al.* (2005) en *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*, con mayor altura y diámetro en las plantas desarrolladas en la mezcla de sustrato con 80% aserrín + 20% turba, a la cual se añadieron 5 kg m⁻³ de fertilizante de liberación controlada Multicote® (18-6-12 de N, P y K).

La combinación de los sustratos y esquemas de fertilización fue favorable en nuestro estudio, porque en ocho de los 12 tratamientos se produjo planta con altura media de 15.0 a 17.1 cm, que está en los intervalos establecidos por la NMX-AA-170-SCFI-2016 (SE, 2016) para *P. cembroides* de una altura mínima de 15 cm. Las plantas con altura mayor tienen ventaja en sitios con competencia vegetal, sobre todo donde varía la composición de nutrimentos y contenido de humedad (Haase *et al.*, 2006). Ivetić y Devetaković (2016) también señalan una correlación positiva entre la altura inicial de las plantas y el crecimiento después de la plantación.

Grossnickle (2012) menciona que plantas con mayor diámetro inicial tendrán mejor crecimiento a largo plazo una vez establecidas en campo. En nuestra investigación el diámetro tuvo un rango de 3.4 a 4.2 mm y, de acuerdo con Rueda *et al.*

the morphological characteristics recommended in the Mexican Standard for the Certification of Forest Nursery Operations NMX-AA-170-SCFI-2016 (SE, 2016). In this case, the plants that grew in substrates with 70% sawdust had minor height and diameter (13.8 cm and 3.5 mm, respectively). These results also differ from those reported by Reyes *et al.* (2005) in *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*, with greater height and diameter in the plants developed in the substrate mixture with 80% sawdust + 20% peat, to which 5 kg m⁻³ of Multicote® controlled-release fertilizer (18-6-12 of N, P and K) was added.

The combination of substrates and fertilization schemes was favorable in our study, since in eight of the 12 treatments seedlings with an average height of 15.0 to 17.1 cm were produced, which is in the intervals established by the NMX-AA-170-SCFI-2016 (SE, 2016), for *P. cembroides* with a minimum height of 15 cm. Plants with greater height have an advantage in sites with plant competition, especially where nutrient composition and moisture content vary (Haase *et al.*, 2006). Ivetić and Devetaković (2016) also point to a positive correlation between initial seedling height and growth after planting.

Grossnickle (2012) mentions that plants with a larger initial diameter will have better long-term growth once established in the field. In our research the diameter had a range of 3.4 to 4.2 mm and, according to Rueda *et al.* (2013), diameters of 2.5 to 3.9 mm are considered medium quality, while ≥4.0 mm are high quality.

Substrate mixtures and fertilization schemes evaluated influenced the ICD ($p \leq 0.05$). Results ranged from 0.27 to 0.41, with the lowest values found for M4 (composted pine bark, raw pine sawdust, peat moss, 15:70:15), regardless of the fertilization rate applied (Table 3). These results are similar to those obtained by Castro *et al.* (2018), with ICDs of 0.47 and 0.49 in *P. greggii* var. *australis* with controlled-release fertilizer at 8 and 4 g L⁻¹ doses. In this case, the values are considered to be of medium quality (Rueda *et al.*, 2013). Additional nutrition through fertilization is necessary to produce quality seedlings in the nursery to help overcome nutrient deficiencies when planting in degraded sites (Jacobs, 2014; Andivia *et al.*, 2018). For this reason, the ICD is considered an adequate predictor of survival because the higher this index is, the greater the possibilities of adaptation in the field (Zumkeller *et al.*, 2009),

(2013), diámetros de 2.5 a 3.9 mm se consideran de calidad mediana, mientras que ≥ 4.0 mm son de calidad alta.

Las mezclas de sustratos y los esquemas de fertilización evaluados influyeron ($p \leq 0.05$) en el ICD. Los resultados oscilaron entre 0.27 y 0.41, y los valores más bajos se encontraron en M4 (corteza compostada de pino, aserrín crudo de pino, turba de musgo, 15:70:15), e independiente de la dosis de fertilización aplicada (Cuadro 3). Estos resultados son similares a los obtenidos por Castro *et al.* (2018), con ICD de 0.47 y 0.49 en *P. greggii* var. *australis* con fertilizante de liberación controlada en dosis de 8 y 4 g L⁻¹. En este caso, los valores se consideran de calidad media (Rueda *et al.*, 2013). La nutrición adicional a través de la fertilización es necesaria para producir plantas de calidad en vivero, para ayudar a superar las deficiencias de nutrimentos al momento de plantarlas en sitios degradados (Jacobs, 2014; Andivia *et al.*, 2018). Por ello, el ICD se considera un predictor adecuado de la supervivencia porque entre mayor sea dicho índice las posibilidades de adaptación en campo aumentan (Zumkeller *et al.*, 2009), pues se evita seleccionar plantas con un crecimiento aéreo en exceso, con relación al sistema radical (Sáenz *et al.*, 2014; Bernaola *et al.*, 2016).

Concentración y contenido de N, P y K en el follaje

Las concentraciones de N, P y K en el follaje de las plantas mostraron diferencias significativas sólo respecto a P y K ($p \leq 0.05$). Independiente del sustrato, la concentración de N fue mayor en F2 y menor en F1, excepto en M1, donde F2 fue menor. Asimismo, los niveles mayores de P se encontraron en T3, T6, T7 y T12; para la concentración de potasio los valores más altos ocurrieron en F2 y F3, combinados con M2, M3 o M4 (Cuadro 4). En todos los tratamientos las plantas presentaron valores dentro de los rangos óptimos de concentración de macronutrimentos en el follaje (Prieto y Sáenz, 2011), y se consideran plantas de alta calidad en la concentración de N, P y K (Sáenz *et al.*, 2014).

El contenido mayor de N puede proporcionar ventajas competitivas a las plantas al establecerse en sitios de baja fertilidad, o puede apoyar como reserva para un crecimiento mayor en campo (Navarro

since it avoids selecting plants with excessive aerial growth in relation to the root system (Sáenz *et al.*, 2014; Bernaola *et al.*, 2016).

Concentration and content of N, P and K in the foliage

N, P and K concentrations in the seedlings' foliage showed significant differences only for P and K ($p \leq 0.05$). Regardless of the substrate, N concentration was higher in F2 and lower in F1, except in M1, where F2 was lower. Likewise, the highest levels of P were found in T3, T6, T7 and T12; for potassium concentration, the highest values occurred in F2 and F3, combined with M2, M3 or M4 (Table 4). In all treatments the seedlings presented values within the optimal ranges of macronutrient concentration in the foliage (Prieto and Sáenz, 2011), and are considered high-quality plants in the concentration of N, P and K (Sáenz *et al.*, 2014).

The higher N content may provide competitive advantages to plants by establishing in low fertility sites, or it may support as a reservoir for higher field growth (Navarro *et al.*, 2013). Thus, F2 and F3 provided a higher concentration of N, reflected in higher growth in height and larger total biomass. In this regard, high levels of N promote rapid cell division and elongation (Landis, 1989), therefore, Aldana and Aguilera (2002) recommend applying a daily dose of 75 ppm of N, while Prieto *et al.* (2009) determined levels of 40 to 70 ppm in the establishment stage, 100 to 200 ppm in the rapid growth stage and 40 to 70 ppm in the hardening stage.

In nutrition programs, N, P and K are essential elements for plant growth. Phosphorus contributes to the development of the root system (Dominguez *et al.*, 2000). In our research the lowest phosphorus content was found in treatment 11 with F2 (7.20 mg plant⁻¹), in which the seedlings generated lower amounts of roots and the lowest root volume (Table 3). According to Haase (2011), plants with higher capacity to generate new roots increase their chances of field survival.

The highest concentrations of potassium occurred at F2 and F3, except when M1 was used as substrate, and F1 generated the lowest concentrations. Castro *et al.* (2018) obtained in *P. greggii* var. *australis*

Cuadro 4. Concentración y contenido de N, P y K en el follaje de *P. cembroides* Zucc. producido en vivero.
Table 4. Concentration and content of N, P and K in the foliage of *P. cembroides* Zucc. produced in nursery.

Tratamiento	Sustrato	Fertilizante	Concentración (%)			Contenido (mg planta ⁻¹)		
			N	P	K	N	P	K
1	M1	F1	1.96	0.49	1.14	39.20	9.80	22.80
2	M1	F2	1.78	0.56	1.25	37.38	11.76	26.25
3	M1	F3	1.98	0.61	1.39	41.58	12.81	29.19
4	M2	F1	1.89	0.52	1.20	34.02	9.36	21.60
5	M2	F2	2.40	0.57	1.42	48.00	11.40	28.40
6	M2	F3	2.17	0.62	1.59	47.74	13.64	34.98
7	M3	F1	1.89	0.66	1.26	34.02	11.88	22.68
8	M3	F2	2.19	0.53	1.59	45.99	11.13	33.39
9	M3	F3	1.94	0.59	1.49	46.56	14.16	35.76
10	M4	F1	1.84	0.59	1.44	29.44	9.44	23.04
11	M4	F2	2.37	0.48	1.59	35.55	7.20	23.85
12	M4	F3	2.33	0.64	1.76	46.60	12.80	35.20
Valor <i>p</i>			0.2445	0.0018	0.0001			
*Valores óptimos			1.3-3.50	0.20-0.60	0.70-2.50			

M1 (60% corteza compostada de pino y 40% de turba de musgo), M2 (35% corteza compostada de pino, 30% aserrín crudo de pino, 35% turba de musgo), M3 (25% corteza compostada de pino, 50% aserrín crudo de pino, 25% turba de musgo), M4 (15% corteza compostada de pino, 70% aserrín crudo de pino, 15% turba de musgo). F1) 8 kg m⁻³ Multicote® + 0.0 g L⁻¹ Triple 19®; F2) 0.0 kg m⁻³ Multicote® + 1.0 g L⁻¹ Triple 19®; F3) 4 kg m⁻³ Multicote® + 0.5 g L⁻¹ Triple 19®. N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio. * Niveles óptimos de macronutrientes de acuerdo con Sáenz *et al.* (2014) ♦ M1: 60% composted pine bark, 40% peat moss; M2: 35% composted pine bark, 30% raw pine sawdust, 35% moss peat; M3: 25% composted pine bark, 50% raw pine sawdust, 25% peat moss; M4: 15% composted pine bark, 70% raw pine sawdust, 15% peat moss. F1: 8 kg m⁻³ Multicote® + 0.0 g L⁻¹ Triple 19®; F2: 0.0 kg m⁻³ Multicote® + 1.0 g L⁻¹ Triple 19®; F3: 4 kg m⁻³ Multicote® + 0.5 g L⁻¹ Triple 19®. N: nitrogen; P: phosphorus; K: potassium. * Optimal levels of macronutrients according to Sáenz *et al.* (2014).

al., 2013). Así, F2 y F3 aportaron una concentración superior de N, reflejado en un crecimiento mayor en altura y biomasa total más grande. Al respecto, niveles elevados de N promueven una rápida división y elongación celular (Landis, 1989), por lo que Aldana y Aguilera (2002) recomiendan aplicar una dosis diaria de 75 ppm de N, mientras que Prieto *et al.* (2009) determinaron niveles de 40 a 70 ppm en la etapa de establecimiento, 100 a 200 ppm en la etapa de crecimiento rápido y 40 a 70 ppm en la etapa de endurecimiento.

En los programas de nutrición, el N, P y K son elementos esenciales para el crecimiento de la planta. El fósforo contribuye al desarrollo del sistema radical (Domínguez *et al.*, 2000). En nuestra investigación el menor contenido de fósforo fue en el tratamiento 11 con F2 (7.20 mg planta⁻¹), en el cual las plantas generaron una cantidad más baja de raíces y el menor volumen radical (Cuadro 3). De acuerdo con Haase (2011), las plantas con mayor capacidad para generar raíces nuevas incrementan sus probabilidades de supervivencia en campo.

lower values in nutrient concentration, with values from 0.85 to 1.14 % in N, from 0.17 to 0.21% in P and from 0.27 to 0.42 % in K, with doses of 8 and 4 g L⁻¹ of Osmocote Plus®. According to Villar *et al.* (2013), an ideal fertilization scheme must satisfy the demands of growth, and originate sufficient nutritional reserves so that plants can grow and develop once established in the field, even if the availability of nutrients is scarce. In addition, Basave *et al.* (2014) and Schott *et al.* (2016) mentioned that seedlings with sufficient nutrient reserves during their production in the nursery have greater growth and survival in the field by compensating for the initial nutrition needs, especially in degraded sites.

CONCLUSIONS

The highest total height and biomass occurred when the F3 fertilization scheme was used in the M2, M3 and M1 substrate mixtures. Diameters, Dickson's quality indexes and higher root volumes, which are related to better seedling quality, were obtained with

Las concentraciones mayores de potasio ocurrieron en F2 y F3, excepto cuando se usó M1 como sustrato, y F1 generó las concentraciones menores. Castro *et al.* (2018) obtuvieron en *P. greggii* var. *australis* valores inferiores en la concentración nutrimental, de 0.85 a 1.14 % en N, de 0.17 a 0.21 % en P y de 0.27 a 0.42 % en K, con dosis de 8 y 4 g L⁻¹ de Osmocote Plus®. Según Villar *et al.* (2013), un esquema ideal de fertilización debe satisfacer las demandas del crecimiento, y originar reservas nutrimentales suficientes para que las plantas puedan crecer y desarrollarse una vez establecidas en campo, aunque la disponibilidad de nutrimentos sea escasa. Además, Basave *et al.* (2014) y Schott *et al.* (2016) mencionaron que las plantas con reservas nutrimentales suficientes durante su producción en vivero, tienen mayor crecimiento y supervivencia en campo, al compensar las necesidades iniciales de nutrición, sobre todo en sitios degradados.

CONCLUSIONES

La mayor altura y biomasa total se produjo cuando se utilizó el esquema de fertilización F3, en las mezclas de sustrato M2, M3 y M1. Los diámetros, índices de calidad de Dickson y volúmenes radicales superiores, que se relacionan con mejor calidad de planta, en la mayoría de los casos se obtuvieron con el esquema de fertilización F1, el cual puede presentar ventajas en el establecimiento en campo.

Los valores inferiores en la mayoría de las variables se encontraron en las plantas producidas en la mezcla con mayor porcentaje de aserrín (M4) y con fertilizante hidrosoluble (F2). Los niveles de asimilación de N, P y K en las acículas de las plantas, estuvieron en los rangos recomendados en la literatura.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico en los estudios de doctorado del primer autor. Al Ing. Roberto Trujillo y al LAE. Roberto Trujillo Ayala, por las facilidades otorgadas para la realización del experimento en el vivero forestal "General Francisco Villa".

LITERATURA CITADA

Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T., y V. M. Ordáz C. 2016a. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50: 107-118.

the F1 fertilization scheme in most cases, which can present advantages in the field establishment.

The lower values in most variables were found in the seedlings produced in the mixture with the highest percentage of sawdust (M4) and with water-soluble fertilizer (F2). The levels of nutrient assimilation (N, P and K) in the plant needles were in the ranges recommended by the literature.

—End of the English version—

-----*-----

- Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T., y V. M. Ordáz C. 2016b. Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Rev. Mex. Cien. For.* 7: 7-19.
- Aldana B., R., y M. Aguilera R. 2002. Procedimientos y cálculos básicos útiles en la operación de viveros que producen en contenedor. PRONARE. CONAFOR. Guadalajara, Jal., México. 44 p.
- Andivia E., P. Villar S., J. A. Oliet, J. R. Puértolas, and K. D. Dumroese. 2018. How can my research paper be useful for future meta-analyses on forest restoration plantations? *New Forests* 49: 1-12.
- Basave V. E., V. M. Cetina A., M. A. López L., A. Aldrete, and D. H. Del Valle P. 2014. Nursery practices increase seedling performance on nutrient-poor soils in *Swietenia humilis*. *iForest* 8: 552-557.
- Bautista Z. N., V. M. Cetina A., J. A. G. Vera C., y C. T. Cervantes M. 2005. Evaluación de la calidad de brinzales de *Pinus montezumae* Lamb. producidos en el vivero San Luis Tlaxialtemalco, Distrito Federal. *Ra Ximhai* 1: 167-176.
- Bautista O., G. I., J. A. Prieto R., J. C. Hernández D., E. Basave V., J. R. Goche T., y E. Montiel A. 2018. Crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. bajo diferentes rutinas de fertilización en vivero. *Rev. Mex. Cien. For.* 9: 213-233.
- Bernaola P., R. M., J. F. Zamora N., J. de J. Vargas R., V. M. Cetina A., R. Rodríguez M., y E. Salcedo P. 2016. Calidad de planta en etapa de vivero de dos especies de pino en sistema Doble-Trasplante. *Rev. Mex. Cien. For.* 7: 74-93.
- Buendía V., M. V., M. A. López L., V. M. Cetina A., and L. Diakite. 2016. Substrates and nutrient addition rates affect morphology and physiology of *Pinus leiophylla* seedlings in the nursery stage. *iForest* 10: 115-120.
- Bustos F., M. E. González, P. Donoso, V. Gerding, C. Donoso, y B. Escobar. 2008. Efectos de distintas dosis de fertilizante de liberación controlada (Osmocote®) en el desarrollo de plantas de coigüe, raulí y ulmo. *Bosque* 29: 155-161.
- Carpeneo A., S., M. Machado A., E. Benítez L., G. Gómez de O., y F. Da Silva C. 2016. Volumen de contenedores y dosis de fertilizante de liberación controlada en el crecimiento de plantas de *Cabralea canjerana* producidas en vivero. *Bosque* 37: 401-407.

- Castro G., S. L., A. Aldrete, J. López U., y V. M. Ordáz C. 2018. Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* en vivero. *Agrociencia* 52: 115-127.
- Davis, A. S., and D. F. Jacobs. 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests* 30: 295-311.
- De los Ríos C. E., R. De Hoogh, y J. J. Nívar C. 2008. Ensayos de especies con pinos piñoneros en el Nordeste de México. *Rev. Chapingo Ser. Cien. For. Amb.* 14: 97-104.
- Dickson, A., A. Leaf, and J. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. *Forest Chronicle* 36: 10-13.
- Domínguez L. S., J. Oliet P., P. Ruíz., I. Carrasco M., J. L. Peñuelas R., y R. Serrada H. 2000. Influencia de la relación N-P-K en el desarrollo en vivero y en campo de planta de *Pinus pinea*. *Actas del congreso I Simposio del pino piñonero*. Vol. 195-202. Valladolid, España. pp: 1-10.
- Escamilla H. N., J. J. Obrador O., E. Carrillo A., y D. J. Palma L. 2015. Uso de fertilizantes de liberación controlada en plantas de teca (*Tectona grandis*), en la etapa de vivero. *Rev. Fitotec. Mex.* 38: 329-333.
- Farjon A. J., A. Pérez de la R., y B. T. Styles. 1997. Guía de Campo de los Pinos de México y América Central. The Royal Botanic Gardens, Universidad de Oxford. Bélgica. 151 p.
- Fu Y., J. A. Oliet, G. Li, and J. Wang. 2017. Effect of controlled release fertilizer type and rate on mineral nutrients, non-structural carbohydrates, and field performance of Chinese pine container-grown seedlings. *Silva Fennica* 51: 1-13.
- González O., M., J. A. Prieto R., A. Aldrete, J. C. Hernández D., J. A. Chávez S., y R. Rodríguez L. 2018. Sustratos a base de aserrín crudo con fertilización y la calidad de planta de *Pinus cooperi* Blanco en vivero. *Rev. Mex. Cien. For.* 9: 203-225.
- Granados V., R. L., D. Granados S., y A. Sánchez G. 2015. Caracterización y ordenación de los bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*) de la Cuenca Oriental (Puebla, Tlaxcala y Veracruz). *Madera y Bosques* 21: 23-42.
- Grossnickle, S. C. 2012. Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests* 43: 711-738.
- Gutiérrez G. J. V., D. A. Rodríguez T., A. Villanueva M., S. García D., y J. L. Romo L. 2015. Calidad del agua en la producción de *Pinus cembroides* Zucc. en vivero. *Agrociencia* 49: 205-219.
- Haase, D. L. 2011. Seedling root targets. *In: National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations*. Riley, L. E., D. L. Haase, and J. R. Pinto (eds). RMRS-P-65. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO. pp: 80-82.
- Haase, D. L., R. Rose, and J. Trobaugh. 2006. Field performance of three stock sizes of Douglas-fir container seedlings grown with slow-release fertilizer in the nursery growing medium. *New Forests* 31: 1-24.
- Harrington, J. T., J. G. Mexal, and J. Fisher. 1994. Volume displacement provides a quick and accurate way to quantify new root production. *Tree Planters Notes* 45: 121-124.
- Hernández Z. L., A. Aldrete, V. M. Ordaz C., J. López U., y M. A. López L. 2014. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48: 627-637.
- Isogis Corp, The Pembina Institute, Instituto Tecnológico de El Salto, The Carbon Basis Company Ltd. 2010. Evaluación de la Madera, la Biomasa y el Carbono de Bosques y las Tecnologías Potenciales de Producción de Energía a Partir de Biomasa en Durango, México. 113 p.
- Ivetić, V., and J. Devetaković. 2016. Reforestation challenges in Southeast Europe facing climate change. *Reforesta* 1: 178-220.
- Jacobs, D. F. 2014. Advances in Fertilization for Forest Regeneration. *USDA Forest Service Proceedings, RMRS-P-72*. 3-5.
- Landis, T. D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. *In: Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald, and J. P. Barnett (eds). The Container Tree Nursery Manual*. Vol. 4. Agriculture Handbook 674. Forest Service. Washington, D.C. pp: 1-67.
- Landis, T. D. 1990. Growing media. *In: Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. Mc Donald, and J. P. Barnett (eds). The Container Tree Nursery Manual*. Vol. 2. Agric. Handbook 674. USDA Forest Service. Washington, DC, USA. pp: 41-85.
- Luna C., M., A. Romero M., y E. García M. 2008. Afinidades en la flora genérica de piñonares del norte y centro de México: un análisis fenético. *Rev. Mex. Biodiversidad* 79: 449-458.
- 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.
- Mañas, P., E. Castro, and J. De las Heras. 2009. Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media. *New Forests* 37: 295-311.
- Martínez P., R., y A. R. Soriano F. 2014. Propiedades físicas y químicas de los sustratos. Desplegable para productores No. 11. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Campo Experimental Tecoman. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Colima, Col. 2 p.
- Martínez M. 1948. Los Pinos Mexicanos. 2ª. Edición. Ediciones Botas. México, D. F. 368 p.
- Navarro S., J. L., L. De M. Ruiz P., J. J. Vargas H., y A. Gómez G. 2013. Morfología, biomasa y contenido nutrimental en *Abies religiosa* con regímenes diferentes de fertilización en vivero. *Agrociencia* 47: 707-721.
- Oliet, J. A., R. Planelles, F. Artero, R. Valverde, D. F. Jacobs, and M. L. Segura. 2009. Field performance of *Pinus halepensis* planted in Mediterranean arid conditions: relative influence of seedling morphology and mineral nutrition. *New Forests* 37: 313-331.
- Perry, J. P. Jr. 1991. The pines of Mexico and Central America. Portland, OR: Timber Press. 231 p.
- Pompa G. M., y J. I. Yerena Y. 2014. Concentración de carbono en *Pinus cembroides* Zucc: fuente potencial de mitigación del calentamiento global *Rev. Chapingo Ser. Cien. For. Amb.* 20: 169-175.

- 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. Publicación Especial. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango, Dgo. México. 47 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 Núm. 3. Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. Durango, Dgo. 210 p.
- Reyes C. S. A., J. Méndez G., J. A. Nájera L., y J. Cerano P. 2013. Producción de hojarasca en un rodal de *Pinus cembroides* Zucc. en Arteaga, Coahuila, México y su relación con las variables climáticas. Rev. Chapingo Ser. Cien. For. Amb. 19: 147-155.
- Reyes R. J., A. Aldrete, V. M. Cetina A., y J. López U. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en sustratos a base de aserrín. Rev. Chapingo Ser. Cien. For. Amb. 11: 105-110.
- Robles V. F., D. A. Rodríguez T., y A. Villanueva M. 2017. Calidad de planta y supervivencia en reforestación de *Pinus montezumae* Lamb. Rev. Mex. Cien. For. 8: 55-76.
- Rosas C. M., D. Granados S., R. L. Granados V., y S. Esparza G. 2015. Clasificación y ordenación de bosques de pino piñonero del estado de Querétaro. Rev. Mex. Cien. For. 7: 52-73.
- 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. de D. Benavides S., J. T. Sáenz R., H. J. Muñoz F., J. A. Prieto R., y G. Orozco G. 2013. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. Rev. Mex. Cien. For. 5: 59-73.
- 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. Rev. Mex. Cien. For. 5: 98-111.
- Sánchez C. T., A. Aldrete, V. M. Cetina A., y J. López U. 2008. Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. Madera y Bosques 14: 41-49.
- SAS (Statistical Analysis System) Institute Inc., 2009. SAS Ver. 9.0. SAS Inc., Cary, NC, USA.
- Schott, K. M., A. E. K. Snively, S. M. Landhäusser, and B. D. Pinno. 2016. Nutrient loaded seedlings reduce the need for field fertilization and vegetation management on boreal forest reclamation sites. New Forests 47:393-410.
- Secretaría de Economía (SE). 2016. Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016. Certificación de la operación de viveros forestales. Diario Oficial de la Federación. 22 de septiembre de 2016. México, D.F., México. pp: 11-18.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo. Estudios, muestreo y análisis. México: Diario Oficial de la Federación. México, D.F., México. 67 p.
- Treviño G. E. J. 2001. Estratificación de la información en el procesamiento digital de imágenes de satélite aplicado a la cartografía de los bosques de *Pinus cembroides*. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. 44: 54-63.
- Villar-Salvador P., J. L. Peñuelas, J. L. N. Peragón, L. F. Benito, and S. Domínguez L. 2013. Is nitrogen fertilization in the nursery a suitable tool for enhancing the performance of Mediterranean oak plantations? New Forests 44: 733-751.
- Zumkeller, S. D., J. A. Galbiatti, R. C. De Paula, y J. L. Soto G. 2009. Producción de plantas de *Tabebuia heptaphylla* en diferentes sustratos y niveles de irrigación, en condiciones de invernadero. Bosque 30: 27-35.