

EFECTO DEL ENVASE, SUSTRATO Y FERTILIZACIÓN EN EL CRECIMIENTO DE *Pinus greggii* var. *australis* EN VIVERO

EFFECT OF CONTAINER, SUBSTRATE AND FERTILIZATION ON *Pinus greggii* var. *australis* GROWTH IN THE NURSERY

Sandra L. Castro-Garibay¹, Arnulfo Aldrete^{1*}, Javier López-Upton¹, Víctor M. Ordáz-Chaparro²

¹Ciencias Forestales, ²Edafología. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (aaldrere@colpos.mx)

RESUMEN

El envase, el sustrato y la fertilización influyen en las características morfológicas y fisiológicas de las plantas en vivero. El objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* mediante la interacción de envases, sustratos y formas de fertilización. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial ($2 \times 3 \times 2$). Las plantas se produjeron en dos tipos de envase de 230 mL: (E1) con aberturas en el fondo del envase para drenaje y (E2) con drenaje lateral y en el fondo. Tres mezclas de sustratos se utilizaron con proporción mayor de turba de musgo (S1), corteza de pino (S2) o aserrín de pino (S3). La fertilización fue con Osmocote Plus® (15 N-9 P-12 K), en una dosis de 8 g L⁻¹ en dos formas de aplicación: F1 (sólo fertilizante de 8 a 9 meses de liberación) y F2 (mezcla compuesta de 4 g L⁻¹ de fertilizante de 5 a 6 meses y 4 g L⁻¹ de 8 a 9 meses de liberación). Después de 7 meses de la siembra, se evaluó: altura, diámetro al cuello de la raíz, peso seco aéreo (PSA) y de raíces (PSR) y se calculó el índice de esbeltez (IE), la relación peso seco aéreo/peso seco de raíces y de calidad de Dickson (ICD). Los factores envase y sustrato fueron significativos en todas las variables morfológicas ($p \leq 0.05$) y la fertilización resultó no significativa. El envase E1 produjo plantas más altas y con diámetro mayor en comparación con E2. Las plantas con S1 tuvieron altura, diámetro al cuello de la raíz, PSA, IE e ICD mayor; y con S2 y S3 se obtuvo crecimiento que cumple con los mínimos sugeridos. El diseño del envase modifica el crecimiento de las plantas; con fertilizantes de liberación controlada y sustratos a base de corteza y aserrín de pino es posible obtener planta de buena calidad.

Palabras clave: *Pinus greggii* var. *australis*, morfología, calidad de planta, fertilizante de liberación controlada, aserrín, corteza de pino.

ABSTRACT

In the nursery, the container, substrate and fertilization affect morphological and physiological characteristics of the plants. The objective of this study was to evaluate growth of *Pinus greggii* var. *australis* through interaction of containers, substrates and forms of fertilization. The experimental design was completely randomized with a $2 \times 3 \times 2$ factorial array. The plants were produced in two types of 230 mL containers: (E1) with holes at the bottom for drainage and (E2) with lateral and bottom drainage. Three mixtures of substrates were used: larger proportion of peat moss (S1), pine bark (S2) or pine sawdust (S3). Osmocote Plus® (N-P-K 15:9:12) fertilizer was applied at a dosage of 8 g L⁻¹ in two forms: F1 (only fertilizer 8-9 months release) and F2 (mixture, half 5-6 months release and half 8-9 months release). Seven months after sowing, the following parameters were measured: height, root collar diameter, shoot dry weight (SDW) and root dry weight (RDW). Also, the sturdiness quotient (SQ), the ratio shoot dry weight/ root dry weight, and the Dickson quality index (DQI) were calculated. The factors container and substrate were significant in all of the morphological variables ($p \leq 0.05$), but fertilization was not significant. Container E1 produced taller plants with larger diameters than those produced by E2. Plants in S1 were taller and had larger root collar diameter, higher SDW, SQ and DQI. With S2 and S3, minimum suggested growth was obtained. Container design modifies plant growth. With controlled release fertilizers and pine bark and sawdust substrates, it is possible to produce good quality plants.

Key words: *Pinus greggii* var. *australis*, morphology, plant quality, controlled release fertilizer, sawdust, pine bark.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: julio, 2016. Aprobado: noviembre, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 52: 115-127. 2018.

INTRODUCCIÓN

Los insumos, como el envase y el sustrato, y las prácticas culturales para producir plantas, como el riego y la fertilización, influyen en la calidad y el desarrollo de las plantas en campo (Peñuelas y Ocaña, 2000; Grossnickle, 2012). Los envases, además de influir en las características morfológicas y fisiológicas, impactan en la cantidad de agua y nutrientes disponibles para las plantas (Landis *et al.*, 1990; Peñuelas y Ocaña, 2000; Luna *et al.*, 2009).

Gran parte de los viveros forestales en México utilizan turba de musgo como componente principal de los sustratos; ese es un material orgánico extraído de áreas pantanosas en Canadá, EE.UU. y Europa. Por su origen se importa a México y su uso incrementa el costo de producción de las plantas. Aguilera *et al.* (2016) determinaron que producir plantas *Pinus montezumae* Lamb. en sustratos a base de turba de musgo y aserrín de pino duplican su costo, por concepto de sustrato, en comparación con las producidas solo con aserrín. Es posible utilizar otros materiales que sustituyan a la turba de musgo como componente principal en los sustratos.

La nutrición de las plantas en la mayoría de los viveros generalmente se realiza con fertilizantes hidrosolubles (FHS) aplicados con el riego. Esta forma de fertilización presenta desventajas, como pérdida de nutrientes por lixiviación y en ocasiones puede causar sobre-fertilización, promover desbalance entre las raíces y el resto de la planta. Para resolver esta problemática se aplican fertilizantes de liberación controlada (FLC), que transfieren gradualmente los nutrientes al sustrato, minimizan el riesgo por toxicidad y disminuyen pérdidas por lixiviación (Oliet *et al.*, 1999; Rose *et al.*, 2004; Landis y Dumroese, 2009).

Debido a que es necesario conocer las ventajas y desventajas de envases, sustratos y FLC, se han realizado investigaciones con especies forestales, como *P. pinea* L., *Quercus coccifera* L. (Torrente y Pemán, 2004), *Cedrela odorata* L. (Mateo *et al.*, 2011), *Pinus montezumae* Lamb. (Hernández *et al.*, 2014; Aguilera *et al.*, 2016), *Tectona grandis* L. (Escamilla *et al.*, 2015), *P. greggii* Engelm y *P. oaxacana* Mirov (Sánchez *et al.*, 2016).

Pinus greggii var. *australis* Donahue & López es una especie que se utiliza en los programas de reforestación

INTRODUCTION

Besides the substrate and container, cultural practices such as irrigation and fertilization influence quality and development of plants in the field (Peñuelas and Ocaña, 2000; Grossnickle, 2012). Containers impact the quantity of water and nutrients available for plants and affect morphological and physiological characteristics (Landis *et al.*, 1990; Peñuelas and Ocaña, 2000; Luna *et al.*, 2009).

Most forest nurseries in Mexico use peat moss as the main component of the substrates. It is an organic material extracted from swampy areas in Canada, the USA, and Europe. Thus, it must be imported to Mexico and its use increases plant production costs. Aguilera *et al.* (2016) determined that producing *Pinus montezumae* Lamb. plants in substrates based on peat moss and pine sawdust duplicates substrate cost, relative to those produced with sawdust alone. It is possible to use other materials to substitute peat moss as the principal component of substrates.

Plant nutrients in most nurseries are supplied with water-soluble fertilizers applied with irrigation. This form of fertilization has disadvantages, such as loss of nutrients through leaching and over fertilizing that can cause an imbalance between roots and the rest of the plant. To solve this problem, controlled release fertilizers (CRF) are applied. This type of fertilizer gradually transfers nutrients to the substrate and thus minimizes risk of toxicity and decreases losses from leaching (Oliet *et al.*, 1999; Rose *et al.*, 2004; Landis and Dumroese, 2009).

Because it is necessary to determine the advantages and disadvantages of containers, substrates and CRF, studies have been conducted with forest species, such as *P. pinea* L., *Quercus coccifera* L. (Torrente and Pemán, 2004), *Cedrela odorata* L. (Mateo *et al.*, 2011), *Pinus montezumae* Lamb. (Hernández *et al.*, 2014; Aguilera *et al.*, 2016), *Tectona grandis* L. (Escamilla *et al.*, 2015), *P. greggii* Engelm and *P. oaxacana* Mirov (Sánchez *et al.*, 2016).

Pinus greggii var. *australis* Donahue & López is a species used in reforestation programs in Mexico. It is a species that adapts to sites where moisture is limited and contributes to recovery of degraded soils. Moreover, it has high growth rates (Vargas and Muñoz, 1988; López *et al.*, 2004; Gómez *et al.*, 2012).

en México, con ventajas para la adaptación a sitios con humedad limitada, recuperación de suelos degradados y tasas altas de crecimiento (Vargas y Muñoz, 1988; López *et al.*, 2004; Gómez *et al.*, 2012).

El objetivo de este estudio fue probar la eficiencia de dos tipos de envases, tres sustratos, y una dosis de fertilizante (Osmocote®) aplicada de dos formas, en la producción de *P. greggii* var. *australis* Donahue & López en vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La producción de la planta se realizó en un invernadero en el vivero del Postgrado en Ciencias Forestales, del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Texcoco, México (19° 29' N, 98° 54' O, 2240 m de altitud y clima tipo C (Wo) (w) b (1) g', que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación media anual de 750 mm, temperatura media anual de 15.5 °C y oscilación térmica de 5 a 7 °C) (García, 1973). La temperatura y humedad relativa promedio dentro del invernadero, durante el experimento, fue 20 °C y 68 %.

Insumos usados

Envases. Los envases fueron (E1) con aberturas en el fondo (drenaje típico) y (E2) con drenaje lateral, aberturas en el fondo y tres aberturas circundantes de 5 mm de ancho, distribuidas en las paredes laterales. El volumen de ambos fue de 230 mL, 6 cm de diámetro superior y 12 cm de largo. Estos envases individuales de polipropileno son conocidos como tubetes y fueron colocados en mesas portatubetes con 25 cavidades.

Sustratos. Las mezclas de sustratos evaluadas fueron: (S1) turba de musgo, perlita y vermiculita, (S2) corteza de pino compostada, turba de musgo y aserrín de pino fresco, y (S3) aserrín de pino fresco, corteza de pino compostada y turba de musgo. La proporción en volumen de cada componente en la mezcla fue 3:1:1.

Fertilizante. El fertilizante de liberación controlada Osmocote Plus® (15N - 9P - 12K) se empleó en dosis de 8 g L⁻¹ en dos formas, con base en el tiempo de liberación (F1) solo fertilizante de 8 a 9 meses y (F2) una mezcla compuesta por 4 g L⁻¹ de fertilizante de 5 a 6 meses más 4 g L⁻¹ de fertilizante de 8 a 9 meses; éstos se aplicaron al preparar las mezclas de sustratos, previo al llenado de los envases.

The objective of this study was to test the efficiency of two types of containers, three substrates and one dosage of fertilizer (Osmocote®) applied in two ways on nursery production of *P. greggii* var. *australis* Donahue & López.

MATERIALS AND METHODS

Study area

Plants were produced in a greenhouse in the nursery of the Graduate Program in Forest Sciences of the Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Mexico 19° 29' N, 98° 54' W, altitude 2240 m and climate type C (Wo) (w) b (1) g', which is temperate subhumid with summer rains, annual mean precipitation 750 mm, mean annual temperature 15.5 °C and thermal oscillation 5 to 7 °C (García, 1973). Average temperature and relative humidity inside the greenhouse during the experiment were 20 °C and 68 %.

Inputs

Containers. The containers were (E1), with holes in the bottom (typical drainage), and (E2), with holes in the bottom and three 5 mm circular openings distributed around the container wall (lateral drainage). Both containers were 230 mL in volume, 6 cm upper diameter, and 12 cm tall. These polypropylene containers are known as deepots and were placed on deepot trays with 25 cavities.

Substrates. The substrate mixtures evaluated were (S1) peat moss, perlite and vermiculite, (S2) composted pine bark, peat moss and fresh pine sawdust, and (S3) fresh pine sawdust, composted pine bark and peat moss. The proportion of each component of the mixture was 3:1:1 volume.

Fertilizer. The controlled release fertilizer Osmocote Plus® (15N - 9P - 12K) was used at the dosage of 8 g L⁻¹ in two ways, based on release time: (F1) only fertilizer released in 8 to 9 months and (F2) a mixture composed of 4 g L⁻¹ fertilizer released in 5 to 6 months plus 4 g L⁻¹ fertilizer released in 8 to 9 months. These were applied during preparation of substrate mixtures before filling the containers.

Established treatments

Twelve treatments from the combination of two types of containers, three substrates and two manners of controlled release fertilizer application were assessed (Table 1).

Tratamientos establecidos

Doce tratamientos se evaluaron a partir de la combinación de dos tipos de envases, tres sustratos y dos formas de fertilización de liberación controlada (Cuadro 1).

Cada tratamiento incluyó cinco mesas portatubetes o repeticiones, con 25 plantas por repetición, de las cuales sólo se evaluaron 12 plantas, tomadas de la parte media de la mesa, para evitar efectos de orilla. Las mesas portatubetes se acomodaron en un diseño completamente al azar, sobre una estructura de metal dentro del invernadero del vivero durante 5 meses. Después para permitir el proceso de endurecimiento, durante los dos últimos meses de crecimiento las plantas se colocaron a la intemperie.

Manejo de la producción

El experimento se estableció el 13 de marzo de 2015 y tuvo una duración de 7 meses. Las semillas usadas fueron de *P. greggii* var. *australis* Donahue & López de una mezcla masal de 15 árboles, de la comunidad "El -Madroño, Querétaro". Las semillas se desinfectaron con una solución de cloro comercial al 5 % por 5 min y se colocaron en agua oxigenada al 10 %, por 5 min. Después se remojaron 24 h en agua a temperatura ambiente. Para la siembra se colocaron dos semillas por cavidad, y en caso de germinar ambas, se seleccionó la mejor y se eliminó la otra.

Each treatment included five trays, or replications, with 25 plants per replication, of which only 12 plants in the middle part of the tray were assessed to avoid edge effects. The deepot trays were placed in a completely randomized design on a metal structure in the nursery greenhouse for five months. After this time, to allow the hardening process to take place, the plants were placed outdoors for the last two months of growth.

Production management

The experiment was set up on March 13, 2015, and had a duration of 7 months. The seeds used were a masal mix from 15 *P. greggii* var. *australis* Donahue & López trees of the community El Madroño, Querétaro. The seeds were disinfected with a 5 % solution of commercial chlorine for 5 min and placed in 10 % hydrogen peroxide for 5 min. They were then soaked in water at ambient temperature for 24 h. Two seeds were sown in each cavity, and when both germinated, the better seedling was selected and the other was eliminated.

Assessed variables

Substrate characteristics

Physical and chemical characterization of the substrates was done in the Soil Physics Laboratory of the Colegio de

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en la producción en vivero de *P. greggii* var. *australis* Donahue & López.
Table 1. Treatments evaluated in nursery production of *P. greggii* var. *australis* Donahue & López.

Tratamiento	Envase	Sustrato	Dosis de FLC g L ⁻¹	
			5-6 [†]	8-9 [†]
T1	E1: con aberturas en el fondo	S1		8
T2			4	4
T3		S2		8
T4			4	4
T5		S3		8
T6			4	4
T7	E2: con aberturas laterales	S1		8
T8			4	4
T9		S2		8
T10			4	4
T11		S3		8
T12			4	4

S1: turba de musgo, perlita, vermiculita, S2: corteza de pino compostada, turba de musgo, aserrín de pino fresco y S3: aserrín de pino fresco, turba de musgo, corteza de pino compostada; cada mezcla tuvo proporción 3:1:1 (v:v:v); FLC: fertilizantes de liberación controlada; [†] meses de liberación. ♦ S1: peat moss, perlite, vermiculite, S2: composted pink bark, peat moss, fresh pine sawdust, and S3: fresh pine sawdust, peat moss, composted pine bark; the proportion of each mixture was 3:1:1 (v:v:v); FLC: controlled release fertilizers; [†] months of release.

Variables evaluadas

Características de los sustratos

La caracterización física y química de los sustratos se realizó en el Laboratorio de Física de Suelos del Colegio de Postgraduados, en cinco repeticiones por evaluación, que incluyeron: porosidad (Landis *et al.*, 1990), pH por el método del potenciómetro y CE por el método del conductímetro, granulometría, curvas de liberación y retención de agua (De Boodt *et al.*, 1974) y relación C:N.

Morfología de las plantas

Después de 7 meses de la siembra se determinó el diámetro del cuello de la raíz (DCR) con un vernier digital (0.01 mm) y la altura del vástago desde la base hasta la yema apical (1 mm). Las plantas se cosecharon y separó el vástago y raíces, se colocaron en bolsas de papel de estraza, se deshidrataron en un horno a 70 °C por 72 h. El peso seco de la parte aérea (PSA) y de las raíces (PSR) se determinaron en una balanza analítica con aproximación de 0.01 g. Con los datos se calcularon los índices de calidad de planta: índice de esbeltez (IE), relación peso seco aéreo/peso seco de las raíces (PSA/PSR) y el índice de calidad de Dickson (ICD), con las siguientes fórmulas:

$$IE = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{DCR (mm)}}$$

$$\text{Relación PSA / PSR} = \frac{\text{PSA (g)}}{\text{PSR (g)}}$$

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total de la planta (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{DCR (mm)}} + \frac{\text{PSA (g)}}{\text{PSR (g)}}}$$

Concentración de nutrimentos en el follaje

Cinco acículas deshidratadas de la sección media de cada planta por tratamiento se colocaron en bolsas de papel estraza para cuantificar N, P y K. Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Vegetal, del Colegio de Postgraduados. La concentración de N en el follaje se determinó por el método semimicro-Kjeldahl (Bremner, 1965), con ácido sulfúrico-salicílico para la digestión. La concentración de P y K se determinó mediante digestión húmeda del material seco, con una mezcla de ácidos perclórico y nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). La lectura de los extractos, se determinó en un equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma.

Postgraduados. Five replications per evaluation were performed. The analyses included porosity (Landis *et al.*, 1990), pH with the potentiometer method, EC with the conductimeter method, granulometry, release and water retention curves (De Boodt *et al.*, 1974), and C:N ratio.

Plant morphology

Seven months after sowing, root collar diameter (RCD) was measured with a digital Vernier (0.01 mm) and stem height from the base to the apical bud (1 mm). The plants were harvested and the stem was separated from the roots. The plant parts were placed in brown paper bags and dehydrated in an oven at 70 °C for 72 h. Shoot dry weight (SDW) and root dry weight (RDW) were determined on an analytical balance with precision of 0.01 g. With these data, plant quality indexes were calculated: sturdiness quotient (SQ), shoot dry weight/root dry weight ratio (SDW/RDW), and the Dickson quality index (DQI), with the following formulas:

$$IE = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{DCR (mm)}}$$

$$\text{Relación PSA / PSR} = \frac{\text{PSA (g)}}{\text{PSR (g)}}$$

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total de la planta (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{DCR (mm)}} + \frac{\text{PSA (g)}}{\text{PSR (g)}}}$$

Nutrient concentration in foliage

Five dehydrated needles for the middle section from each plant of each treatment were placed in brown paper bags to quantify N, P and K. These analyses were conducted in the Plant Nutrition Laboratory of the Colegio de Postgraduados. N concentration in foliage was determined with the semi-micro-Kjeldahl method (Bremner, 1965) with sulfuric-salicylic acid for digestion. Concentrations of P and K were determined by humid digestion of the dry matter with a mixture of perchloric and nitric acids (Alcántar and Sandoval, 1999). Extract readings were done in an induced plasma atomic emission spectroscopy.

Experimental design and statistical analysis

The experimental design was completely randomized with a 2×3×2 factorial array: two types of containers, three substrates and two manners of fertilization. This is represented by the model:

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

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial $2 \times 3 \times 2$, resultado de dos tipos de envases, tres sustratos y dos formas de fertilización, representado por el modelo $Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$, donde A corresponde a los envases, B al sustrato y C a la forma de fertilización. El análisis de varianza se realizó con el software InfoStat® versión 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas y químicas de los sustratos

La porosidad total (PT) varió de 77 % en S2 a 83 % en S3. La porosidad de aireación (PA) fue menor en S1 (19 %) y alcanzó el valor mayor (27 %) en S3. Con relación al porcentaje de porosidad de retención de agua (PRA), S1 obtuvo el valor mayor (63 %) y S2 el menor (54 %). La corteza (S2) y el aserrín de pino (S3) presentaron los valores mayores de C:N (537 y 613), debido al contenido alto de celulosa. Los sustratos presentaron pH ácido: 5.3 en S1, 4.8 en S2 y 4.9 en S3. Los valores de CE variaron de 0.9 a 1.7 dS m^{-1} ; S1 tuvo el valor mayor y S3 el menor (Cuadro 2). Cabrera (1999) indicó que la porosidad mínima es 70 % para PT, 10 % para PA y 55 % para PRA; en este caso los sustratos estuvieron entre los valores mínimos mencionados.

El pH en los sustratos que contenían aserrín y corteza varió con la proporción de cada material. Hernández *et al.* (2014) determinaron pH entre 4.1 y 5.2 y Sánchez *et al.* (2008) entre 4.3 y 4.7. En ambos casos utilizaron mezclas de corteza y aserrín de

$+ \varepsilon_{ijkl}$, where A is containers, B is the substrate, and C is the manner of fertilization. The analysis of variance was done with the software InfoStat® version 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTS AND DISCUSSION

Physical and chemical properties of the substrates

Total porosity (TP) varied from 77 % in S2 to 83 % in S3. Aeration porosity (AP) was less in S1 (19 %) and in S3 it reached the highest value (27%). In percentage of water retention porosity (WRP), S1 had the highest values (63 %), while S2 had the lowest (54 %). Pine bark (S2) and sawdust (S3) had the highest values of C:N (537 and 613) because of the high cellulose content. The substrates had acid pH: 5.3 in S1, 4.8 in S2, and 4.9 in S3. Electric conductivity varied from 0.9 to 1.7 dS m^{-1} ; S1 had the highest value and S3 the lowest (Table 2). Cabrera (1999) indicated that minimum porosity is 70 % for TP, 10 % for AP and 55 % for WRP. In this case, the substrates were above these minimum values.

In the substrates that contained sawdust and bark, pH varied with the proportion of each material. In other studies using mixtures of pine bark and sawdust in different proportion, Hernández *et al.* (2014) found pH between 4.1 and 5.2, and Sánchez *et al.* (2008) between 4.3 and 4.7. In both cases they used mixtures of pine bark and sawdust in different proportions. Landis *et al.* (1990) indicated that the pH suitable for plant production and also to reduce risk of phytopathogenic fungi is 5.5 to 6.5. Hernández *et al.* (2014) and Sánchez *et al.* (2008) also obtained higher EC than our study in substrates

Cuadro 2. Características físicas y químicas de los sustratos utilizados en la producción de *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López.

Table 2. Physical and chemical characteristics of substrates used in the production of *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López.

Sustrato	Porosidad total (%)	Porosidad de aireación (%)	Porosidad de retención de agua (%)	C:N	pH	CE (dS m^{-1})
S1	82	19	63	159	5.3	1.7
S2	77	23	54	537	4.8	1.2
S3	83	27	56	613	4.9	0.9

S1: turba de musgo, perlita, vermiculita, S2: corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino y S3: aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino (3:1:1 vol:vol), C:N: relación carbono:nitrogeno y CE: conductividad eléctrica. ♦ S1: peat moss, perlite, vermiculite, S2: pine bark, peat moss and pine sawdust, and S3: pine sawdust, peat moss and pine bark (3:1:1 vol:vol), C:N: carbon:nitrogen ratio and CE: electric conductivity.

pino en proporciones diferentes. Landis *et al.* (1990) indicaron que el pH adecuado para producir las plantas, y también reduce el riesgo de presencia de hongos fitopatógenos es 5.5 a 6.5. Hernández *et al.* (2014) y Sánchez *et al.* (2008) obtuvieron CE mayores que las del presente estudio, en sustratos con proporción mayor de corteza mezclada con aserrín. Pero, de acuerdo con Mathers *et al.* (2007) el intervalo de la CE es de 0.2 a 1.0 dS m⁻¹.

Morfología de las plantas

El efecto del envase y el sustrato fueron significativos en la morfología ($p \leq 0.0001$); la morfología de las plantas producidas con F1 fue similar que con F2, excepto en PSR, que fue significativamente mayor con F2 ($p = 0.0011$). Además, la interacción envase $\times$ sustrato fue altamente significativa ($p \leq 0.0001$) para la mayoría de las variables morfológicas, con excepción de PSR (Cuadro 3).

Envases

Después de siete meses de crecimiento las plantas en los envases E1 tuvieron más altura (28.7 respecto a 23.6 cm), diámetro (4.16 respecto a 3.86 mm), PSA (3.91 respecto a 2.99 g) y PSR (1.39 respecto a 0.92 g) en comparación con los envases E2 (Cuadro 3). Esto pudo deberse a diferencias en la pérdida de agua y fertilizante. Aunque la pérdida rápida de agua en los envases E2 afecta el crecimiento (Landis, 2005), en ellos se disminuyen las deformaciones de la raíz en contraste con los E1.

Nuestros resultados coincidieron con los de Sánchez *et al.* (2016) en *P. greggii* Engelm y *P. oaxacana* Mirov. En otras especies, como *Pinus radiata* D. Don (Ortega *et al.*, 2006) y *Pinus pinea* L. se han obtenido resultados similares; pero, en *Quercus coccifera* L. no hubo diferencias morfológicas entre las plantas en los dos tipos de envase (Torrente y Pemán, 2004).

Sustratos

Las plantas en S1 presentaron crecimiento mayor, en altura (27.7 cm), diámetro (4.28 mm) y PSA (3.67 g); la excepción fue PSR (1.16 g), que en S3 fue mayor (1.23 g). (Cuadro 3).

Los sustratos con aserrín se usan para producir especies forestales satisfactoriamente, como *Cedrela odorata* L. (Mateo *et al.*, 2011), *Pinus pseudostrobus*

with a larger proportion of bark mixed with sawdust. However, according to Mathers *et al.* (2007), the EC interval is 0.2 to 1.0 dS m⁻¹.

Plant morphology

The effects of container and substrate on morphology were significant ($p \leq 0.0001$). Morphology of the plants produced with F1 was similar to that of plants produced with F2, except for RDW, which was significantly higher with F2 ($p = 0.0011$). Moreover, the interaction container $\times$ substrate was highly significant ($p \leq 0.0001$) for most of the morphological variables, except for RDW (Table 3).

Containers

After seven months of growth, the plants in containers E1, compared with those in E2 containers, were taller (28.7 cm *vs* 23.6 cm), had larger diameter (4.15 cm *vs* 3.86 mm), higher SDW (3.91 *vs* 2.99 g) and higher RDW (1.39 *vs* 0.92 g) (Table 3). These differences may be due to differences in loss of water and fertilizer. Although rapid water loss in E2 containers affects growth (Landis, 2005), deformations of roots decreased, relative to that of plants in E1 containers.

Our results coincided with those of Sánchez *et al.* (2016), who studied *P. greggii* Engelm and *P. oaxacana* Mirov. In other species, such as *Pinus radiata* D. Don (Ortega *et al.*, 2006) and *Pinus pinea* L., similar results have been obtained, but with *Quercus coccifera* L., there were no morphological differences between plants grown in the two types of container (Torrente and Pemán, 2004).

Substrates

Plants in S1 had better growth: height (27.7 cm), diameter (4.28 mm) and SDW (3.67 g). The exception was RDW (1.16 g), which was better in S3 (1.23 g) (Table 3).

Substrates with sawdust are used satisfactorily to produce forest species, such as *Cedrela odorata* L. (Mateo *et al.*, 2011), *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* (Lindl.) Shaw (Reyes *et al.*, 2005) and *P. montezumae* Lamb. (Hernández *et al.* 2014). Moreover, the cost of this substrate is lower for production of *P. montezumae* Lamb. (Aguilera *et al.*, 2016).

Cuadro 3. Valores promedio para las características morfológicas e índices de calidad de planta de *P. greggii* var. *australis* Donahue & López después de siete meses en vivero.**Table 3. Average values for morphological characteristics and plant quality indexes of *P. greggii* var. *australis* Donahue & López after seven months in nursery.**

T	E	S	F	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Peso seco (g)		IE	PSA/PSR	ICD
						Parte aérea	Raíz			
1	E1 Envase con drenaje típico	S1	F1	28.1b	4.22a	3.82bcd	1.37ab	6.7de	2.8ab	0.55a
2			F2	30.0a	4.32a	4.06abc	1.37ab	7.0ef	3.0abc	0.55a
3		S2	F1	26.8bc	3.74bc	3.44de	1.23b	7.2f	2.8ab	0.47b
4			F2	26.2cd	3.91bc	3.68bcde	1.45a	6.7de	2.6a	0.55a
5		S3	F1	30.0a	4.38a	4.32a	1.43a	6.9def	3.1bc	0.57a
6			F2	30.7a	4.40a	4.17ab	1.50a	7.0ef	3.0abc	0.57a
7	E2 Envase con aberturas laterales	S1	F1	25.2de	4.21a	3.20e	0.90cde	6.0ab	3.6d	0.43bc
8			F2	28.2b	4.35c	3.59cde	101.00cde	6.5cd	3.6d	0.46b
9		S2	F1	22.1f	3.66c	2.55f	0.77e	6.1b	3.3cd	0.35d
10			F2	21.3f	2.58c	2.62f	0.85de	6.0ab	3.2 bcd	0.38cd
11		S3	F1	24.2e	3.92b	3.37de	1.03c	6.2bc	3.3cd	0.47b
12			F2	20.6f	3.65c	2.62f	0.97cd	5.7a	2.8ab	0.43bc
	E1	Todos	Todos	28.7a	4.16a	3.91a	1.39a	6.9b	2.9a	0.54a
	E2	Todos	Todos	23.6b	3.86b	2.99b	0.92b	6.1a	3.3b	0.42b
	Todos	S1	Todos	27.7a	4.28a	3.67a	1.16b	6.6a	3.3b	0.50a
	Todos	S2	Todos	26.4b	3.72c	3.62a	1.08c	6.5a	3.0a	0.44b
	Todos	S3	Todos	24.0c	4.09b	3.07b	1.23a	6.4a	3.0a	0.51a
	Todos	Todos	F1	26.2a	4.02a	3.45a	1.12b	6.5a	3.2b	0.47b
	Todos	Todos	F2	26.1a	4.04a	3.46a	1.19a	6.5a	3.0a	0.49a

Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$); T: tratamiento, E: envase, S: sustrato, S1: turba de musgo, perlita y vermiculita, S2: corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino y S3: aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino en proporción de 3:1:1 (v:v) para cada uno de sus componentes. F: fertilización, F1: 8 g L⁻¹ FLC de 8 a 9 meses de liberación, F2: 4 g L⁻¹ FLC de cada tiempo de liberación, IE: índice de esbeltez, PSA/PSR: relación parte aérea/ raíces, ICD: índice de calidad de Dickson. ♦ Different letters in a column indicate significant differences (Tukey, $P \leq 0.05$); T: treatment, E: container, S: substrate, S1: peat moss, perlite and vermiculite, S2: pine bark, peat moss and pine sawdust, and S3: pine sawdust, peat moss and pine bark in 3:1:1 (v:v) proportion of each of the components. F: fertilization, F1: 8 g L⁻¹ FLC released for 8 to 9 months, F2: 4 g L⁻¹ FLC during each release period, IE: sturdiness quotient, PSA/PSR: aerial part/ roots ratio, ICD: Dickson quality index.

var. *apulcensis* (Lindl.) Shaw (Reyes *et al.*, 2005) y *P. montezumae* Lamb. (Hernández *et al.* 2014). Además, el costo de este sustrato es menor para producción de *P. montezumae* Lamb. (Aguilera *et al.*, 2016).

Los sustratos a base de aserrín crudo de pino pueden afectar negativamente el crecimiento de las plantas, principalmente por su contenido de terpenos y la disponibilidad de nutrimentos, como N (Miller y Jones, 1995; Haase *et al.*, 2015). Pero, los resultados de nuestro estudio demostraron que los sustratos S2 y S3 permitieron el desarrollo de plantas con características morfológicas adecuadas. Las plantas de *Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd. (Prieto *et al.*, 2013) y *Pinus greggii* Engelm. (Maldonado *et al.*, 2011) producidas en sustratos a base de corteza de pino pueden presentar talla y peso menores.

Substrates based on raw pine sawdust may negatively affect plant growth, mainly because of their content of terpenes and availability of nutrients such as N (Miller and Jones, 1995; Haase *et al.*, 2015). However, the results of our study demonstrated that substrates S2 and S3 allowed the development of plants with adequate morphological characteristics. *Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd. (Prieto *et al.*, 2013) and *Pinus greggii* Engelm. (Maldonado *et al.*, 2011) plants produced in pine bark-based substrates may have smaller stems and lower weight.

Fertilization

Fertilization statistically affected only RDW, which was higher with F2 than with F1 (Table 3). This

Fertilización

La fertilización sólo afectó estadísticamente PSR, que fue mayor con F2 respecto a F1 (Cuadro 3). Lo anterior pudo deberse a que el método combinado liberó con eficiencia mayor los nutrientes y mejoró el desarrollo de raíces. Sin embargo, por la facilidad de aplicación y las similitudes en morfología, se sugiere la forma sin mezclar y asegurar la liberación que cubra el período total en el que las plantas estarán en el vivero (de 8 a 9 meses) (Cuadro 3).

Nuestros resultados coincidieron con los de otros estudios, con *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst., *Nothofagus nervosa* (Phil.) Krasser y *Eucryphia cordifolia* Cav. (Bustos *et al.*, 2008), *Tectona grandis* L. (Escamilla *et al.*, 2015) y *Pinus montezumae* Lamb. (Aguilera *et al.*, 2016) donde se utilizó solo FLC, Osmocote®, principalmente.

Mexal y Landis (1990) señalaron que para estimar el desempeño de las plantas, la altura y el diámetro al cuello de la raíz son los mejores rasgos, una vez establecidas en campo, y reiteraron que el diámetro mínimo deber ser de 5 mm, para obtener supervivencia de 75 % o mayor. En relación con esto, Prieto *et al.* (2003) indicaron que la altura de plantas debe ser de 15 a 20 cm. La altura de las plantas estuvo en el intervalo mencionado por Prieto *et al.* (2003) y el diámetro promedio mayor fue de 4.40 mm (Cuadro 3); aunque, este atributo depende de la especie.

Aunque la morfología no mostró tendencia definida en relación con la fertilización, la combinación de E1 con S3 mostró plantas con las variables morfológicas mejores; pero resultó estadísticamente no diferente con S1 (Cuadro 3).

Índices de calidad de planta

Los análisis de varianza indicaron que el efecto del sustrato y el fertilizante fueron no significativos para IE, pero el tipo de envase afectó significativamente ($p \leq 0.05$) los índices. Los resultados para IE oscilaron de 5.7 a 7.2. En los envases E1 las plantas crecieron desproporcionadas, con tallos largos y delgados.

De acuerdo con Prieto *et al.* (2009) las plantas de calidad alta muestran índice de esbeltez (IE) menor a seis. Las plantas en E2 presentaron IE óptimo. Esto posiblemente porque la distribución de la humedad pudo diferir entre los envases. Maldonado *et al.* (2011) observaron resultados similares en *P. greggii*.

result may have been because the combined method released nutrients more efficiently and improved root development. However, because of the similarities in morphology and to facilitate application, we suggest not mixing fertilizers, assuring that controlled release covers the entire period in which the plants are in the nursery (8 to 9 months) (Table 3).

Our results coincide with those of other studies conducted with *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst., *Nothofagus nervosa* (Phil.) Krasser and *Eucryphia cordifolia* Cav. (Bustos *et al.*, 2008), *Tectona grandis* L. (Escamilla *et al.*, 2015) and *Pinus montezumae* Lamb. (Aguilera *et al.*, 2016) using only CRE, mostly Osmocote®.

Mexal and Landis (1990) pointed out that to estimate plant performance, height and root collar diameter are the most useful traits once established in the field. They reiterated that diameter should not be smaller than 5 mm to obtain a survival rate of 75 % or more. Also, Prieto *et al.* (2003) stated that plant height should be 15 to 20 cm. In our study, plant height was in the range mentioned by Prieto *et al.* (2003), and average diameter was 4.40 mm (Table 3). This attribute, however, depends on the species. Although there was no definite trend in morphology, associated with fertilization, the combination of E1 with S3 produced plants with better morphological variables, even though the combination with S1 was statistically not different (Table 3).

Plant quality indexes

The analyses of variance indicated that the effect of the substrate and of fertilizing were not significant for SI, but the type of container significantly ($p \leq 0.05$) affected the indexes. The results for SI oscillated between 5.7 and 7.2. In the E1 containers, plant growth was disproportionate, with long, slender stems.

According to Prieto *et al.* (2009), high quality plants have a sturdiness quotient (SQ) below six. The plants in E2 had optimum SI. This is possibly because the distribution of moisture could have differed between container types. Maldonado *et al.* (2011) observed similar results with *P. greggii*.

Values of the SDW/RDW ratios were higher in all the treatments than those recommended by Prieto *et al.* (2009), who stated that values below 2.5 indicate an adequate proportion between the root

Los valores de la relación PSA/PSR fueron mayores en todos los tratamientos respecto a los recomendados por Prieto *et al.* (2009), quienes indican que valores menores a 2.5 indican la proporción adecuada entre el sistema de raíces y el vástago. Este índice mostró diferencias debido al tipo de envase; al respecto en E1 el valor fue 2.9 y en E2 fue 3.3. El valor mayor parece que es consecuencia de la poda que causan esos envases, con el aumento de la cantidad de raíces vivas (Sánchez *et al.*, 2016), pero delgadas y con peso menor, más eficientes para suministrar agua y nutrimentos a las plantas en campo.

A mayor ICD mejor calidad de planta, de acuerdo con Sáenz *et al.* (2010) el valor debe ser mayor a 0.5 para calificar a la planta con calidad alta. El valor de ICD promedio más alto fue para las plantas producida en S3; en contraste el valor promedio menor correspondió a las plantas producidas en S2. Los tipos de envase también generaron valores significativos diferentes; E1 generó valores mayores (Cuadro 3). Investigaciones realizadas con sustratos diferentes en *P. greggii* Engelm. (Maldonado *et al.*, 2011) y poda química de raíces (Barajas *et al.*, 2004) obtuvieron valores menores de ICD, en comparación a los de esta investigación.

Contenido nutrimental de follaje

La concentración de N en los doce tratamientos no mostró diferencias significativas ($p < 0.05$). Los tratamientos E2 (T7 a T12) mostraron valores similares de P y K, excepto los S1, que presentó valores ligeramente inferiores. En las combinaciones S3 (T5, T6, T11 y T12) las concentraciones de K fueron mayores en comparación de las otras combinaciones. La combinación de fertilización (F2) en general generó valores más altos de K (Cuadro 4).

Los porcentajes mayores de N se presentaron con los tratamientos S1 (T2 y T8) y la menor con S2 (T4 y T10), en ambos casos con el esquema de fertilización F2. Las concentraciones de P fueron similares en todos los tratamientos. Los valores mayores de K se presentaron en los tratamientos S3 (Cuadro 4). Los contenidos de nutrimentos en este estudio, en *P. greggii* var. *australis* Donahue & López, variaron de 0.85 a 1.14 % en N, de 0.17 a 0.21 % en P y de 0.27 a 0.42 % (Cuadro 4) en K. Aguilera *et al.* (2016)

system and shoot. Differences in this index were due to type of container. In E1, the index value was 2.9, while in E2 it was 3.3. The higher value seems to be consequence of the pruning these containers cause, which increases the quantity of live roots (Sánchez *et al.*, 2016), which are slender and lighter, but more efficient in supplying water and nutrients to plants in the field.

A higher Dickson quality index (DQI) indicates better plant quality. According to Sáenz *et al.* (2010), the DQI should be above 0.5 to score a high quality plant. The highest average DQI corresponded to plants produced in S3, while the lowest average value corresponded to plants produced in S2. Container type also generated significantly different values; E1 generated higher values (Table 3). Studies conducted with *P. greggii* Engelm. in different substrates (Maldonado *et al.*, 2011) and chemical root pruning (Barajas *et al.*, 2004) obtained lower DQI values than our study.

Foliage nutrient content

Concentration of N in the twelve treatments was not significantly different ($p < 0.05$). Treatments E2 (T7 to T12) had similar values of P and K, except in S1, which had slightly lower values. In the S3 combinations (T5, T6, T11 and T12) K concentrations were higher than in the other combinations. The combination of fertilization (F2), in general, produced higher K values (Table 4).

The highest percentages of N were found with treatments S1 (T2 and T8) and the lowest with S2 (T4 and T10), in both cases with the F2 fertilization scheme. Concentrations of P were similar in all of the treatments. The highest values of K were found in the S3 treatments (Table 4). Nutrient contents found in *P. greggii* var. *australis* Donahue & López of our study varied 0.85 to 1.14 % (N), 0.17 to 0.21 % (P) and 0.27 to 0.42 % (K) (Table 4). Aguilera *et al.* (2016) obtained similar values in *P. montezumae* Lamb. with the same dosages of fertilizer Osmocote Plus®.

Miller and Jones (1995) mention that sawdust can negatively affect nutrient availability, especially that of N. However, the results of this study showed that *P. greggii* var. *australis* Donahue & López produced in S3 were not deficient in foliage N concentration.

Cuadro 4. Concentración porcentual de N, P, K en el follaje de *P. greggii* var. *australis* Donahue & López.**Table 4. Percent concentration of N, P, K in *P. greggii* var. *australis* Donahue & López foliage.**

Tratamiento	Sustrato	5 a 6 meses de liberación Dosis (g L ⁻¹)	8 a 9 meses de liberación	N	Concentración P (%)	K
1	S1		8	0.96a	0.20abc	0.35c
2	S1	4	4	1.14a	0.17de	0.29d
3	S2		8	0.88a	0.17e	0.27d
4	S2	4	4	0.86a	0.18cde	0.33c
5	S3		8	1.00a	0.19bcd	0.33c
6	S3	4	4	0.93a	0.18cde	0.34c
7	S1		8	0.91a	0.18cde	0.34c
8	S1	4	4	1.12a	0.21ab	0.40b
9	S2		8	0.96a	0.21 a	0.42ab
10	S2	4	4	0.85a	0.20ab	0.41ab
11	S3		8	0.96a	0.20abc	0.42ab
12	S3	4	4	0.93a	0.21ab	0.44a

S1: turba de musgo, perlita y vermiculita, S2: corteza de pino, turba de musgo y aserrín de pino y S3: aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino en proporción de 3:1:1 (v:v). Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). ♦ S1: peat moss, perlite and vermiculite, S2: pine bark, peat moss and pine sawdust, and S3: pine sawdust, peat moss and pine bark in de 3:1:1 (v:v) proportion. Different letters in a column indicate significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$).

obtuvieron valores similares en *P. montezumae* Lamb. con la misma dosis de fertilización de Osmocote Plus®.

Miller y Jones (1995) mencionan que el aserrín puede afectar negativamente la disponibilidad de nutrientes, principalmente N. Pero los resultados de nuestro estudio mostraron que las plantas de *P. greggii* var. *australis* Donahue & López producidas en S3 no presentaron deficiencias en la concentración de N en el follaje.

CONCLUSIONES

El diseño del envase tiene efecto en las características morfológicas. Los envases E1 generan plantas más grandes que los E2. Las plantas en sustratos a base de aserrín crudo de pino y corteza composteada, no presentan deficiencias nutrimentales. El sustrato con proporción mayor de aserrín propicia el desarrollo mayor de raíces, que puede presentar ventaja en el establecimiento en campo. La fertilización no tuvo efecto en el crecimiento de las plantas ni en la concentración de nutrientes en el follaje.

LITERATURA CITADA

Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T. y V. M. Ordaz C. 2016. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes

CONCLUSIONS

Container design affected morphological characteristics. Plants grown in E1 containers were larger than those in E2 container. Plants grown in fresh pine sawdust based and composted pine bark substrates did not have nutrient deficiencies. The substrate with the highest proportion of sawdust promoted greater root development, which is advantageous for establishment in the field. Fertilization did not have an effect on plant growth or foliage nutrient concentration.

—End of the English version—

-----*-----

sustratos y fertilizantes de liberación controlada. Agrociencia 50: 107-118.

Alcántar G., G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 150 p.

Barajas R., J. E., A. Aldrete, J. J. Vargas H. y J. López U. 2004. La poda química en vivero incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. Agrociencia 38: 545-553.

Bremner, J. M. 1965. Total Nitrogen. In: C. A. Black (ed.) Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbial properties. Number 9 in series Agronomy. American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Madison, USA. pp: 1049-1178.

- Bustos, F., M. E. González, P. Donoso, V. Gerding, C. Donoso, y B. Escobar. 2008. Efecto de distintas dosis de fertilización de liberación controlada (Osmocote®) en el desarrollo de plantas coigüe, raulí y ulmo. *Bosques* 29:155-161.
- Cabrera I., R. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 5: 5-11.
- De Boodt, M., O. Verdonck and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hortic.* 37: 2054-2062.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. González, M. Tablada y C. W. Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- 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.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 2ª Ed. Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. pp: 39-40.
- Gómez R., M., J. C. Soto C., J. A. Blanco G., C. Saénz R., J. Villegas y R. Lindig C. 2012. Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. *Agrociencia* 46: 795-807.
- Grossnickle, S. C. 2012. Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests* 43:711-738.
- Haase, D. L., R. K. Dumroese, K. M. Wilkinson and T. D. Landis. 2015. Tropical nursery concepts and practices. *In: Tropical Forestry Handbook*. USDA. pp: 1 -30.
- 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.
- Landis, T. D. 2005. Sideslit or Airlit Containers. *In: Dumroese, R. K., Landis, T. D. and Watson, R. (eds). Forest Nursery Notes*. USDA, Forest Service. Washington, D.C. Summer. pp: 17-19.
- Landis, T. D. and R. K. Dumroese. 2009. Using polymer coated controlled release fertilizers in the nursery and after outplanting. *In: Dumroese, R. K., Landis, T. D., Watson, R. and Hutchinson, L. (eds). Forest Nursery Notes*. USDA, Forest Service. Washington, D.C. Winter. pp: 5-12.
- 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. Agricultural. Handbook 674. USDA, Forest Service. Washington, DC. USA. 88 p.
- López U., J., C. Ramírez H., O. Plascencia E. y J. Jasso M. 2004. Variación en crecimiento de diferentes poblaciones de las dos variedades de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38: 457-464.
- Luna, T., T. D. Landis, and R. K. Dumroese. 2009. Containers. *In Dumroese, R. K., Luna, T. and T. D. Landis (eds.). Nursery manual for native plants: volume 1, a guide for tribal nurseries. Agriculture Handbook 730.*: USDA, Forest Service. Washington, DC. pp: 95 – 111.
- Maldonado B., K. R., A. Aldrete, J. López U., H. Vaquera H. y V. M. Cetina A. 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezcla de sustratos con hidrogel y riego, en vivero. *Agrociencia* 45: 389-393.
- 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 Tépica 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: 151:162.
- Mexal, J. G. and T. D. Landis. 1990. Target seedlings concepts: Height and diameter. *In: Rose, R., S.J. Campbell and T.D. Landis (eds.). Target Seedlings Symposium: Proceedings, combined meeting of the western forest nursery associations. General technical report. RM-200. USDA, Forest Service. Ft. Collins. CO. pp: 17-36.*
- Miller, J. H. and N. Jones. 1995. Organic and compost-based growing media for tree seedling nurseries. World Bank Tech. Paper No 264, Forestry Series. The World Bank, Washington, D. 75 p.
- Oliet, J., M. L. Segura, F. Martín D., E. Blanco, R. Serrada, M. López A. y F. Artero. 1999. Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. *Invest. Agrar. Sist. Rec. Forest.* 8: 208 – 228.
- Ortega, U., J. Majada, A. Mena P., J. Sánchez Z., N. Rodríguez I., K. Txarterina, J. Azpitarte. y M. Duñabeitia. 2006. Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. *New Forests* 31: 97-112.
- Peñuelas R., J. L. y L. Ocaña B. 2000. Cultivos de Planta Forestal En Contenedor. Principios y Fundamentos. Mundi Prens. Barcelona, España. 199 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. Publicación especial No. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. 48 p. Durango, Dgo. México.
- Prieto R., J. A., G. Vera C. y E. Merlín B. 2003. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico 12. Campo Experimental Valle de Guadiana- INIFAP-SAGARPA. Durango, Dgo. México. 24 p.
- Prieto R., J. A., S. Rosales M., J. A. Sigala R., R. E. Madrid A. y J. M. Mejía B. 2013. Producción de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd.) con diferentes mezclas de sustratos. *Rev. Mex. Cienc. For.* 4: 50-57.
- 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. Cienc. For. Amb.* 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.
- Sáenz R., J. T., F. J. Villaseñor R., H. J. Muñoz F., A. Rueda S. y J. A. Prieto R. 2010. Calidad de Planta en Viveros Forestales de Clima Templado en Michoacán. Folleto Técnico Núm. 17. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán. 48 p.
- 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.

- Sánchez A., H., A. Aldrete, J. J. Vargas H. y V. M. Ordaz C. 2016. Influencia del tipo y color de envase en el desarrollo de plantas de pino en vivero. *Agrociencia* 50: 481-492.
- Torrente S., I. y J. Pemán G. 2004. Influencia de los contenidos abiertos lateralmente en la morfología aérea y radicular en plántulas de *Pinus pinea* y *Quercus coccifera*. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 17: 239-243.
- Vargas H., J. J. y A. Muñoz O. 1988. Resistencia a sequía: II. Crecimiento y supervivencia en plántulas de cuatro especies de *Pinus*. *Agrociencia* 72: 197-208.