

CRECIMIENTO DE *Pinus montezumae* Lamb. EN VIVERO INFLUENCIADO POR DIFERENTES MEZCLAS DE SUSTRATOS

NURSERY GROWTH OF *Pinus montezumae* Lamb. INFLUENCED BY DIFFERENT SUBSTRATE MIXTURES

Lisbeth Hernández-Zarate, Arnulfo Aldrete*, Víctor M. Ordaz-Chaparro, Javier López-Upton, Miguel Á. López-López

Forestal. Campus Montecillo. Colegio de Posgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (aldrete@colpos.mx, ordaz@colpos.mx, uptonj@colpos.mx, lopezma@colpos.mx)

RESUMEN

El aserrín y la corteza de pino, subproductos de la industria forestal, se pueden usar como sustrato y sustituir a la turba en la producción de planta en viveros. Por tanto, se evaluó el crecimiento de plántulas de *Pinus montezumae* Lamb. producidas en contenedor en mezclas de sustratos compuestas con corteza de pino y aserrín que formaron nueve mezclas y un tratamiento testigo (60 % turba + 20 % perlita + 20 % vermiculita), y se determinaron características físicas y químicas. El pH osciló entre 4.2 y 6.3, la conductividad eléctrica de 0.25 a 3.98 dSm⁻¹, la porosidad total de 69 a 81 %, la porosidad de aireación de 26 a 34 %, la porosidad de retención de humedad de 36 a 52 %, y la densidad aparente de 0.17 a 0.32 g cm⁻³. En la curva de liberación de agua, el agua no disponible varió de 8 a 46 %, el agua fácilmente disponible de 6 a 18 %, el agua de reserva de 3 a 8 % y el agua difícilmente disponible de 18 a 37 % en todos los tratamientos. Hubo diferencias significativas entre los tratamientos en el crecimiento de las plántulas a 10 meses de edad: el diámetro varió de 9.7 a 11.5 mm, el peso seco aéreo de 1.97 y 2.87 g, y el peso seco de raíz de 3.51 a 61.05 g. La relación parte aérea/raíz en todos los tratamientos fue de 1 a 2.5. Las mezclas con crecimientos similares al testigo y con características físicas adecuadas para producir planta de esta especie fueron T9 (aserrín 70 % + turba 10 % + perlita 10 % + vermiculita 10 %) y T1 (corteza 10 % + aserrín 70 % + perlita 10 % + vermiculita 10 %). Las mezclas de aserrín y corteza generaron plantas con dimensiones apropiadas para ser llevadas a campo. Esto permite eliminar el uso de turba como sustrato en la producción de planta forestal.

Palabras claves: Aserrín, corteza, *Pinus montezumae*, turba, vivero.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: julio, 2013. Aprobado: junio, 2014.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 48: 627-637. 2014.

ABSTRACT

Pine sawdust and bark, wood waste products of the forest industry, can be used as substrate and substitute peat moss in the production of nursery plants. Therefore, growth of *Pinus montezumae* Lamb. seedlings was assessed in containers with substrates composed of pine bark and sawdust, which were used to form nine mixtures. There was also a control treatment (60 % peat moss + 20 % perlite + 20 % vermiculite). Physical and chemical characteristics were determined. pH oscillated between 4.2 and 6.3, electrical conductivity was 0.25 to 3.98 dSm⁻¹, total porosity was 69 to 81 %, aeration porosity was 26 to 34 %, water holding porosity was 36 to 52 %, and bulk density was 0.17 to 0.32 g cm⁻³. On the water release curve, available water varied from 8 to 46 %, easily available water 6 to 19 %, reserve water 3 to 8 %, and less readily available water 18 to 37 % in all treatments. There were significant differences among treatments in seedling growth at 10 months of age: diameter varied from 9.7 to 11.5 mm, shoot dry weight 1.97 to 2.87 g, and root dry weight 3.51 to 61.05 g. The shoot/root ratio in all of the treatments was 1 to 2.5. The mixtures supporting growth similar to the control and adequate physical characteristics for producing plants of this species were T9 (sawdust 70 % + peat 10 % + perlite 10 % + vermiculite 10 %) and T1 (bark 10 % + sawdust 70 % + perlite 10 % + vermiculite 10 %). The mixtures of sawdust and bark generated plants with dimensions appropriate for transplant to the field. This allows to eliminate the utilization of peat moss as substrate in the production of forest plants.

Key words: Sawdust, bark, *Pinus montezumae*, peat moss, nursery.

INTRODUCTION

An essential item for plant development in nurseries is the substrate, whose composition has repercussions in the morphology and

INTRODUCCIÓN

Una base fundamental en el desarrollo de las plantas en los viveros es el sustrato porque éste repercute en la morfología y fisiología del sistema radicular y parte aérea, y por tanto en el estado nutrimental de la planta y su calidad (Abad *et al.*, 1996; Oliet *et al.*, 1999; Sandoval *et al.*, 2000). El material principal en las mezclas de sustratos para la producción de planta en viveros forestales es la turba, debido a sus características físicas y químicas (Jiménez y Caballero, 1990). Este material proviene de musgos como el *Sphagnum*, y hay debate por su uso debido a su costo elevado (Mañas *et al.*, 2009) y su cuestionable disponibilidad en el futuro por limitaciones ambientales (Abad *et al.*, 2001).

La mezcla del sustrato debe favorecer la producción de sistemas radicales fibrosos y bien desarrollado para tener una planta de calidad, y mejorar la supervivencia y crecimiento de las plantas en el campo (Struve, 1993). Para lograr las condiciones óptimas del sustrato las mezclas deberán tener las características físicas adecuadas de retención de agua y que faciliten el drenaje y la aireación (García *et al.*, 2001).

El uso de residuos orgánicos derivados de las actividades agropecuarias y forestales ha tomado auge para la producción de plantas (Abad *et al.*, 1996; Abad *et al.*, 2001). El aserrín y la corteza de pino son subproductos de la industria maderera y se pueden obtener a bajo costo (Maldonado-Benítez *et al.*, 2011). Pero falta información sobre la posibilidad del uso comercial de estos medios de cultivo en los viveros forestales (Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005).

El aserrín proveniente de especies de coníferas se usa como sustrato con buenos resultados en la producción de plantas de diferentes especies (Burés, 1997; Hartmann y Kester, 1998). El aserrín puede favorecer la absorción de nutrientes en las plantas, pero también puede presentar problemas de exceso de humedad por su partícula fina; así, se recomienda mezclar con otros materiales de partículas más gruesas (Greß y Gerding, 1995; Burés, 1997).

La corteza de pino tiene características físicas y químicas adecuadas para producir plantas de diversas especies (Jackson and Wright, 2009). El uso de este material ayuda a reducir daños por organismos patógenos en las plantas debido a la baja retención de humedad (Reis, 1995; Pawuk, 1981), ya que el solo uso de aserrín puede causar problemas por exceso de

fisiología de the root system and the aerial part, and therefore, in the nutritional state of the plant and its quality (Abad *et al.*, 1996; Oliet *et al.*, 1999; Sandoval *et al.*, 2000). The most commonly used material in substrate mixtures for forest plant production in nurseries is peat moss due to its physical and chemical characteristics (Jiménez and Caballero, 1990). This material comes from mosses, such as *Sphagnum*, and its use is being debated because of its high cost (Mañas *et al.*, 2009) and its questionable future availability due to environmental limitations (Abad *et al.*, 2001).

The substrate mixture should favor well-developed fibrous root systems to produce quality plants and improve their survival and growth in the field (Struve, 1993). To achieve the optimal conditions of the substrate, the mixtures should have adequate physical characteristics to retain water and facilitate drainage and aeration (García *et al.*, 2001).

The use of organic residues derived from agricultural and forestry activities are becoming important for plants production (Abad *et al.*, 1996; Abad *et al.*, 2001). Pine sawdust and bark are wood waste-products of the forest industry and can be obtained at low cost (Maldonado-Benítez *et al.*, 2011). However, there is a lack of information on the possibility of commercial use of these growing mediums in forest nurseries (Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005).

Sawdust from conifers is used as substrate with good results in production of plants of different species (Burés, 1997; Hartmann and Kester, 1998). Sawdust can favor nutrient absorption in plants, but it can also retain an excess of moisture because of its fine particles. It is thus recommended mixing it with other materials with coarser particles (Greß and Gerding, 1995; Burés, 1997).

Pine bark has physical and chemical characteristics that are suitable for producing plants of different species (Jackson and Wright, 2009). The use of this material aids in decreasing damage by pathogenic organism in the plants because of its low moisture retention (Reis, 1995; Pawuk, 1981), since the use of sawdust alone can cause problems because of excess moisture (Burés, 1997). Bark mixed with mineral or industrial aggregates can increase water availability and nutrient efficiency without affecting the root or plant growth (Owen, 2007).

humedad (Burés, 1997). La corteza mezclada con agregados minerales o industriales puede aumentar la disponibilidad de agua y eficiencia de nutrientes sin afectar la raíz o el crecimiento de las plantas (Owen, 2007).

Pinus montezumae Lamb. es una de las especies más utilizadas para reforestación y restauración forestal en México (CONAFOR, 2012). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el crecimiento de plántulas de este pino producidas en contenedor con mezclas de sustratos compuestas con corteza de pino y aserrín en diferentes proporciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en el Vivero Forestal Pueblo Nuevo, ubicado en la comunidad de Pueblo Nuevo, Municipio de Chignahuapan, Puebla; en 19° 06' 57.20" N y 98° 06' 27.00" O, a una altitud de 2600 m.

Mezclas de sustrato

Para las mezclas se combinó aserrín y corteza de pino (Cuadro 1) y se incluyó una mezcla testigo de turba, perlita y vermiculita 60:20:20 usada comúnmente en los viveros forestales. Los materiales para los tratamientos fueron aserrín de pino, corteza de pino composteada, turba, perlita y vermiculita. El aserrín se obtuvo de aserraderos locales, y se usó fresco, no mayor a 15 días después del aserrado. La corteza fue de *Pinus douglasiana* Martínez y se obtuvo de la región sur del estado de Jalisco, donde es composteada y se vende comercialmente (MASVI). El aserrín y la corteza tienen diferentes características físicas: el aserrín puede causar problemas de exceso de humedad porque tiene mayor porcentaje de partículas finas, y la corteza tiene baja capacidad de retención de humedad por su cantidad mayor de partículas grandes.

En cada mezcla se agregó fertilizante de lenta liberación Osmocote Plus® (15-9-12) (N-P-K+Mg+ME), con tiempo de liberación de 8 a 9 meses, en dosis de 6 kg m⁻³ de sustrato. Además se añadió 800 g m⁻³ de MICROMAX® fertilizante en polvo con micronutrientes (Fe, Zn, Mn, B, Cu, Mo, MgO, S), y 100 g m⁻³ de Bactiva® (*Bacillus subtilis*) (biofungicida usado para prevenir la pudrición de las raíces por hongos). Los contenedores de 220 cm³ se colocaron en mesas porta tubete de 25 cavidades. La semilla usada se recolectó en el 2010 en los rodales del Ejido de Pueblo Nuevo; después se benefició y almacenó en el banco de germoplasma hasta su uso. La siembra se realizó el 24 de agosto de 2011. La germinación empezó el 12 de septiembre y terminó el 26 de ese mes.

Pinus montezumae Lamb. is one of the species most used for reforestation and forest restoration in México (CONAFOR, 2012). The objective of this study was to assess growth of pine seedlings produced in containers with mixtures of substrates composed of pine bark and sawdust in different proportions.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was established in the Pueblo Nuevo Forest Nursery located in the community Pueblo Nuevo, Municipality of Chignahuapan, Puebla, at 19° 06' 57.20" N and 98° 06' 27.00" W, at an altitude of 2600 m.

Substrate mixtures

Pine bark and sawdust were combined (Table 1); a control mixture of peat moss, perlite and vermiculite (60:20:20), commonly used in forest nurseries, was included. The materials for the treatments were pine sawdust, pine bark, peat moss, perlite and vermiculite. The sawdust was obtained from local saw mills; it was fresh, not older than 15 days after milling. The bark state of was from *Pinus douglasiana* Martínez acquired in southern Jalisco where it is composted and sold commercially (MASVI®). Sawdust and bark have different physical characteristics: sawdust has a larger percentage of fine particles and can cause problems of excess moisture, while composted bark has more large particles and a low water holding capacity.

Slow-release fertilizer Osmocote Plus® (15-9-12) (N-P-K+Mg+ME), with a release time of 8 to 9 months, was added

Cuadro 1. Materiales y proporciones para la realización de mezclas de sustratos para la producción de *Pinus montezumae* Lamb.

Table 1. Materials and proportions in mixtures of substrate for production of *Pinus montezumae* Lamb.

Tratamiento	Material (% en volumen)				
	Corteza	Aserrín	Turba	Perlita	Vermiculita
T1	10	70		10	10
T2	20	80			
T3	30	70			
T4	40	60			
T5	60	40			
T6	70		10	10	10
T7	70	30			
T8	80	20			
T9		70	10	10	10
T10 Testigo			60	20	20

El riego se aplicó por micro-aspersión diariamente o según lo necesitado por las plantas por pérdida de humedad del sustrato. La fertilización básica con Osmocote se completó con fertilizante soluble Peters® profesional disuelto en el agua de riego, cuatro veces por semana y en tres etapas: 1) 80 ppm de iniciador (9-45-15) el 10 de octubre del 2011; 2) el 6 de febrero del 2012 se continuó con crecimiento (20-10-20) 120 ppm; y, 3) finalizador (4-25-35) 75 ppm, del 28 de mayo al 27 de julio del 2012.

Evaluación de las propiedades químicas y físicas de los sustratos

Este análisis se realizó en septiembre del 2011 en el Laboratorio de Física de Suelos del Colegio de Postgraduados. Para la determinación, en el vivero se tomó una muestra de 5 L por cada mezcla de sustrato, y cuatro repeticiones de cada una. Como permeámetros se usaron tubetes semejantes a los usados en el vivero. En cada muestra se determinó pH, conductividad eléctrica (CE), porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA), porosidad de retención de humedad (PRH) y densidad aparente (DA). El pH se determinó por el método de potenciómetro y la CE con el puente Conductronic CL35, ambas en extractos drenados. Las tres variables de porosidad se determinaron con el procedimiento descrito por Landis *et al.* (1990), el cual consistió en pasar el sustrato a máxima saturación, se obtuvo el peso del sustrato drenado y se secó el sustrato en una estufa para obtener el peso seco. La DA se evaluó con la fórmula $DA = \text{peso seco del sustrato (78 h a } 70\text{ }^{\circ}\text{C)} \text{ (g) / volumen total del cono (cm}^3\text{)}$. Los datos de las propiedades físicas y químicas de las mezclas de sustratos no fueron analizados estadísticamente.

La curva de liberación de agua se determinó usando el método de batería de embudos (De Boodt *et al.*, 1974). La curva integra los puntos de agua difícilmente disponible (ADD), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), capacidad de aire (CA), espacio poroso total (EPT) y materia sólida (MS).

Evaluación de las variables de respuesta

A los 10 meses de edad se lavó la raíz de cada planta para desprender todo el material del sustrato que formaba el cepellón, tratando de evitar la pérdida de raíces pequeñas. Las plantas se colocaron en una mesa sobre papel absorbente para eliminar el exceso de agua. Por la condición cespitosa de la especie se evaluó el diámetro del tallo en la base del cuello de la planta, pero no la altura. Cada muestra se puso en bolsas de papel etiquetadas, se secaron 72 h en una estufa a 70 °C hasta obtener el peso seco aéreo (PSA) y el peso seco radical (PSR).

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar con 10 tratamientos y cuatro repeticiones para cada uno; las repeticiones

to each mixture at a dosage of 6 kg m⁻¹ substrate. Also added were 800 g m⁻³ powdered MICROMAX® fertilizer with micronutrients (Fe, Zn, Mn, B, Cu, Mo, MgO, S), and 100 g m⁻³ Bactiva® (*Bacillus subtilis*), a biofungicide used to prevent root rot caused by fungi. The 220 cm³ containers were placed on trays with 25 cavities. The seed used was collected in 2010 in the stands belonging to the Pueblo Nuevo *Ejido*. After collection, the seeds were processed and stored in the germplasm bank until use. Seeds were sown on August 24, 2011. Germination began September 12 and ended September 26.

Irrigation was applied by micro-sprinklers daily or as needed by plants because of moisture loss from the substrate. Basic fertilization with Osmocote was supplemented with soluble Peters® professional fertilizer dissolved in irrigation water four times a week in three stages: 1) 80 ppm starter (9-45-14) October 10, 2011; 2) continuing with growth (20-10-20) 120 ppm on February 6, 2012; and 3) finisher (4-25-35) at 75 ppm from May 28 through July 27, 2012.

Evaluation of chemical and physical properties of the substrates

This analysis was conducted in September 2011 in the Soil Physics Laboratory at the Colegio de Postgraduados. For the determinations, in the nursery 5 L samples were taken of each substrate mixture; and each was replicated four times. Tubes similar to those used in the nursery were used as permeameters. In each sample pH, electrical conductivity (CE), total porosity (PT), aeration porosity (PA), water holding porosity (PRH) and bulk density (DA) were determined. pH was measured using the potentiometer method and CE with a Conductronic CL35 bridge, both in drained extracts. The three variables of porosity were determined following the procedure described by Landis *et al.* (1990), which consisted of weighing the substrate at maximum saturation, then obtaining the weight of drained substrate, and finally, the substrate dry weight was obtained after drying in an oven (78 h at 70 °C). Bulk density (DA) was determined with the formula $DA = \text{substrate dry weight (g) / total cone volume (cm}^3\text{)}$. The data on physical and chemical properties of the substrate mixtures were not analyzed statistically.

The water release curve was determined using the battery of suction funnels method (De Boodt *et al.*, 1974). The curve integrates the points representing less readily available water (ADD), easily available water (AFD), reserve water (AR), air capacity (CA), total pore space (EPT) and solid material (MS).

Assessment of response variables

When plants were ten months old, the root of each plant was washed to detach all of the substrate material that formed

fueron cada mesa portatubete con 25 plántulas. La unidad experimental para evaluar los tratamientos fue 12 plantas elegidas del centro de cada mesa. El análisis de varianza se realizó con el procedimiento Mixto de SAS, versión 9.0 (SAS Institute, 2002), para las cuatro variables: diámetro, peso seco de raíz, peso seco parte aérea y relación parte aérea/raíz. Los bloques se consideraron efectos aleatorios y fijos los tratamientos. La diferencia entre medias de tratamientos se analizaron con LSMmeans.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades químicas de los sustratos

Los tratamientos compuestos por aserrín y corteza en distintas proporciones tuvieron un pH de 4.14 y 5.23, lo cual coincide con lo reportado por Sánchez-Córdova *et al.* (2008) quienes analizaron cinco mezclas de sustrato con distintas proporciones de aserrín y corteza de pino que presentaron un pH de 4.25 a 4.70. El tratamiento T9 tuvo un pH de 4.7, y el testigo 4.2. Un pH óptimo para sustratos usados en producción de planta debe ser de 5.2 a 6.3; un valor menor a 4.0 puede causar enfermedades de la raíz (Ansorena, 1994). En el presente estudio, *P. montezumae* en los tratamientos de aserrín y corteza con un pH menor a 5.0 no presentaron problemas fitosanitarios. La CE en el tratamiento testigo T10 fue de 1.22 dS m⁻¹, el tratamiento T9 (aserrín 70 %, turba 10 %, perlita 10 % y vermiculita 10 %) tuvo el valor más bajo (0.25 dS m⁻¹), y en los tratamientos de corteza y aserrín varió de 1.26 a 3.98 dS m⁻¹. Cabe destacar que los tratamientos con mayor cantidad de corteza tuvieron los valores más altos de CE. Según Bunt (1988) y Landis *et al.* (1990), en sustratos ricos en materia orgánica la CE debe ser 0.75 a 1.99 dS m⁻¹ y las plantas crecen satisfactoriamente en CE de 2.00 a 3.49 dS m⁻¹, pero si son sensibles a CE alta reducirán su crecimiento. Lorenzo *et al.* (1996) consideran que el intervalo óptimo de CE debe ser 1.2 a 2.5 dS m⁻¹. Por lo tanto, la mayoría de las mezclas tuvieron valores apropiados de CE. El aserrín puede limitar la disponibilidad de nitrógeno debido a que los organismos que descomponen la materia orgánica usan este elemento. Esto puede reducir la capacidad de intercambio catiónico, se reducen los cationes disponibles para las plantas, y causa deficiencia de nutrientes.

the root ball, taking care to avoid losing small roots. The plants were placed on a table on absorbent paper to eliminate excess water. Because of the grass stage of the species, stem diameter was measured at its base, but height was not measured. Each sample was placed in a labeled paper bag and dried for 72 h in an oven at 70 °C to obtain shoot dry weight (PSA) and root dry weight (PSR).

Experimental design and statistical analysis

The experimental design was completely random with 10 treatments and four replications each. One tube-holding table with 25 seedlings was considered one replication. The experimental unit for assessment of the treatments was 12 plants selected from the center of each table. The analysis of variance was performed with the MIXED procedure of SAS, version 9.0 (SAS Institute, 2002) for the four variables: diameter, root dry weight, shoot dry weight and shoot / root ratio. Replications were considered random effects and the treatments fixed effects. Differences between treatments means were analyzed with LSMmeans.

RESULTS AND DISCUSSION

Chemical properties of the substrates

The treatments consisting of sawdust and bark in different proportions had pH 4.14 and 5.23, coinciding with the report by Sánchez-Córdova *et al.* (2008), who tested five substrate mixtures with different proportions of pine sawdust and bark and obtained pH 4.25 to 4.70. Treatment T9 had pH 4.7 and the control 4.2. Optimum pH for substrates use in plant production should be between 5.2 and 6.3; a value below 4.0 can cause root diseases (Ansorena, 1994). In our study, *P. montezumae* in sawdust and bark treatments that had pH below 5.0 did not exhibit phytosanitary problems. CE in the control treatment T10 was 1.22 dSm⁻¹, while treatment T9 (70 % sawdust, 10 % peat, 10 % perlite and 10 % vermiculite) had a lower value (0.25 dS m⁻¹). In the bark and sawdust treatments it varied from 1.26 a 3.98 dS m⁻¹. It should be mentioned that the treatments with larger amounts of bark had higher CE values. According to Bunt (1988) and Landis *et al.* (1990), in substrates rich in organic matter, CE should be 0.75 to 1.99 dS m⁻¹, but plants grow satisfactorily with CE 2.00 to 3.49 dS m⁻¹; however, if they are sensitive to high CE, growth can decrease. Lorenzo

Propiedades físicas de los sustratos

La porosidad total de los tratamientos de aserrín y corteza varió entre 69 y 77 %; para el tratamiento T9 fue 81 % y para el testigo 78 % (Cuadro 2). Los tratamientos de corteza y aserrín (T1, T2, T3 y T7) tuvieron mejor porosidad total. Landis *et al.* (1990) consideran adecuado una porosidad total de 60 a 80 %. Niveles de porosidad mayores a 80 % favorecen el crecimiento de la raíz, lo cual favorece el desarrollo de la parte aérea (Peñuelas y Ocaña, 1996); el tratamiento T9 fue el único con un valor mayor a 80 %, y el T6 tuvo el valor más bajo (69 %).

La porosidad de aireación en todos los tratamientos varió de 30 a 35 % (Cuadro 2) y en el testigo (T10) fue 26 %. El intervalo óptimo de porosidad de aireación en un sustrato debe variar entre 20 a 30 % (De Boodt y Verdonck, 1972) y valores de 10 % pueden causar problemas de anoxia en las raíces de las plantas (Burés, 1997). La mayoría de los tratamientos tuvieron niveles ligeramente superiores a 30 % de PA (Cuadro 2) y, por lo tanto, están en un nivel óptimo.

La porosidad de retención de humedad en los tratamientos de aserrín y corteza varió de 36 a 44 % (Cuadro 2). El T6 tuvo la menor retención de humedad (36 %) y puede deberse a que contenía mayor porcentaje de corteza, el cual retiene poca humedad (Burés, 1997). El tratamiento T9 tuvo un valor de 47 % y el testigo 52 %.

Los porcentajes mayores de 42 % de PRH se observaron en los tratamientos con mayor proporción de aserrín, el cual tiene más partículas finas (40 a 50 % de partículas entre 0.50-0.71 mm), por lo cual hay mayor retención de humedad en el sustrato. El tratamiento testigo tiene una alta proporción de turba (60 % de partículas de 1.00 a 1.68 mm) y su comportamiento fue similar. El aserrín y la turba pueden retener exceso de humedad lo cual provoca procesos anaeróbicos (Bures, 1997). Por lo tanto, estos materiales deben mezclarse con otros de partículas más grandes que aporten mayor aireación, como agrolita, vermiculita o corteza de pino. Al mezclarse el aserrín con la corteza de pino disminuye el PRH.

La DA varió de 0.17 a 0.32 g cm⁻³ (Cuadro 2) y los valores óptimos son de 0.3 a 0.8 g cm⁻³ (Abad y Noguera, 1998), pero según Raviv *et al.* (2004) valores menores a 0.40 g.cm⁻³ son adecuados. En el presente experimento todos los tratamientos presentaron

Cuadro 2. Propiedades físicas de las mezclas de aserrín y corteza de pino y el testigo.

Table 2. Physical properties of the pine sawdust and bark mixtures and of the control

Tratamientos	PT (%)	PA (%)	PRH (%)	DA (g cm ⁻³)
T1	76	32	44	0.18
T2	77	34	43	0.22
T3	75	33	42	0.23
T4	72	32	40	0.28
T5	73	32	41	0.30
T6	69	33	36	0.28
T7	73	32	41	0.27
T8	71	32	39	0.32
T9	81	34	47	0.21
T10 Testigo	78	26	52	0.17

PT: porosidad total, PA: porosidad de aireación, PRH: porosidad de retención de humedad, DA: densidad aparente. (Valores de % en volumen). ♦ PT: total porosity, PA: aeration porosity, PRH: water holding porosity, DA: bulk density. (Values % volume).

†T1 (corteza 10 %, aserrín 70 %, perlita 10 % y vermiculita 10 %), T2 (corteza 20 % y aserrín 80 %), T3 (corteza 30 % y aserrín 70 %), T4 (corteza 40 % y aserrín 60 %), T5 (corteza 60 % y aserrín 40 %), T6 (corteza 70 %, turba 10 %, perlita 10 % y vermiculita 10 %), T7 (corteza 70 % y aserrín 30 %), T8 (corteza 80 % y aserrín 20 %), T9 (aserrín 70 %, turba 10 %, perlita 10 % y vermiculita 10 %) y T10 (turba 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %). ♦ T1 (bark 10 %, sawdust 70 %, perlite 10 % and vermiculite 10 %), T2 (bark 20 % and sawdust 80 %), T3 (bark 30 % and sawdust 70 %), T4 (bark 40 % and sawdust 60 %), T5 (bark 60 % and sawdust 40 %), T6 (bark 70 %, peat 10 %, perlite 10 % and vermiculite 10 %), T7 (bark 70 % and sawdust 30 %), T8 (bark 80 % and sawdust 20 %), T9 (sawdust 70 %, peat 10 %, perlite 10 % and vermiculite 10 %) and T10 (peat 60 %, perlite 20 % and vermiculite 20 %).

et al. (1996) consider CE 1.2 to 2.5 dS m⁻¹ to be optimal, and most of the mixtures had appropriate CE values. Sawdust can limit the availability of nitrogen because the organisms that decompose organic matter also use this element. This fact can reduce cation exchange capacity, cation availability for plants is decreased and cause nutrient deficiency.

Physical properties of the substrates

Total porosity of the sawdust and bark treatments varied between 69 and 77 %; in treatment T9 it was 81 % and in the control 78 % (Table 2). The sawdust and bark treatments (T1, T2, T3 and T7) had the best total porosity. Landis *et al.* (1990) considered

una DA menor a ese intervalo. Un sustrato con baja Da es económicamente favorable porque mejora significativamente la capacidad operacional del medio de cultivo (Abad *et al.*, 1993), disminuyendo los costos de transporte y manipulación de materiales.

En la curva de liberación de agua, el tratamiento testigo presentó un equilibrio entre los componentes de la curva: capacidad de aireación, agua no disponible, agua fácilmente disponible y agua difícilmente disponible. El tratamiento T9 presentó la menor disponibilidad de agua hacia las plantas. Al combinar corteza con aserrín se genera una mezcla que proporciona un mayor equilibrio, lo cual favorece el desarrollo de las plantas.

La capacidad de aireación osciló entre 26 a 34 % en todos los tratamientos (Cuadro 3). Un intervalo de 30 a 40 % del volumen total es deseable en un sustrato para crecimiento adecuado de las plantas (Abad *et al.*, 1993). El tratamiento testigo tuvo el valor menor con 26 %.

El agua fácilmente disponible en todos los sustratos tuvo un valor bajo, 6 a 19 %. Esto coincide con lo reportado por Sánchez-Córdova *et al.* (2008) quienes evaluaron cinco mezclas de sustrato de aserrín y corteza, donde el AFD varió de 4 a 18%. El valor de esta variable debe ser 20 a 30 % del volumen (Abad *et al.*, 1993). Los valores de AFD de los sustratos fueron menores a 20 % y los más bajos fueron para el T9 y T6 (6 y 8 %). Los porcentajes bajos pueden indicar que los sustratos tienen partículas finas que retienen el agua y se limita la disposición para las plantas.

El agua de reserva varió de 3 a 8 % (Cuadro 3) y los tratamientos, excepto T2 y T8, están dentro del intervalo sugerido como apropiado de 4 a 10 % (Abad *et al.*, 1993). El agua difícilmente disponible varió de 18 a 45 %, y el tratamiento T9 el tuvo el valor más alto, seguido del testigo. Los sustratos con mayor cantidad de corteza tuvieron menor porcentaje.

Efectos de sustratos en las variables morfológicas

Las mezclas de sustrato mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para las variables diámetro, peso seco aéreo, peso seco de raíz y relación parte aérea/raíz (Cuadro 4). La altura de las plantas no se registró debido a la característica cespitosa de *P. montezumae* en sus primeras etapas de crecimiento.

El diámetro del tallo fue mayor a 9 mm en todos los tratamientos y las plantas con un diámetro mayor

60 to 80 % to be adequate total porosity. Levels of porosity above 80 % favor root growth, which in turn favors development of the aerial part (Peñuelas and Ocaña, 1996). T9 was the only treatment with a value above 80 %, while T6 had the lowest value (69 %).

Water holding porosity in all of the treatments varied 30 to 35 % (Table 2) and in the control (T10) it was 26 %. The optimum interval for aeration porosity in a substrate is between 20 to 30 % (De Boodt and Verdonck, 1972), while values of 10 % can cause anoxia in plant roots (Burés, 1997). Most of the treatments had PA levels slightly above 30 % (Table 2) and, therefore, had optimum levels.

Water holding porosity in the sawdust and bark treatments varied between 36 and 44 % (Table 2). Treatment T6 had the lowest moisture retention (36 %), which may be due to the higher percentage of bark, which retains little moisture (Burés, 1997). Treatment T9 had a value of 47 % and the control 52 %.

PRH percentages above 42 % were observed in the treatments with a higher proportion of sawdust, which has a larger quantity of fine particles (40 to 50 % particles between 0.50 and 0.71 mm), causing greater moisture retention in the substrate. The control treatment with a high proportion of peat (60 % particles 1.00 to 1.68 mm) had similar behavior. Sawdust and peat can retain excess moisture, which provide conditions for anaerobic processes (Burés, 1997). Therefore, these materials should be mixed with others that have larger particles and contribute to better aeration, such as perlite, vermiculite or pine bark. When sawdust is mixed with pine bark, PRH decreases.

Bulk density (DA) varied from 0.17 to 0.32 g cm⁻¹ (Table 2); optimum values are 0.3 to 0.8 g cm⁻¹ (Abad and Noguera, 1998), but according to Raviv *et al.* (2004, values below 0.40 g cm⁻³ are adequate. In our experiment, DA of all the treatments were below that value. A substrate with low DA is economically favorable because it significantly improves the operational capacity of the growing medium (Abad *et al.*, 1993), decreasing the costs of transport and manipulation of materials.

In the water release curve, the control treatment was balanced among the curve components aeration capacity, unavailable water, easily available water, and less readily available water. Treatment T9 had

Cuadro 3. Puntos de la curva de liberación de agua para las diez mezclas de sustratos probados.**Table 3. Components on the water release curve for the ten substrate mixtures tested.**

[†] Tratamientos	Sólidos	AND	AFD	AR	ADD
T1	24	36	10	5	28
T2	23	41	11	3	26
T3	25	8	18	8	23
T4	28	19	11	8	28
T5	27	32	12	6	25
T6	31	46	6	4	18
T7	27	27	14	7	21
T8	29	31	12	3	28
T9	19	41	8	4	45
T10 Testigo	22	18	19	4	37

Sólidos: material sólido, AND: agua no disponible, AFD: agua fácilmente disponible, AR: agua de reserva, ADD: agua difícilmente disponible ♦ Sólidos: solid material, AND: unavailable water, AFD: easily available water, AR: reserve water, ADD: less readily available water.

[†]T1 (corteza 10 %, aserrín 70 %, perlita 10 % y vermiculita 10 %), T2 (corteza 20 % y aserrín 80 %), T3 (corteza 30 % y aserrín 70 %), T4 (corteza 40 % y aserrín 60 %), T5 (corteza 60 % y aserrín 40 %), T6 (corteza 70 %, turba 10 %, perlita 10 % y vermiculita 10 %), T7 (corteza 70% y aserrín 30 %), T8 (corteza 80 % y aserrín 20 %), T9 (aserrín 70 %, turba 10 %, perlita 10% y vermiculita 10 %) y T10 (turba 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %) ♦ T1 (bark 10 %, sawdust 70 %, perlite 10 % and vermiculite 10 %), T2 (bark 20 % and sawdust 80 %), T3 (bark 30 % and sawdust 70 %), T4 (bark 40 % and sawdust 60 %), T5 (bark 60 % and sawdust 40 %), T6 (bark 70 %, peat 10 %, perlite 10 % and vermiculite 10 %), T7 (bark 70 % and sawdust 30 %), T8 (bark 80 % and sawdust 20 %), T9 (sawdust 70 %, peat 10 %, perlite 10 % and vermiculite 10 %) and T10 (peat 60 %, perlite 20 % and vermiculite 20 %).

de 11 mm fueron las de el testigo (11.5 mm), T1 (11.4 mm), T9 (11.2 mm) y T2 (11.2 mm), mientras que T4 tuvo el valor menor con 9.7 mm (Cuadro 4). Las plantas que crecieron en los sustratos con mayor cantidad de corteza tuvieron un diámetro menor, lo cual coincide con lo encontrado por Mañas *et al.* (2009) quienes evaluaron sustratos con corteza de pino, turba y residuos de pasta de papel en diferentes proporciones para *Pinus pinaster* Aiton.

El peso seco de raíz varió de 1.97 a 2.87 g entre tratamientos y fue mayor en las plantas del T10, seguido del T1 con un peso de 2.73 g, T2 con 2.48 g y 9 con 2.47 g, mientras que el menor peso fue 1.97 g en T8. El peso seco aéreo mayor fue 6.05 g en T10, seguido de T9 con 4.91 y T1 con 4.76 g; T4 y T8 tuvieron los valores menores.

the lowest water availability for plants. When bark and sawdust are combined, a mixture is produced that provides better equilibrium and favors plant development.

Aeration capacity oscillated between 26 and 34 % in all of the treatments (Table 3). A range of 30 to 40 % of the total volume is desirable in a substrate for adequate plant growth (Abad *et al.*, 1993). The control treatment had the lowest value, 26 %.

Easily available water (AFD) was low in all of the treatments: 6 to 9 %. This coincides with results of Sánchez-Córdova *et al.* (2008), who assessed five substrates made of mixtures of sawdust and bark and found that easily available water varied between 4 and 18 %. The value of this variable should be 20 to 30 % of the volume (Abad *et al.*, 1993). Values of AFD of the substrates were below 20 %, and the lowest were found in T9 and T6 (6 and 8 %). The low percentages may indicate that the substrates have fine particles that retain water and limit its availability for plants.

Reserve water varied from 3 to 8 % (Table 3) and the treatments, except for T2 and T8, are within the interval suggested as appropriate, 4 to 10 % (Abad *et al.*, 1993). Less readily available water varied between 18 and 45 %, and treatment T9 had the highest value, followed by the control. The substrates with higher proportions of bark had lower percentages.

Effects of substrates on morphological variables

The substrate mixtures were significantly different ($p \leq 0.01$) in the variables diameter, shoot dry weight, root dry weight and shoot/root ratio (Table 4). Plant height was not recorded due to the grass stage characteristic of *P. montezumae* in its early growth stages.

Stem diameter was more than 9 mm in all of the treatments; plants with a diameter larger than 11 mm were those of the control (11.5 mm), T1 (11.4 mm), T9 (11.2 mm) and T2 (11.2 mm), whereas T4 had the smallest diameter, 9.7 mm (Table 4). The plants that grew in substrates with larger proportions of bark had smaller diameters, which coincides with the findings of Mañas *et al.* (2009), who evaluated substrates of pine bark, peat moss and residues of paper paste in different proportions for *Pinus pinaster* Aiton.

Root dry weight of the treatments varied from 1.97 to 2.87 g; it was higher in T10 plants, followed

Cuadro 4. Medias obtenidas para las variables diámetro, peso seco de raíz, peso seco aéreo y relación parte aérea/raíz para *Pinus montezumae* producida en diez mezclas de sustrato, y evaluadas a los 10 meses de edad.**Table 4. Means obtained for the variables diameter, root dry weight, shoot dry weight and shoot/root ratio for *Pinus montezumae* produced in ten substrate mixtures and assessed after 10 months.**

†Tratamiento	Diámetro (mm)	PS raíz (g)	PS aéreo (g)	Relación PA/R
T1	11.4±0.28 ^a	2.73±0.12 ab	4.76±0.21 bc	1.79±0.06 c
T2	11.1±0.24 ab	2.48±0.12 bc	3.99±0.17 ef	1.67±0.05 d
T3	10.4±0.19 c	2.42±0.07 c	4.48±0.15 cd	1.88±0.05 c
T4	9.7±0.25 e	2.24±0.12 cd	3.76±0.16 fg	1.75±0.06 cd
T5	10.4±0.22 cd	2.38±0.10 c	4.27±0.19 de	1.81±0.05 c
T6	10.0±0.18 de	2.09±0.06 de	4.15±0.11 ef	2.04±0.06 ab
T7	10.9±0.21 b	2.39±0.07 c	4.72±0.11 bc	2.02±0.05 b
T8	10.2±0.18 cd	1.97±0.07 e	3.51±0.12 g	1.82±0.05 c
T9	11.2±0.29 ab	2.47±0.11 c	4.91±0.19 b	2.08±0.07 ab
T10 Testigo	11.5±0.22 a	2.87±0.11 a	6.05±0.18 a	2.17±0.06 a

†T1 (corteza 10 %, aserrín 70 %, perlita 10 % y vermiculita 10 %), T2 (corteza 20 % y aserrín 80 %), T3 (corteza 30 % y aserrín 70 %), T4 (corteza 40 % y aserrín 60 %), T5 (corteza 60 % y aserrín 40 %), T6 (corteza 70 %, turba 10 %, perlita 10 % y vermiculita 10 %), T7 (corteza 70 % y aserrín 30 %), T8 (corteza 80 % y aserrín 20 %), T9 (aserrín 70 %, turba 10 %, perlita 10 % y vermiculita 10 %) y T10 (turba 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %). †Error estándar. ‡Valores promedio en una columna con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). ‡T1 (bark 10 %, sawdust 70 %, perlite 10 % and vermiculite 10 %), T2 (bark 20 % and sawdust 80 %), T3 (bark 30 % and sawdust 70 %), T4 (bark 40 % and sawdust 60 %), T5 (bark 60 % and sawdust 40 %), T6 (bark 70 %, peat 10 %, perlite 10 % and vermiculite 10 %), T7 (bark 70 % and sawdust 30 %), T8 (bark 80 % and sawdust 20 %), T9 (sawdust 70 %, peat 10 %, perlite 10 % and vermiculite 10 %) and T10 (peat 60 %, perlite 20 % and vermiculite 20 %). ‡Standard error. ‡Average values in a column with different letters are statistically different ($p \leq 0.05$).

Un atributo relevante de la calidad de *P. montezumae* fue la proporción entre el tamaño de la parte aérea y la radical, la cual varió entre 1.67 y 2.08 en los diez tratamientos evaluados. Esto corresponde con lo propuesto por Romero *et al.* (1986) quienes sugirieron valores óptimos de 1.5 a 2.2 para coníferas norteamericanas. El valor más alto de esta relación fue 2.17 en el testigo, en T9 fue 2.08, y los valores más bajos fueron 1.75 en T4 y 1.67 en T2 (Cuadro 4). Las plantas con menor RPA/R pueden tener un mejor estado hídrico y un consumo de agua menor en situaciones de deficiencia hídrica, pero con valores altos puede haber problemas en campo debido al incorrecto balance hídrico (May, 1984; Stewart y Bernier, 1995).

De acuerdo con los resultados obtenidos, los tratamientos T9 y T10 presentaron valores similares en crecimiento de las plantas de *P. montezumae* a diez meses edad. Los tratamientos T1 y T2 fueron los que más se acercaron en las variables diámetro, peso seco aéreo y de raíz del tratamiento testigo. Reyes *et al.* (2005) encontraron que plántulas de *Pinus pseudostrobus* Lamb. en tratamientos con 70 y 80 % de aserrín presentaron buenos crecimientos de el diámetro

by T1 with 2.73 g, T2 with 2.48 g and T9 with 2.47 g. The treatment with the lowest weight was T8 with 1.97 g. The highest shoot dry weight was 6.05 in T10, followed by T9 with 4.91 g and T1 with 4.76 g; T8 and T4 had the lowest values.

An attribute of *P. montezumae* relevant to its quality was the proportion between the size of the shoot and that of the root. This varied between 1.67 and 2.08 in the ten treatments evaluated. All these ranges were within the ratio proposed by Romero *et al.* (1986), who suggested optimal values of 1.5 to 2.2 for North American conifers. The highest ratio, 2.17, was found for the control, in T9 it was 2.08, and the lowest ratios were 1.75 in T4 and 1.67 in T2 (Table 4). The plants with lower shoot/root ratio can have a better balance and lower water consumption in situations of water deficit, but high values may indicate problems in the field due to incorrect water balance (May, 1984; Stewart and Bernier, 1995).

According to the results obtained, the ten-month-old *P. montezumae* seedlings in treatments T9 and T10 had similar growth. Treatments T1 and T2 were those that were the closest to the control values in the variables diameter, shoot dry weight and root

y la altura. Este mismo comportamiento se observa en los diámetros obtenidos en T1, T2 y T9, en los cuales se usó 70 y 80 % aserrín.

Sánchez-Córdova *et al.* (2008) mencionan que un sustrato de 20 % corteza + 80 % aserrín puede ser adecuado para el desarrollo de plantas de *P. patula*. Maldonado-Benítez *et al.* (2001), evaluaron *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López en 20 % corteza + 80 % aserrín y obtuvieron los mejores desarrollos en diámetro y altura. En el presente estudio, las plantas de *P. montezumae* en T2 (20 % corteza + 80 % aserrín) presentaron buen crecimiento en diámetro y desarrollo de raíz.

CONCLUSIONES

Las características físicas y químicas de los sustratos compuestos por corteza de pino y aserrín proporcionan condiciones adecuadas para el crecimiento de *Pinus montezumae*. Las plántulas de *Pinus montezumae* a edad de 10 meses en la mayoría de los tratamientos con aserrín y corteza de pino presentaron características morfológicas adecuadas para ser llevadas a campo. En *Pinus montezumae* el tratamiento de sustrato con 10 % de corteza + 70 % aserrín + 10 % perlita + 10 % vermiculita presentó condiciones de crecimiento similares en la mayoría de las variables evaluadas a la mezcla testigo T10, por lo cual serviría para la producción de esta especie.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al personal del Vivero Forestal Pueblo Nuevo, por el apoyo en la realización de este proyecto.

LITERATURA CITADA

- Abad, M., y P. Noguera. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. In: Cadahía, C. (coord). Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 287-342
- Abad, M., P. F. Martínez, M.D. Martínez, y J. Martínez. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. Actas Hort. 11: 141-154.
- Abad, M., P. Noguera, y V. Noguera. 1996. Turbas para semillero. In: II Jornadas sobre Semillas y Semilleros Hortícolas. Congresos y Jornadas, 35/96. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla, España. pp: 79-101.
- Abad, M., P. Noguera, and S. Burés. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: Case study in Spain. Bioresource Technol. 77: 197-200.

dry weight. Reyes *et al.* (2005) found that *Pinus pseudostrobus* Lamb. seedlings in treatments with 70 and 80 % sawdust had good growth in diameter and height. The same results in diameter were obtained with T1, T2 and T9 in which 70 and 80 % sawdust was used.

Sánchez-Córdova *et al.* (2008) mention that a substrate of 20 % bark + 80 % sawdust is adequate for growing *P. patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. plants. Maldonado-Benítez *et al.* (2001), who assessed growth of *Pinus greggii* var. *australis* Donahue & López, obtained the best results in diameter and height with 20 % bark + 80 % sawdust. In our study, the *P. montezumae* plants in T2 (20 % bark + 80 % sawdust) had good growth in diameter and root development.

CONCLUSIONS

The physical and chemical characteristics of substrates composed of pine bark and sawdust provide adequate conditions for growth of *Pinus montezumae*. The 10-month-old seedlings in most of the sawdust and bark treatments exhibited morphological characteristics adequate for transplant in the field. The treatment with 10 % bark + 70 % sawdust + 10 % perlite + 10 % vermiculite provided growing conditions comparable to the control, resulting in similar values for most of the evaluated variables, and thus it is suitable for production of *Pinus montezumae*.

—End of the English version—

---*---

- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y Caracterización. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 169 p.
- Bunt, A. C. 1988. Media and Mixes for Container-Grown Plants (2nd ed.). Unwin Hyman. London, UK. 309 p.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. 342 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2012. Evaluación Complementaria del PROCOREF Ejercicio Fiscal 2011. Universidad Autónoma Chapingo. 325 p.
- De Boodt, M., and O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. Acta Hort. 26: 37-44.
- De Boodt, M., O. Verdonck, and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. Acta Hort. 37: 2054-2062.
- García C., O., G. Alcántar G., R.I. Cabrera, F. Gavi R., y V. Volke H. 2001. Evaluación de sustratos para la producción

- de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra* 19 (3): 249-258.
- Grez, R., y V. Gerding. 1995. Aplicación de aserrín de la industria forestal para el mejoramiento del suelo. *Bosque* 16 (1): 115-119.
- Hartmann, T. H., y D. E. Kester. 1998. Propagación de Plantas; Principios y Prácticas. CECSA. 2da ed. México. 760 p.
- Hernández-Apaolaza, L., A. Gasco M., J. Gasco M., and F. Guerrero. 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresour. Technol.* 96: 125-131.
- Jackson, B. E., and R. D. Wright. 2009. Changes in chemical and physical properties of pine tree substrate and pine bark during long-term nursery crop production. *HortScience* 44(3): 791-799.
- Jiménez R., y M.R. Caballero. 1990. El Cultivo Industrial de Plantas en Maceta. Ediciones de Horticultura. S.L. Reus. España. 664 p.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald, and J. P. Barnett. 1990. The Container Tree Nursery Manual. Containers and Growing Media. Vol. 2. Agric. Handbook. 674. Washington: USDA, Forest Service. 88 p.
- Lorenzo, P., E. Medrano, y M. García. 1996. Estudio comparativo de la eficiencia hídrica de dos sistemas de control de riego en sustrato. XIV Congreso Nacional de Riegos. D.G.I.A. Congresos y Jornadas 37: 668-672.
- Maldonado-Benítez, R. K., A. Aldrete, J. Lopez-Upton, H. Vaquera-Huerta, y V. M. Cetina-Alcalá. 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. *Agrociencia* 45 (3): 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 For.* 37:295-311.
- May, J. T. 1984. Lifting and field packing. *In*: May, J. T., E. W. Belcher, Jr., C. E. Cordell, T. H. Filer, Jr., D. South, and C. W. Lantz (eds). Southern Pine Nursery Handbook. USDA Forest Service. Southern Region. pp: 81-82.
- Oliet J., L. Segura, F. Martín D., E. Blanco., R. Serrada., M. López A., y F. Artero. 1999. Los fertilizantes de liberación controlada aplicados a producción de planta forestal en vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. *Inv. Agraria: Sistemas Recursos For.* 8 (2): 335-359.
- Owen, J. S. Jr. 2007. Industrial mineral aggregate amendment affects physical and chemical properties of pine bark substrates. *Hortscience* 42(5): 1287-1294.
- Pawuk, W. H. 1981. Potting media affect growth and disease development of container-grown Southern Pines. Southern Forest Experiment Station. Research Note. SO-268. pp: 1-4.
- Peñuelas R., J. L., y B. Ocaña L. 1996. Cultivo de Plantas Forestales en Contenedor. Mundi-Prensa. Madrid, España. 190 p.
- Raviv, M., R. Wallach, and T. Blom. 2004. The effect of physical properties of soilless media on plant performance, a review. *Acta Hort.* 644: 251-259.
- Reis, M. 1995. Evaluation of composted pine bark and carob pods as components for horticultural substrates. *Acta Hort.* 401: 243-249.
- Reyes R., J., A. Aldrete, V. M. Cetina-Alcala, y J. López-Upton. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en sustratos a base de aserrín. *Rev. Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11 (2): 105-110.
- Romero, A. E., J. Ryder, J. T. Fisher, and J. G. Mexal. 1986. Root system modification of container stock for arid land plantation. *For. Ecol. Manage.* 16: 281-290.
- Sánchez-Córdova, T., A. Aldrete, V. M. Cetina-Alcalá, y J. López-Upton. 2008. Caracterización de medio de crecimiento compuesto por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques* 14 (2): 41-49.
- Sandoval M., C., V. M. Cetina-Alcalá, R. Yeaton, y L. Mohedano C. 2000. Sustratos y polímeros en la producción de planta de *Pinus cembroides* Zucc., bajo condiciones de invernadero. *Rev. Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 6 (2): 143-150.
- Stewart, J. D., and P. Y. Bernier. 1995. Gas exchange and water relations of three sizes of containerized *Picea mariana* seedlings subjected to atmospheric and edaphic water stress under controlled conditions. *Ann. Sci. For.* 52: 1-9.
- Struve, D. K. 1993. Effect of copper-treated containers on transplant survival and regrowth of four tree species. *J. Environ. Hort.* 11:196-199.