



Sustratos a base de aserrín crudo con fertilización y la calidad de planta de *Pinus cooperi* Blanco en vivero

María Mónica González Orozco¹

José Ángel Prieto Ruíz^{2*}

Arnulfo Aldrete³

José Ciro Hernández Díaz⁴

Jorge Armando Chávez Simental⁴

Rodrigo Rodríguez Laguna⁵

Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, México¹

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango²

Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México³

Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango, México⁴

Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México⁵

*Autor por correspondencia; correo-e: jprieto@ujed.mx

Resumen:

Asegurar el éxito de los programas de reforestación requiere el uso de planta de alta calidad. El empleo de sustratos alternativos de amplia disponibilidad y bajo costo (aserrín y corteza compostada) puede ser una opción viable para su producción. En este contexto, se evaluaron cuatro sustratos (aserrín de pino crudo, corteza de pino compostada y turba de musgo), en combinación con dos fertilizantes de liberación controlada (*Multicote®* y *Osmocote Plus®*), en el crecimiento y calidad de *Pinus cooperi* producido en vivero. La siembra se realizó en contenedores de poliestireno de 77 cavidades, con 170 mL por cavidad. Los sustratos fueron: S1) 46 % turba + 54 % corteza; S2) 30 % turba + 20 % corteza + 50 % aserrín; S3) 25 % turba + 25 % corteza + 50 % aserrín; y S4) 20 % turba + 30 % corteza + 50 % aserrín, con *Multicote®* (18-06-12, N-P-K) y *Osmocote Plus®* (15-09-12, N-P-K). Se aplicó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 4 × 2. A los nueve meses de edad de las plantas, los mejores resultados para diámetro, biomasa total e índice de calidad de *Dickson* se obtuvieron con el sustrato S1: 46 % turba + 54 % corteza, con 8 g L⁻¹ de *Multicote®*. Sin embargo, el sustrato S2: 30 % turba + 20 % corteza + 50 % aserrín en combinación con 8 g L⁻¹ de *Multicote®* también tuvo valores aceptables; además, redujo 39.8 % los costos de producción, debido al sustrato y al fertilizante.

Palabras clave: Aserrín de pino crudo, calidad de planta, corteza de pino compostada, fertilizante de liberación controlada, turba de musgo, variables morfológicas.

Fecha de recepción/Reception date: 8 de noviembre de 2017

Fecha de aceptación/Acceptance date: 31 de mayo de 2018

Introducción

En México, cada año se producen 196 millones de plantas del género *Pinus*, actividad importante para los programas de reforestación y de plantaciones forestales comerciales. En el estado de Durango, durante el período de 2010 a 2015, la producción de planta en vivero se incrementó de 6.4 a 10 millones por año (Conafor, 2016). Para que dicho material vegetal se desarrolle y sobreviva adecuadamente en campo, es indispensable que tenga las características morfológicas y fisiológicas apropiadas, lo cual se logra mediante el buen manejo de los factores involucrados durante su crecimiento en vivero: sustrato, riego, fertilización, control de plagas y enfermedades, entre otros (Serrada, 2000; Prieto y Sáenz, 2011).

En los viveros forestales, el sustrato es una materia prima de especial interés, debido a que sus características de porosidad, retención de agua, drenaje y disponibilidad de nutrientes están directamente relacionadas con el crecimiento, producción de materia seca y supervivencia de las especies (Sandoval et al., 2000; Zumkeller et al., 2009; Escobar y Buamscha, 2012). Normalmente, los sustratos se formulaan con base en mezclas balanceadas de materiales orgánicos e inorgánicos; dichos componentes se seleccionan en función de su estabilidad, manejo, formación de cepellón, sanidad, disponibilidad y costo (Burés, 1999; Escobar, 2012).

En el país, el sustrato más utilizado está compuesto por turba de musgo mezclada con perlita y vermiculita, en proporción de 60:30:10, respectivamente. Aunque, los altos precios de la turba de musgo (125 USD m^{-3}), así como de la perlita (114 USD m^{-3}) y la vermiculita (151.5 USD m^{-3}), por su importación (Aguilera et al., 2016a) generan la necesidad de buscar otras alternativas con materiales regionales que permitan reemplazar o disminuir su uso (Tian et al., 2017). Además, la extracción excesiva

de turba de musgo causa daños ambientales importantes en los ecosistemas donde se recolecta (Aleandri *et al.*, 2015).

Algunas opciones de sustratos se basan en residuos ganaderos (composta de estiércol vacuno), de la industria agroalimentaria (fibra de coco y de café) y forestal (corteza y aserrín de pino) (Aguilera *et al.*, 2016a; Aguilera *et al.*, 2016b).

En México, el uso de aserrín de pino crudo es limitado y predomina solo en el centro del territorio nacional, con resultados satisfactorios en la producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Reyes *et al.*, 2005; Aguilera *et al.*, 2016a), *Pinus greggii* Engelm. (Maldonado *et al.*, 2011), *Cedrela odorata* L. (Mateo *et al.*, 2011) y *Pinus montezumae* Lamb. (Hernández-Zarate *et al.*, 2014; Aguilera *et al.*, 2016b), lo que ha permitido cultivar planta con características acordes a los parámetros morfológicos establecidos por la Comisión Nacional Forestal (Conafor). No obstante, Buendía *et al.* (2016) indican que se debe evaluar el comportamiento de este material bajo diferentes condiciones de producción.

En el estado de Durango, la incorporación de aserrín de pino crudo como componente de los sustratos, es una opción viable para la producción de planta, ya que en la industria forestal se generan anualmente alrededor de 461 777 m³ de dicho material (Semarnat, 2015), el cual se usa poco y se cotiza a bajo costo (9.4 USD m⁻³) (Fregoso *et al.*, 2017).

Por otro lado, la corteza de pino compostada se emplea como parte de los sustratos desde hace aproximadamente 10 años (Prieto *et al.*, 2009), debido a su amplia disponibilidad en la región y costo inferior (56.3 USD m⁻³), respecto a los materiales antes citados.

Dado que ningún material, por si solo, reúne las características requeridas para ser utilizado como sustrato, se preparan mezclas, en las cuales la turba de musgo es un material imprescindible; pero necesita la adición de fertilizantes para nutrir los materiales vegetales en propagación (Burés, 1999; Sánchez *et al.*, 2008). Los fertilizantes pueden ser agregados directamente al sustrato, mediante productos granulados de liberación controlada, lo que facilita su manejo; o bien, adicionados a través del riego, durante el proceso de producción y en algunos casos se combinan ambas alternativas. El tipo y la cantidad de fertilizante se tiene que definir de

manera cuidadosa (Oliet *et al.*, 1999; Dumroese *et al.*, 2012), pues diversas opciones pueden llevar a resultados diferentes, en términos de calidad de las plantas y de rentabilidad.

Con base en lo antes expuesto, los objetivos de este estudio fueron: 1) determinar las características físicas y químicas de los sustratos a base de aserrín de pino crudo, corteza de pino compostada y turba de musgo; 2) evaluar la influencia de cuatro sustratos, en combinación con fertilizantes de liberación controlada, en el crecimiento y calidad de *Pinus cooperi* producido en vivero; y 3) determinar el costo por planta, en función de los sustratos y fertilizantes empleados. Las hipótesis fueron: 1) en el sustrato a base de aserrín de pino crudo, combinado con turba de musgo y corteza de pino compostada, se produce planta de calidad y reduce los costos de producción en vivero; 2) al menos un fertilizante de liberación controlada favorece más la calidad de planta.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El experimento se realizó en el vivero forestal “General Francisco Villa”, ubicado en el ejido 15 de Septiembre, Durango, Dgo., México. Se encuentra situado en las coordenadas 23°58'20.38" LN y 104°35'55.83" LO, a una altitud de 1 875 m. El estudio se realizó en un invernadero tipo baticanital, que dispone de ventilación cenital, lateral y frontal, con sistema de riego automatizado de microaspersores; la temperatura mínima promedio fue de 7.8 °C, la media de 18.8 °C y la máxima promedio de 34.4 °C.

Producción de planta y tratamientos

El ciclo de cultivo inició en noviembre del 2014 y finalizó en julio del 2015; la semilla se recolectó en San José Miravalles, municipio San Dimas, Durango. Previo a la siembra, se aplicó un tratamiento pregerminativo consistente en remojo en agua por 24 h, seguido de una desinfección durante 5 min en una solución compuesta por 90 % de agua y 10 % de cloro comercial; posteriormente, se adicionó fungicida Captán® (N-triclorometiltio-4-ciclohexeno-1,2-dicarboximida) en dosis de 2.5 g L⁻¹. La siembra se hizo en contenedores de poliestireno de 77 cavidades con 170 mL por cavidad. Los sustratos estuvieron compuestos por turba de musgo, corteza compostada de *Pinus douglasiana* Martínez y aserrín crudo (partículas de 0.1 a 1.5 mm de tamaño) obtenido de trozas aserradas de *Pinus engelmannii* Carr., *Pinus cooperi* Blanco y *Pinus durangensis* Martínez.

Se evaluaron ocho tratamientos derivados de cuatro sustratos: S1) 46 % turba de musgo + 54 % corteza de pino compostada (considerado como testigo, por ser el sustrato utilizado en el vivero); S2) 30 % turba de musgo + 20 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo; S3) 25 % turba de musgo + 25 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo; y S4) 20 % turba de musgo + 30 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo; además de dos fertilizantes de liberación controlada: 1) *Multicote*® 18N - 6P₂O₅ - 12K₂O + 2MgO + micro nutrientes (*Haifa Chemicals Ltd.*), y 2) *Osmocote Plus*® 15N - 9P₂O₅ - 12K₂O + micro nutrientes (*eveRRIS ILC Fertilizer Company*), ambos con un tiempo de liberación de nutrientes de 8 a 9 meses y una dosis fija de 8 g L⁻¹. Durante el ciclo de cultivo las plantas se regaron solo con agua; es decir, sin adición de fertilizantes foliares.

Características físicas y químicas de los sustratos

A los cuatro sustratos se les determinaron sus características físicas: porosidad de aireación (%), porosidad de retención de humedad (%) y porosidad total (%), mediante el método descrito por Landis (1990). Respecto a sus propiedades químicas se consideraron: el pH medido en agua y la conductividad eléctrica (dS m⁻¹), con base en la NOM-021-RECNAT-2000 para determinar fertilidad de suelos. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Ciencias Ambientales del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, del Instituto Politécnico Nacional.

Variables morfológicas

A los nueve meses de edad, se trajeron seis individuos por unidad experimental, a los que se les midió la altura desde la base del tallo hasta la yema apical (cm), con una regla *Truper*® 14387; diámetro a la base del tallo (mm), con un vernier digital *SURTEK*® 122204; así como biomasa seca aérea, radical y total (g). Para la biomasa seca, las plantas se colocaron en bolsas de papel y se deshidrataron en una estufa de secado *FELISA*® FE-291D a 70 °C por 72 h; después se pesaron en una balanza analítica *Ohaus*® PA214 con una precisión de 0.0001 g.

Con las variables anteriores se obtuvo el Índice de Calidad de *Dickson* (ICD) (Dickson et al., 1960):

$$ICD = \frac{PST}{\left(\frac{PSA}{PSR} + \frac{A}{D} \right)}$$

Donde:

PST = Peso seco total

PSA = Peso seco de la parte aérea

PSR = Peso seco de la raíz

A = Altura de la planta

D = Diámetro de la planta

Concentración de nitrógeno, fósforo y potasio

A partir de muestras representativas del follaje, integradas por acículas de la parte media de cada planta (5 g por tratamiento), con tres repeticiones, se determinó el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. El nitrógeno se estimó por el método *Kjeldahl*, el fósforo por análisis colorimétrico complejo amarillo vanadomolibdato, y el potasio por emisión atómica; todos se efectuaron en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental, del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.

Costo del sustrato

El costo del sustrato se definió con base en 170 mL de sustrato por cavidad, adicionándole 34 mL del volumen, esto por la compactación que ocurre al llenar las cavidades de los contenedores. El valor por litro de sustrato se estimó en USD, de 0.088 para S1; 0.053, S2; 0.050 para S3; y 0.047 para S4. Los fertilizantes se cotizaron en USD, con valores de 2.31 por kilogramo de *Multicote®* y 3.81 por kilogramo de *Osmocote Plus®*.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de 4×2 (cuatro sustratos y dos fertilizantes). La unidad experimental estuvo constituida por 77 plantas (7×11), contenidas en charolas de poliestireno, con cuatro repeticiones por tratamiento. Se empleó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Respuesta obtenida para el i -ésimo nivel del factor A y j -ésimo del factor B en la k -ésima repetición

μ = Efecto medio general

A_i = Efecto atribuido al i -ésimo nivel del factor A

B_j = Efecto atribuido al j -ésimo nivel del factor B

$(AB)_{ij}$ = Efecto atribuido a la interacción entre el i -ésimo del nivel del factor A y el j -ésimo del nivel del factor B

e_{ijk} = Error aleatorio, donde los e_{ijk} tienen una distribución normal e independiente con media 0 y varianza σ^2

i = Número de niveles del factor A (cuatro sustratos)

j = Número de niveles del factor B (dos fertilizantes)

k = Número de repeticiones (cuatro)

Las posibles diferencias estadísticas significativas entre tratamientos se detectaron mediante un análisis de varianza con el procedimiento GLM; a las variables con

significancia estadística se les hizo una prueba de comparación de medias de *Tukey* ($P \leq 0.05$), todo ello con el paquete estadístico SAS 9.0 (SAS, 2002).

Resultados y Discusión

Características físicas y químicas de los sustratos

La porosidad de aireación varió 1.5 % entre tratamientos, con un intervalo de 31.4 a 32.7 %; la porosidad de retención de humedad de 32.0 % en el S1 a 44.8 % en el S2; es decir, aumentó en los sustratos que incluyen aserrín, lo que propició que la porosidad total fuera mayor, con valores de 64.2 % en el S1 a 76.2 % en el S2 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características físicas y químicas de los sustratos evaluados en la producción de *Pinus cooperi* Blanco.

Sustrato	Porosidad de aireación (%)	Porosidad de retención de humedad (%)	Porosidad total (%)	pH	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)
S1 (Testigo)	32.1	32.0	64.2	4.7	0.1
S2	31.4	44.8	76.2	4.7	0.1
S3	32.5	43.5	76.0	4.9	0.1
S4	32.7	41.8	74.5	5.0	0.1
VR	25 a 35	25 a 55	60 a 80	5 a 6.5	<1.0

S1 = 46 % turba de musgo + 54 % corteza de pino compostada; S2 = 30 % turba de musgo + 20 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo; S3 = 25 % turba de musgo + 25 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo; S4 = 20 % turba de musgo + 30 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo. VR = Valores recomendados (Landis *et al.*, 1990; Mathers *et al.*, 2007).

Las propiedades físicas tienen relevancia, debido a que no se pueden modificar durante el ciclo de cultivo; por ello, es importante que el sustrato tenga las características apropiadas desde el inicio (Cruz-Crespo *et al.*, 2013). A partir de los parámetros de producción de planta de coníferas en vivero, el intervalo recomendado para la porosidad de aireación oscila entre 25 y 35 % (Landis, 1990), lo cual indica que en todos los tratamientos se obtuvo un valor adecuado (Cuadro 1). En este caso, el tamaño de las partículas y proporciones de los materiales en los sustratos favoreció la disponibilidad de espacios porosos (Cruz-Crespo *et al.*, 2013).

Al evaluar sustratos con diferentes proporciones de turba, corteza, aserrín, perlita y vermiculita, Hernández-Zarate *et al* (2014) registraron valores similares para la porosidad de aireación en sustratos con 40 % de corteza compostada + 60 % de aserrín y 60 % de corteza compostada + 40 % de aserrín; mientras que Sánchez *et al.* (2008) en sustratos con 80 % de corteza compostada + 20 % de aserrín y 60 % de corteza compostada + 40 % de aserrín citan un valor de 9 %, atribuido a que los materiales utilizados contenían una gran número de partículas finas, que propició pocos espacios de aire.

Respecto a la porosidad de retención de humedad, los valores recomendados son de 25 a 55 % (Landis, 1990); en el presente estudio el valor más bajo (32.0 %) fue para el S1, en tanto que en los sustratos con aserrín aumentaron, debido al mayor número de partículas finas, con valores de 41.8 a 44.8 % (Cuadro 1). Hernández-Zarate *et al.* (2014) obtuvieron cifras similares (40 y 41 %) en sustratos con 40 % de corteza compostada + 60 % de aserrín y 60 % de corteza compostada + 40 % de aserrín; en sustratos con 70 y 80 % de aserrín se ha documentado de 63 a 65 % (Sánchez *et al.*, 2008; Aguilera *et al.*, 2016b); es decir, al incrementar el porcentaje de aserrín aumenta la retención de humedad, derivado de la capacidad de absorción que posee dicho material. En tanto que la capacidad de retención de humedad de la corteza es baja, lo cual se corrobora en el S1 (54 % de corteza), esto se corrige al mezclarla con otros materiales que retengan más la humedad (García *et al.*, 2001; Cervantes *et al.*, 2018), tal como sucedió cuando se combinó con aserrín y turba de musgo.

En el presente trabajo la porosidad total en todos los sustratos correspondió a los intervalos recomendados (60-80 %) (Landis, 1990), con valores de 64.2 a 75.6 % (Cuadro 1); nuevamente, el sustrato con corteza al 54 % tuvo los registros más bajos. En la producción de *Pinus montezumae* los resultados fueron similares (69 a 77 %), en los sustratos a base de corteza y aserrín (Hernández-Zarate *et al.*, 2014), lo que sugiere que el aserrín crudo adicionado con materiales como la turba de musgo y la corteza de pino origina sustratos con balances adecuados en estas características.

Con relación a las características químicas evaluadas, el pH promedio en los sustratos S1, S2 y S3 fue de 4.8, ligeramente más ácido que en el S4 (5.0); solo el S4 alcanzó el valor mínimo recomendado (pH de 5) (Cuadro 1); sin embargo, la fertilización y el riego propician que las sales se incrementen y el pH aumente de 0.5 a 1.0 unidades (Landis, 1990). Sánchez *et al.* (2008) (4.1 a 5.2) y Hernández-Zarate *et al.* (2014) indican cifras similares (4.3 a 4.7) al evaluar sustratos con varias combinaciones de corteza de pino compostada y aserrín. Asimismo, citan pH de 4.9 en un sustrato compuesto con 60 % aserrín crudo + 20 % turba de musgo + 20 % corteza de pino compostada (Castro *et al.*, 2018). Por su parte, Altland *et al.* (2014) señalan que los valores típicos observados en la producción de diversas especies en vivero, cuando se utilizan sustratos con corteza de pino y musgo corresponden un intervalo de 4.0 a 6.0.

En todos los sustratos el valor promedio de la conductividad eléctrica fue de 0.1 dS m⁻¹ (Cuadro 1); mientras que los aceptables oscilan de 0.8 a 3.5 dS m⁻¹, cifras superiores a 5.0 se consideran con salinidad alta, debido que pocas plantas pueden resistir esa condición. En este estudio, los sustratos presentaron valores calificados como bajos (Mathers *et al.*, 2007). Aguilera *et al.* (2016b) registran cifras bajas (0.04 dS m⁻¹) en un sustrato con 70 % aserrín de pino compostado + 15 % corteza de pino compostada + 15 % vermiculita; Castro *et al.* (2018) al incorporar 60 % aserrín crudo + 20 % turba de musgo + 20 % corteza de pino compostada obtuvieron 0.9 dS m⁻¹.

Variables morfológicas

La altura en las plantas no evidenció diferencias significativas en los factores sustrato y fertilizante; en cambio, para el diámetro, si existieron efectos estadísticos, con 4.0 mm, tanto en el S1 como con *Multicote*®. Respecto a la interacción de los factores evaluados, para el diámetro existieron diferencias significativas, la mejor interacción resultó con el sustrato S1 con *Multicote*®, el cual alcanzó 4.0 mm después, destacaron los tratamientos de S2 y S3 combinados con *Multicote*® (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores medios, error estándar y significancias de las variables morfológicas evaluadas en *Pinus cooperi* Blanco, en respuesta a los sustratos y fertilizantes de liberación controlada, usados durante el ciclo de cultivo de noviembre del 2014 a julio del 2015.

Factor/Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Biomasa seca (g)			Índice de calidad de <i>Dickson</i>
			Aérea	Raíz	Total	
Sustrato						
S1	15.1 ± 0.7 a	4.0 ± 0.1 a	2.1 ± 0.1 a	0.7 ± 0.0 a	2.8 ± 0.1 a	0.4 ± 0.0 a
S2	16.4 ± 0.7 a	3.8 ± 0.1 ab	1.8 ± 0.1 ab	0.7 ± 0.0 a	2.5 ± 0.2 ab	0.4 ± 0.0 ab
S3	16.2 ± 0.6 a	3.7 ± 0.1 ab	1.7 ± 0.1 ab	0.7 ± 0.0 a	2.4 ± 0.1 ab	0.4 ± 0.0 ab
S4	14.7 ± 0.7 a	3.6 ± 0.1 b	1.5 ± 0.1 b	0.6 ± 0.0 a	2.1 ± 0.1 b	0.3 ± 0.0 b
<i>P</i>	0.2074 ns	0.0147 *	0.0041 **	0.1509 ns	0.0096 **	0.0499 *
Fertilizante						
<i>Multicote</i> ®	15.6 ± 0.5 a	4.0 ± 0.1 a	1.8 ± 0.1 a	0.7 ± 0.0 a	2.5 ± 0.1 a	0.4 ± 0.0 a
<i>Osmocote Plus</i> ®	15.5 ± 0.5 a	3.6 ± 0.1 b	1.7 ± 0.1 a	0.6 ± 0.0 b	2.3 ± 0.1 a	0.3 ± 0.0 b
<i>P</i>	0.9298 ns	<0.0001 ***	0.4820 ns	0.0092 **	0.2133 ns	0.0043 **
Interacción						
S1- <i>Multicote</i> ®	15.5 ± 1.0 a	4.2 ± 0.1 a	2.1 ± 0.2 a	0.8 ± 0.1 a	2.9 ± 0.2 a	0.5 ± 0.0 a
S2- <i>Multicote</i> ®	16.6 ± 1.1 a	4.0 ± 0.1 ab	1.8 ± 0.2 ab	0.7 ± 0.0 ab	2.5 ± 0.2 ab	0.4 ± 0.0 ab
S3- <i>Multicote</i> ®	16.3 ± 0.8 a	4.0 ± 0.1 ab	1.7 ± 0.1 ab	0.8 ± 0.0 ab	2.5 ± 0.2 ab	0.4 ± 0.0 ab
S4- <i>Multicote</i> ®	13.0 ± 1.1 a	3.7 ± 0.1 abc	1.6 ± 0.1 ab	0.6 ± 0.0 ab	2.2 ± 0.2 ab	0.4 ± 0.0 ab
S1- <i>Osmocote Plus</i> ®	14.6 ± 1.0 a	3.8 ± 0.1 abc	2.0 ± 0.2 ab	0.6 ± 0.1 ab	2.6 ± 0.2 ab	0.4 ± 0.0 ab
S2- <i>Osmocote Plus</i> ®	16.2 ± 1.0 a	3.6 ± 0.1 bc	1.9 ± 0.2 ab	0.7 ± 0.1 ab	2.6 ± 0.2 ab	0.4 ± 0.0 ab
S3- <i>Osmocote Plus</i> ®	16.0 ± 0.8 a	3.4 ± 0.1 c	1.6 ± 0.1 ab	0.6 ± 0.0 ab	2.2 ± 0.2 ab	0.3 ± 0.0 b
S4- <i>Osmocote Plus</i> ®	15.4 ± 0.8 a	3.4 ± 0.1 c	1.5 ± 0.1 b	0.5 ± 0.0 b	2.0 ± 0.2 b	0.3 ± 0.0 b
<i>P</i>	0.5066 ns	<0.0001 ***	0.0353 *	0.0160 *	0.0359 *	0.0107 *

S1 = 46 % turba de musgo + 54 % corteza de pino compostada; S2 = 30 % turba de musgo + 20 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo; S3 = 25 % turba de musgo + 25 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo; S4 = 20 % turba de musgo + 30 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo; *Multicote*® = 18N - 6P₂O₅ - 12K₂O + 2MgO + micro nutrientes; *Osmocote Plus*® = 15N - 9P₂O₅ - 12 K₂O + micro

nutrientos. P = Probabilidades límites en ANOVA; * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$; *** = $p < 0.001$; ns = No significativo. Para cada columna, letras diferentes para la misma variable, por factor, indican diferencias significativas, de acuerdo a Tukey ($P < 0.05$).

Con relación a la biomasa seca, el sustrato influyó en la producción de biomasa aérea y biomasa total; los valores más altos se determinaron en el S1 (2.1 g en la biomasa aérea y 2.8 g en la biomasa total). El fertilizante solo influyó en la biomasa de la raíz; sobresalió el *Multicote*® con 0.7 g. La interacción de los factores fue significativa, destacó S1 con *Multicote*® (Cuadro 2).

Con base en la norma mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 (Secretaría de Economía, 2016), la altura recomendada para *P. cooperi* es de 15 a 20 cm, con un diámetro ≥ 4.0 mm; en este caso, salvo el S4, los demás tratamientos alcanzaron la altura mínima. Referente al diámetro, las interacciones del S1, S2 y S3 con *Multicote*® registraron el valor mínimo sugerido en las dos variables; dichas medidas posiblemente se alcanzan en todos los tratamientos, con un mes más de cultivo.

Aguilera *et al.* (2016a) produjeron planta de *P. pseudostrobus* de diez meses de edad en sustrato con 60 % aserrín crudo + 15 % de corteza de pino compostada + 15 % turba de musgo +10 % vermiculita, en combinación con fertilizantes de liberación controlada en dosis altas (8 g L⁻¹ *Multicote*®), con las siguientes medidas: 23.3 cm de altura, 5.3 mm de diámetro, 1.3 g de peso seco de la raíz y 4.2 g de peso seco de la parte aérea.

Reyes *et al.* (2005) al incorporar 80 % de aserrín combinado con 20 % tierra de monte, 20 % corteza de pino, 20 % turba de musgo o 20 % agrolita, con la adición de 5 g L⁻¹ de *Multicote*® 18-6-12 obtuvieron plantas de *P. pseudostrobus* de nueve meses de edad, con valores inferiores a los citados anteriormente; Maldonado *et al.* (2011) cultivaron planta de *P. greggii*, de nueve meses de edad, en sustratos compuestos con 40, 60 u 80 % de aserrín con 20, 40 o 60 % de corteza de pino con 5 g L⁻¹ *Osmocote*® 14-14-14 N-P-K, con un crecimiento inferior a las especies antes mencionadas. En estos dos casos, el incremento de la proporción del aserrín y las bajas dosis de fertilizante, no favorecieron el crecimiento adecuado de las plantas,

ya que en la descomposición de la materia orgánica en el aserrín, los microorganismos compiten por los nutrientes disponibles.

El Índice de Calidad de *Dickson* tuvo diferencias significativas a nivel sustrato (con el mayor resultado en S1) y fertilizante (sobresalió *Multicote®*); en la interacción destacó la combinación de S1 con *Multicote®*, superior estadísticamente. El Índice de Calidad de *Dickson* relaciona la información altura/diámetro y la relación parte aérea/raíz; en este caso un aumento en el índice representa plantas de mejor calidad; es decir, son individuos más equilibrados con relación a la parte aérea y radical (Oliet, 2000). El valor más alto en el presente trabajo correspondió al S1 en combinación con *Multicote®* (0.5) (Cuadro 2).

En la producción de plantas de *P. pseudostrobus* en sustratos que incluyen altas proporciones de aserrín (60-80 %), Reyes et al. (2005) y Aguilera et al. (2016a) obtuvieron valores aceptables para el ICD, lo cual indica que al incluir aserrín crudo en el sustrato, se produce planta de calidad.

Concentración de nitrógeno, fósforo y potasio

A nivel factor, solo se registraron diferencias significativas en el sustrato para la variable nitrógeno, destacó el S1. Asimismo, en la interacción de los factores sustrato y fertilizante, únicamente, fue significativa para nitrógeno, con la mayor concentración en el S1, con 8 g L⁻¹ *Osmocote Plus®* (Cuadro 3).



Cuadro 3. Valores promedio, error estándar y significancias por sustrato, fertilizante e interacción de la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en el follaje de plantas de *Pinus cooperi* Blanco de nueve meses en vivero.

Factor/Tratamiento	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
Sustrato			
S1	1.3 ± 0.1 a	0.2 ± 0.0 a	1.0 ± 0.1 a
S2	1.0 ± 0.0 b	0.2 ± 0.0 a	1.0 ± 0.0 a
S3	1.0 ± 0.0 b	0.2 ± 0.0 a	1.0 ± 0.0 a
S4	0.9 ± 0.0 b	0.2 ± 0.0 a	0.9 ± 0.1 a
P	<.0001 ***	0.2697 ns	0.7396 ns
Fertilizante			
<i>Multicote</i> ®	1.0 ± 0.0 a	0.2 ± 0.0 a	1.0 ± 0.0 a
<i>Osmocote Plus</i> ®	1.1 ± 0.1 a	0.2 ± 0.0 a	0.9 ± 0.1 a
P	0.6283 ns	0.6283 ns	0.3241 ns
Interacción			
S1- <i>Multicote</i> ®	1.2 ± 0.0 ab	0.2 ± 0.0 a	1.0 ± 0.1 a
S2- <i>Multicote</i> ®	1.1 ± 0.1 bc	0.2 ± 0.0 a	0.9 ± 0.0 a
S3- <i>Multicote</i> ®	1.0 ± 0.0 bc	0.2 ± 0.0 a	1.0 ± 0.1 a
S4- <i>Multicote</i> ®	0.9 ± 0.0 c	0.2 ± 0.0 a	1.0 ± 0.1 a
S1- <i>Osmocote Plus</i> ®	1.4 ± 0.0 a	0.2 ± 0.0 a	0.9 ± 0.1 a
S2- <i>Osmocote Plus</i> ®	1.0 ± 0.0 bc	0.2 ± 0.0 a	1.0 ± 0.1 a
S3- <i>Osmocote Plus</i> ®	1.0 ± 0.1 bc	0.2 ± 0.0 a	1.0 ± 0.0 a
S4- <i>Osmocote Plus</i> ®	0.9 ± 0.0 bc	0.2 ± 0.0 a	0.9 ± 0.1 a
P	<.0001 ***	0.5024 ns	0.8977 ns
VR	1.3-3.5	0.2-0.6	0.7-2.5

S1 = 46 % turba de musgo + 54 % corteza de pino compostada; S2 = 30 % turba de musgo + 20 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo; S3 = 25 % turba de musgo + 25 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo; S4 = 20 % turba de musgo + 30 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo; *Multicote®* = 18N - 6P₂O₅ - 12K₂O + 2MgO + micro nutrientes; *Osmocote Plus®* = 15N - 9P₂O₅ - 12K₂O + micro nutrientes. *P* = Probabilidades límites en ANOVA. * = *p*<0.01; *** = *p*< 0.001; ns = No significativo. Para cada columna, letras diferentes para la misma variable, por factor; indican diferencias significativas, de acuerdo a *Tukey* (*P* < 0.05); VR = Valores recomendados (Prieto y Sáenz, 2011).

Con base en los intervalos sugeridos por Prieto y Sáenz (2011), los valores de N son adecuados en la interacción de S1 con *Osmocote Plus®*, al igual que las concentraciones de fósforo y potasio en todos los tratamientos (Cuadro 3).

Para *P. montezumae* producido en sustrato con 70 % aserrín de pino compostado + 15 % corteza de pino compostada + 15 % vermiculita y la aplicación de altas dosis de fertilización (8 g L⁻¹ de *Multicote®* y 8 g L⁻¹ de *Osmocote Plus®*) en el sustrato, se consignan valores de N, P y K, similares a los del presente estudio (Aguilera et al., 2016b); a pesar que en el ensayo que aquí se documenta, se utilizó 20 % menos de aserrín, sin compostar, lo que indica que la adición de altas dosis de fertilizante, con aserrín como componente en el sustrato, favorece el crecimiento de las plantas, ya que la demanda nutricional por parte de la actividad microbiológica y el desarrollo de la planta es abastecida con dichas dosis. Además, los fertilizantes de liberación controlada no ceden de inmediato 100 % de los nutrientes, dado que su función es hacerlo de forma paulatina y que coincide con el nivel de desarrollo del vegetal; así se evitan pérdidas por lixiviación, lo que deriva en una máxima eficiencia tanto del fertilizante, como de la planta (Rose et al., 2004).

Costo de los sustratos

Con base en cotizaciones comerciales, los sustratos S2, S3 y S4 que contienen aserrín crudo son 39.8, 43.2 y 46.6 % más económicos, respectivamente, que el S1. Los sustratos con *Multicote®*, en relación a *Osmocote®*, fueron 21.6 % más económicos. Por tal motivo, las interacciones más económicas son el S2, S3 y S4 en combinación con 8 g L⁻¹ de *Multicote®* (Cuadro 4). La diferencia del costo en los sustratos, además de la inclusión del aserrín, que es un material de bajo costo, se debe a la disminución de la proporción de la turba, cuyo precio es alto.

Cuadro 4. Costo de los sustratos con fertilizante por planta de *Pinus cooperi* Blanco, producida en contenedores de poliestireno con 77 cavidades de 170 mL cada una.

Factor/Tratamiento	Costo por planta (USD)
Sustrato	
S1	0.0179
S2	0.0108
S3	0.0102
S4	0.0095
Fertilizante	
<i>Multicote®</i>	0.0038
<i>Osmocote Plus®</i>	0.0062
Interacción	
S1- <i>Multicote®</i>	0.0217
S2- <i>Multicote®</i>	0.0146
S3- <i>Multicote®</i>	0.0140

S4- <i>Multicote</i> ®	0.0133
S1- <i>Osmocote Plus</i> ®	0.0241
S2- <i>Osmocote Plus</i> ®	0.0170
S3- <i>Osmocote Plus</i> ®	0.0164
S4- <i>Osmocote Plus</i> ®	0.0157

S1 = 46 % turba de musgo + 54 % corteza de pino compostada; S2 = 30 % turba de musgo + 20 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo; S3 = 25 % turba de musgo + 25 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo; S4 = 20 % turba de musgo + 30 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo; *Multicote*® = 18N - 6P₂O₅ - 12K₂O + 2MgO + micronutrientos; *Osmocote Plus*® = 15N - 9P₂O₅ - 12 K₂O + micronutrientos.

Escobar y Buamscha (2012) mencionan que adicional a la obtención de planta de calidad, el mejor sustrato será el que esté disponible, cercano al vivero y de menor costo. En función de esas características, el S2 permite producir planta con características aceptables para su establecimiento en campo, sin problemas sanitarios y con un ahorro de 39.8 %; por ello, es un sustrato con potencial para la producción de la especie en estudio.

Conclusiones

Los sustratos que contienen aserrín de pino crudo presentan características físicas y químicas aceptables para la producción de especies forestales. Destaca el tratamiento conformado por el sustrato S2: 30 % turba de musgo + 20 % corteza de pino compostada + 50 % aserrín de pino crudo en combinación con 8 g L⁻¹ de *Multicote*®, con el cual se produce planta con atributos apropiados en función de la altura, diámetro, biomasa total e Índice de Calidad de *Dickson*;

además, los costos de producción se reducen 39.8 %. Con base en estos resultados, el aserrín de pino crudo incluido en el sustrato es una alternativa viable y de menor costo para producir *Pinus cooperi* en vivero.

Agradecimientos

Al Ing. Roberto Trujillo y al Lic. en Administración Roberto Trujillo Ayala, Administradores del vivero forestal “General Francisco Villa”, por las facilidades otorgadas para la realización del experimento en dicho vivero; al Conacyt, por el financiamiento de la beca de estudios para el primer autor.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores

María Mónica González Orozco: establecimiento del experimento, toma, captura y análisis estadístico de datos y redacción del documento; José Ángel Prieto Ruiz: diseño y establecimiento del experimento, revisión y corrección del documento; Arnulfo Aldrete: asesoría sobre los tratamientos por evaluar y el diseño experimental por utilizar, así como revisión del documento; José Ciro Hernández Díaz: asesoría sobre los resultados de análisis de costos y revisión del documento; Jorge Armando Chávez Simental: revisión del documento; Rodrigo Rodríguez Laguna: revisión del documento.

Referencias

- Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T. y V. M. Ordáz C. 2016a. Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7 (34): 7-19.
- Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T. y V. M. Ordáz C. 2016b. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50 (1): 107-118.
- Aleandri, M. P., G. Chilosi, M. Muganu, A. Vettraino, S. Marinari, M. Paolocci, E. Luccioli and A. Vannini. 2015. On farm production of compost from nursery green residues and its use to reduce peat for the production of olive pot plants. *Scientia Horticulturae* 193: 301-307.
- Altland, J. E., J. C. Locke and C. R. Krause. 2014. Influence of pine bark particle size and pH on cation exchange capacity. *HortTechnology* 24 (5): 554-559.
- Buendía V., M. V., M. A. López L., V. M. Cetina A. and L. Diakite. 2016. Substrates and nutrient addition rates affect morphology and physiology of *Pinus leiophylla* seedlings in the nursery stage. *iForest* 10(1): 115-120.
- Burés P., S. 1999. Introducción a los sustratos. Aspectos generales. In: Pastor S., J. N. (ed). *Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal*. Universitat de Lleida. Lérida, España. pp. 19-36.
- Castro G., S. L., A. Aldrete, J. López U. y V. M. Ordáz C. 2018. Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* en vivero. *Agrociencia* 52 (1): 115-127.
- Cervantes R., N., J. A. Prieto R., S. Rosales M. y J. A. Félix H. 2018. Crecimiento de mezquite en vivero bajo diferentes condiciones de sustrato, riego y retenedores de humedad. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 24 (1): 17-31.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2016. Programa de producción de planta 2013 al 2016. México, D.F., México.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200469/2016_Produccion_de_Planta.pdf (04 de mayo de 2018).

Cruz-Crespo, E., A. Can-Chulim, M. Sandoval-Villa, R. Bugarín-Montaya, A. Robles-Bermúdez y P. Juárez-López. 2013. Sustratos en la horticultura. Revista Bio Ciencias. 2 (2): 17-26.

Dickson, A., A. L. Leaf and J. F. Horsen. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. Forestry Chronicle 36 (1): 10-13.

Dumroese K., R., T. D. Landis y K. M. Wilkinson. 2012. Riego y fertiriego. In: Buamscha M., G., L. T. Contardi, R. Dumroese K., J. A. Enricci, R. Escobar R., H. E. Gonda, D. F. Jacobs, T. D. Landis, T. Luna, J. G. Mexal y K. M. Wilkinson (eds.). Producción de plantas en viveros forestales. Consejo Federal de Inversiones, Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Exion. Buenos Aires, Argentina. pp. 115-125.
http://ciefap.org.ar/documentos/pub/Produc_plantas_viv.pdf (11 de agosto de 2017).

Escobar R., R. 2012. Extracción y manejo de poscosecha. In: Buamscha M., G., L. T. Contardi, R. Dumroese K., J. A. Enricci, R. Escobar R., H. E. Gonda, D. F. Jacobs, T. D. Landis, T. Luna, J. G. Mexal y K. M. Wilkinson (eds.). Producción de plantas en viveros forestales. Consejo Federal de Inversiones, Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco Exion. Buenos Aires, Argentina. pp. 171-186.

http://ciefap.org.ar/documentos/pub/Produc_plantas_viv.pdf (11 de agosto de 2017).

Escobar R., R. y G. M. Buamscha. 2012. Sustrato o medio de crecimiento. In: Buamscha M., G., L. T. Contardi, R. Dumroese K., J. A. Enricci, R. Escobar R., H. E. Gonda, D. F. Jacobs, T. D. Landis, T. Luna, J. G. Mexal y K. M. Wilkinson (eds.). Producción de plantas en viveros forestales. Consejo Federal de Inversiones, Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Buenos Aires, Argentina. Exion. pp. 89-113.
http://ciefap.org.ar/documentos/pub/Produc_plantas_viv.pdf (11 de agosto de 2017).

Fregoso M., J. N., J. R. Goche T., J. G. Rutiaga Q., R. F. González L., M. Bocanegra S. y J. A. Chávez S. 2017. Usos alternativos de los desechos de la industria del aserrío. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 23 (2): 243-260.

García C., O., G. Alcántar G., I. Cabrera R., F. Gavi R. y V. Volke H. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Terra Latinoamericana 19 (3): 249-258.

Hernández-Zarate, L., A. Aldrete, V. M Ordaz-Chaparro, J. López-Upton y M. Á. López-López. 2014. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48 (6): 627-637.

Landis, T. D. 1990. Growing Media. In: Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. Mc Donald and J. P. Barnett (eds.). *The Container Tree Nursery Manual. Vol. 2. Agric. Handbook 674. USDA Forest Service. Washington, DC, USA.* pp. 41-85.

Maldonado B., K. R., A. Aldrete, J. López U., H. Vaquera H. y V. M. Cetina A. 2011. Producción de *Pinus greggii* engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego en vivero. *Agrociencia* 45 (3): 389-398.

Mateo S., J. J., R. Bonifacio V., S. R. Pérez R., L Mohedano C. y J. Capulín G. 2011. Producción de (*Cedrela odorata* L.), en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tecpan de Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai* 7 (1): 123-132.

Mathers, H. M., S. B. Lowe, C. Scagel, D. K. Struve and L. T. Case. 2007. Abiotic factors influencing root growth of woody nursery plants in containers. *HortTechnology* 17 (2): 151-162.

Oliet, J. 2000. La calidad de la postura forestal en vivero. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Córdoba. Córdoba, España. 93 p.

Oliet, J., M. L. Segura, F. M. Domínguez, 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. *Investigación Agraria: Sistemas de Recursos Forestales* 8 (1): 207-228.

Prieto R., J. A., J. A. Sigala R., S. Pinedo L., J. L. García P., R. E. Madrid A. y J. M. Mejía B. 2009. Calidad de planta en viveros del estado de Durango. Campo Experimental Valle de Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. Durango, Dgo., México. 81 p.

Prieto R., J. A. y J. T. Sáenz R. 2011. Indicadores de calidad de planta en viveros forestales de la Sierra Madre Occidental. Libro Técnico Núm. 3. Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. Durango, Dgo., México. 210 p.

- 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. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 11 (2): 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 (2): 89-100.
- 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 (2): 41-49.
- Sandoval M., C., V. M. Cetina A., R. Yeaton y L. Mohedano C. 2000. Sustratos y polímeros en la producción de planta de *Pinus cembroides* Zucc., bajo condiciones de invernadero. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 6 (2): 1-143.
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. SAS. Version 9.0. SAS Institute Inc. Cary, NC USA. n/p.
- Secretaría de Economía. 2016. NMX-AA-170-SCFI-2016. Certificación de la operación de viveros forestales. Diario Oficial de la Federación. 194 p. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5464460&fecha=07/12/2016 (9 de abril de 2017).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2015. Anuario estadístico de la producción forestal 2015. México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/282928/2015.pdf> (25 de agosto de 2017).
- Serrada, R. 2000. Apuntes de repoblaciones forestales. FUCOVASA. Madrid, España. 77 p.
- Tian, N., S. Fang, W. Yang, X. Shang and F. Xaingxiang. 2017. Influence of container type and growth medium on seedling growth and root morphology of *Cyclocarya paliurus* during nursery culture. Forests 8 (387): 1-16.
- Zumkeller S., D., J. A. Galbiatti, R. C. de Paula y J. L. Soto G. 2009. Producción de plantas de *Tabebuia heptaphylla* en diferentes sustratos y niveles de irrigación, en condiciones de invernadero. Bosque 30 (1): 27-35.