



DOI: 10.29298/rmcf.v14i77.1332

Artículo de Investigación

Sustratos y fertilización para producir planta de *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en charolas
Substrates and fertilization to produce *Swietenia macrophylla* King and *Tabebuia donnell-smithii* Rose plants in trays

Alexis Domínguez Liévano¹, Manuel Aguilera Rodríguez², Saúl Espinosa Zaragoza^{3*}, Arnulfo Aldrete⁴, Arnoldo Wong Villarreal⁵, Nidia Bélgica Pérez De la O⁴

Fecha de recepción/Reception date: 15 de enero de 2023
Fecha de aceptación/Acceptance date: 15 de mayo del 2023

¹El Colegio de la Frontera Sur, México.

²Consultor privado. México.

³Universidad Autónoma de Chiapas. México.

⁴Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. México.

⁵Universidad Tecnológica de la Selva. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: saulez1@gmail.com

*Corresponding author; e-mail: saulez1@gmail.com

Resumen

En algunos viveros forestales del centro y norte del país se utilizan sustratos en los cuales es común el uso de aserrín de pino y fertilizantes de liberación prolongada; los insumos regionales reducen los costos de producción y simplifican la nutrición de las plantas. El objetivo del presente estudio fue evaluar el crecimiento de *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia donnell-smithii* en dos sustratos: S₁ (turba, perlita, vermiculita 3:1:1) y S₂ (aserrín de pino, perlita, vermiculita 3:1:1) combinados con cuatro dosis de fertilizante (4, 6, 8, 10 g L⁻¹) Multicote® 18-6-12 con micronutrientes de cuatro meses de liberación. La planta se produjo en charolas de plástico rígido de 24 cavidades de 150 mL, durante un período de 3.5 meses. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x4 (dos sustratos y cuatro dosis de fertilizante). A los 3.5 meses, se evaluaron las características morfológicas y el contenido de N, P, K en el follaje de las plantas. Ambas especies presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por el tipo de sustrato y dosis de fertilizante en el diámetro, altura, peso seco aéreo y de la raíz, así como en concentración de nutrientes. Las plantas producidas en S₁ fueron superiores en la mayoría de las variables a las de S₂, sin embargo, el sustrato a base de aserrín tiene potencial para la producción de los dos taxones, por lo que es una opción como sustrato viable por el costo para obtener plantas dentro de los intervalos de calidad media.

Palabras clave: Atributos morfológicos, Chiapas, selva tropical húmeda, Soconusco, sustratos alternativos, viveros forestales tropicales.

Abstract

Some forest nurseries in central and northern Mexico use substrates where the use of pine sawdust and extended release fertilizers is common; regional inputs reduce production costs and simplify plant nutrition. The objective of this study was to evaluate the growth of *Swietenia macrophylla* and *Tabebuia donnell-smithii* on two substrates: S₁ (3:1:1 peat, perlite, vermiculite) and S₂ (3:1:1 pine sawdust, perlite, vermiculite) combined with four doses (4, 6, 8, 10 g L⁻¹) of Multicote® 18-6-12 fertilizer with four-month release micronutrients. The plant was grown in 24-cavity 150 mL rigid plastic trays for a period of 3.5 months. A completely randomized design

with a 2×4 factorial arrangement (two substrates and four doses of fertilizer) was used. At 3.5 months, the morphological characteristics and N, P, and K content in plant foliage were evaluated. Both species showed significant differences ($p \leq 0.05$) by substrate type and fertilizer dose on diameter, height, aerial and root dry weight, as well as nutrient concentration. Plants produced in S_1 were superior in most variables to those grown in S_2 . However, the sawdust-based substrate has the potential for the production of both taxa, which renders it a viable option as a substrate for obtaining plants within the medium-quality range.

Key words: Morphological attributes, *Chiapas*, tropical rain forest, *Soconusco*, alternative substrates, tropical forest nurseries.

Introducción

En México, la producción intensiva de planta de especies forestales para restaurar y reconvertir terrenos forestales perturbados se inició en 1993, y en 2011 alcanzó un máximo de 300 millones de plantas. Esta producción se realizó como parte de los programas nacionales de restauración denominados Solidaridad Forestal, Programa Nacional de Reforestación (Pronare), ProÁrbol y Programa Nacional Forestal (Pronafor) (Secretaría de Economía, 2016; Vera *et al.*, 2018). También, en 2011 comenzó la producción de planta en charolas (contenedores), la cual para 2016 fue de 93.3 %, y solo 6.7 % se hizo en bolsas de polietileno y a raíz desnuda (Conafor, 2019).

La producción de planta en charolas demanda el uso de sustratos inertes, con granulometría ≤ 10 mm, porosidad de aireación ≥ 20 , pH ligeramente ácido (5.5 a 6.5) y conductividad eléctrica (CE) de 1 200 a 2 500 ($\mu\text{S cm}^{-1}$), con baja o nula fertilidad; en consecuencia, se requiere utilizar fertilizantes con macro y micronutrientes esenciales (Landis *et al.*, 2014; Secretaría de Economía, 2016).

Para preparar sustratos con las características indicadas anteriormente, en los viveros del país se usan insumos orgánicos como turba de musgo o *peat-moss* (importada de Canadá y del norte de Europa), corteza de pino compostada, aserrín crudo de pino, composta de bagazos de frutos de plantas (agave, lechuguilla, caña de azúcar, café, coco, cacao, cacahuete, nuez) en proporciones de 50 a 100 % y en menor proporción, materiales inorgánicos como perlita, vermiculita y espuma

volcánica ("tepezil", "jal", "gravilla") (Abanto-Rodríguez *et al.*, 2016; Domínguez-Liévano y Espinosa-Zaragoza, 2021).

De los materiales orgánicos, la turba y la corteza de pino son los insumos más empleados en los viveros forestales de especies de clima templado y tropical, en sistemas de producción tecnificada y tradicional (Mateo-Sánchez *et al.*, 2011), aunque en los últimos 10 años, su costo se ha incrementado de manera considerable debido al aumento en los precios de los combustibles y fletes, así como por la depreciación del peso frente al dólar americano.

Para reducir los costos de los sustratos y simplificar los procesos de nutrición de las plantas, durante la última década, en varios viveros forestales del centro y norte del país, se ha producido planta de coníferas y latifoliadas con éxito en sustratos con aserrín de pino (sin compostar) combinados con fertilizantes de liberación controlada (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016; González *et al.*, 2018; De Jesús *et al.*, 2021).

En los estados del sureste, la producción de especies forestales se realiza, principalmente, con sustratos preparados a base de turba, corteza de pino, vermiculita y agrolita, y la nutrición de las plantas se lleva a cabo con fertilizantes de liberación controlada (adicionados a los sustratos) y fertilizantes hidrosolubles (disueltos en el agua de riego) (Mateo-Sánchez *et al.*, 2011). A la fecha, la mayor parte de los estudios sobre producción de planta forestal corresponde a coníferas y latifoliadas del centro y norte del país. En cambio, para especies tropicales maderables bajo el contexto de sustratos a base de aserrín de pino, solo se cita un estudio para *Cedrela odorata* L. (Mateo-Sánchez *et al.*, 2011).

En el presente estudio, se evalúa el sustrato con aserrín de pino para producir planta de caoba (*Swietenia macrophylla* King) y de primavera (*Tabebuia donnell-smithii* Rose). Se eligieron estas especies por ser de las más utilizadas en plantaciones agroforestales y comerciales del sureste del país (Espinosa-Zaragoza *et al.*, 2016).

Materiales y Métodos

Localización del estudio

El estudio se realizó en el vivero forestal Soconusco, propiedad de la Secretaría del Medio Ambiente e Historia Natural del estado de Chiapas, ubicado en el municipio Tuxtla Chico, Chiapas. El vivero se localiza en las coordenadas 14°53'46.3" N y 92°13'37.6" O, a una altitud de 170 m. El clima de la zona es cálido húmedo con lluvias en verano, temperatura media mensual de 28 °C, precipitación media anual de 2 326 mm y período de lluvias de marzo a octubre (SMN, 2021).

El área de producción tiene una estructura metálica tipo "casa sombra" de 4 m de alto, con cubierta cenital de malla sombra negra al 40 %, mesas metálicas porta charolas de 1.5 m de ancho y 80 cm de alto, y sistema de riego manual con regadera de gota fina.

Insumos utilizados

Contenedores. Se utilizaron charolas de plástico rígido de color negro, de 21.6×35.2×10.0 cm, 24 cavidades fusionadas de 150 mL, con una densidad de 316 plantas m² (*BCC AB*[®], Landskrona).

Sustratos. Se probaron dos mezclas: S_1 , compuesta por turba de musgo (*peat-moss*), perlita y vermiculita 3:1:1, y S_2 , compuesta por aserrín de pino fresco (sin compostar), perlita y vermiculita (3:1:1).

Fertilizantes. Se utilizó fertilizante de liberación controlada *Multicote*[®] 18-6-12 (N-P-K)+2 Mg+ME de cuatro meses de liberación a temperatura constante de 21 °C (*Haifa Chemicals Ltd.*, Haifa).

Germoplasma. Se utilizó semilla de caoba (*Swietenia macrophylla*) recolectada de la unidad productora de germoplasma forestal-huerto semillero clonal, Chetumal, Quintana Roo (18°34'25.1" N, 88°27'38.6" O) a una altitud de 32 m, y semilla de primavera (*Tabebuia donnell-smithii*) recolectada de árboles sanos, libres de plagas y enfermedades ubicados en la cabecera municipal Tuxtla Chico, Chiapas (14°56'42.4" N, 92°09'39.7" O) a una altitud de 290 m.

Tratamientos

Cada especie se produjo en ambos sustratos (S_1 , S_2) combinados con cuatro dosis de fertilizante de liberación controlada (4, 6, 8 y 10 g L⁻¹), para un total de ocho tratamientos por especie. La unidad experimental fue de 24 plantas, por cuatro repeticiones, para un total por tratamiento de 96 plantas.

Manejo de la producción

Previo a la siembra, se seleccionaron las semillas de mayor tamaño, libres de daños físicos y de plagas o enfermedades. La planta se produjo durante un periodo de 3.5 meses, de la tercera semana de julio a la última de octubre de 2020. El riego se realizó manualmente dos veces a la semana con regaderas de gota fina. Las charolas con la planta estuvieron protegidas con cubierta de malla sombra durante las primeras siete semanas, y a la intemperie durante las últimas siete.

Variables morfológicas e índices de calidad evaluados

La planta se evaluó a los 3.5 meses después de la siembra, en ambas especies. De cada charola o repetición, se extrajeron 15 plantas en forma sistemática; en total, se evaluaron 60 plantas por tratamiento. Se lavó con agua el cepellón de cada una, para eliminar las partículas de sustrato y dejar libres sus raíces.

A cada planta se le midió la altura (m) (A) con una regla graduada en mm y el diámetro del cuello (cm) (D) con un vernier digital (*Truper*[®]); posteriormente, la planta se seccionó y se colocaron por separado la parte aérea y radical en bolsas de papel de estraza. Los conjuntos de bolsas de cada repetición y tratamiento se secaron en un horno eléctrico a 70 °C (*FELISA HORNO*[®] FE-293A) durante 72 h. Al concluir el secado, se registró el peso seco de la parte aérea (PSA) y de la raíz (PSR) en una balanza analítica (*Ohaus*[®] AR0640) con precisión de 0.001 g. Con los valores anteriores, se determinaron las siguientes variables morfológicas cualitativas: relación peso seco aéreo entre peso seco de la raíz (PSA/PSR), índice

de robustez (IR)= (A/D) e Índice de Calidad de *Dickson* (ICD)= $[PST/(IR+PSA/PSR)]$, donde PST es el peso seco total.

Para determinar la calidad de los resultados obtenidos en las variables antes descritas, se elaboró el Cuadro 1. Para ello, se utilizaron los datos citados por Rueda *et al.* (2012) y modificados por Sáenz *et al.* (2010) con aportaciones de Santiago *et al.* (2007) y Conafor (2009) para plantas de calidad de especies latifoliadas.

Cuadro 1. Valores de calidad de especies latifoliadas.

Variable	Tipo de planta	Calidad		
		Baja	Media	Alta
Altura (cm)	Latifoliadas	<12.0	12.0–14.9	≥15.0
Diámetro (mm)	Latifoliadas	<2.5	2.5–4.9	≥5.0
Índice de robustez	Todas ¹	≥8.0	7.9–6.0	<6.0
Relación PSA/PSR	Todas ¹	≥2.5	2.4–2.0	<2.0
Índice de <i>Dickson</i>	Todas ¹	<0.2	0.2–0.4	≥0.5

¹Todas: Conífera no cespitosa, conífera cespitosa y latifoliada.

Concentración de N, P, K en el follaje de las plantas

La concentración de N, P y K en el follaje de las plantas se determinó en el laboratorio de nutrición vegetal Salvador Alcalde Blanco del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México. El follaje seco de las 60 plantas evaluadas de cada tratamiento y especie se trituró y se pulverizó en un molino con criba (*Yinda*[®]-YDGS-200) de 1.0 mm de diámetro. De cada tratamiento,

se analizaron tres muestras y con los resultados se obtuvieron los valores promedio para cada nutriente.

El contenido de N se obtuvo por el método semimicro-*Kjeldahl* (Bremer, 1965), en tanto que para el P y K se utilizó el método descrito por Alcántar y Sandoval (1999), en el que los extractos fueron leídos en un equipo de espectrometría de emisión e inducción por plasma (*Agilent 725 Series ICP-OES*). Para comparar si las concentraciones de nutrientes determinadas fueron las apropiadas en cada especie y tratamiento, se utilizaron los intervalos recomendados por Jacobs y Landis (2014) para planta sana de especies tropicales producida en charolas (N=1.50-3.50, P=0.10-0.25, y K=0.6-1.80 %).

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 2×4 (dos sustratos y cuatro dosis de fertilizante), con cuatro repeticiones (charolas) por tratamiento. Las variables de respuesta se sometieron a un análisis de varianza y comparaciones de medias, mediante la prueba de *Tukey* ($P \leq 0.05$) con el *software* estadístico *InfoStat*® versión 2008 (InfoStat, 2008). El modelo empleado para el análisis de los datos fue el siguiente:

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

Donde:

$i = 1, 2, \dots, a$ número de niveles del factor A

$j = 1, 2, \dots, b$ número de niveles del factor B

$k = 1, 2, \dots, r$ número de repeticiones de cada combinación $A \times B$

Y_{ijk} = Valor de la variable respuesta correspondiente a la repetición k del nivel i de A al nivel j de B

μ = Media general

A_i = Efecto del nivel i del factor A (sustratos)

B_j = Efecto del nivel j del factor B (dosis de fertilizante)

AB_{ij} = Interacción $A \times B$ correspondiente al nivel i de A y nivel j de B

ε_{ijk} = Error experimental correspondiente a la repetición k del nivel i de A al nivel j de B

Resultados

Efecto del sustrato y del fertilizante en el crecimiento de *Swietenia macrophylla*

El tipo de sustrato generó un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en las variables morfológicas A , PSR y PSA . La dosis de fertilizante adicionada a los sustratos indujo un efecto significativo en todas las variables morfológicas (D , A , PSR y PSA) en las dosis de 8 y 10 g L⁻¹. Las plantas producidas en el sustrato S_1 y dosis de 10 g L⁻¹ presentaron alturas y pesos secos superiores a las de las plantas producidas en los otros tratamientos (S_1 y S_2) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variables morfológicas promedio de planta de *Swietenia macrophylla* King.

T	S	Dosis (g L ⁻¹)	D (mm)	A (cm)	PSR (g)	PSA (g)	IR	PSA/PSR	ICD	
	S ₁		4.27 a [†]	33.07 a	0.64 a	1.37 a	7.82 a	2.38 a	0.20 a	
	S ₂		4.03 a	27.18 b	0.50 b	1.17 b	6.97 b	2.18 a	0.18 b	
			<i>p</i>	<0.146	<0.001	<0.001	<0.001	<0.047	<0.127	<0.041
1	S ₁	4	3.30 b	28.61 bcd	0.60 abc	1.25 ab	8.69 a	2.12 a	0.17 ab	
2		6	4.14 ab	28.10 bcd	0.63 ab	1.35 ab	6.86 ab	2.18 a	0.22 a	
3		8	4.64 a	33.89 b	0.65 ab	1.36 ab	7.34 ab	2.12 a	0.22 a	
4		10	4.99 a	41.69 a	0.67 a	1.54 a	8.38 ab	2.30 a	0.21 a	
5	S ₂	4	3.12 b	24.26 d	0.41 d	1.05 b	8.23 ab	2.59 a	0.14 b	
6		6	3.94 ab	25.83 cd	0.48 cd	1.15 b	6.72 ab	2.44 a	0.18 ab	
7		8	4.47 a	26.64 cd	0.52 bcd	1.18 b	5.92 b	2.28 a	0.21 a	
8		10	4.59 a	32.20 bc	0.58 abc	1.28 ab	7.02 ab	2.20 a	0.21 a	
			<i>p</i>	<0.001	<0.001	<0.005	<0.017	<0.013	<0.837	<0.003
			(S×Dosis) <i>p</i>	<0.948	<0.091	<0.403	<0.961	<0.606	<0.464	<0.564
			VR	≥5.0	≥15.0		<6.0	<2.0	≥0.5	

T = Tratamiento; S = Sustrato; D = Diámetro del cuello; A = Altura de la planta; PSA = Peso seco aéreo; PSR = Peso seco radicular; IR = Índice de robustez; PSA/PSR = Relación peso seco aéreo entre peso seco de la raíz; ICD = Índice de calidad de *Dickson*; VR = Valores recomendados (Cuadro 1). [†]Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Los índices de calidad evaluados (IR y el ICD) fueron cualitativamente superiores en la planta producida en el S₁ con las dosis 6, 8 y 10 g L⁻¹, mientras que para la relación PSA/PSR, no se registraron diferencias estadísticamente significativas. En la interacción sustrato vs. fertilización, no hubo efecto significativo en las variables evaluadas (Cuadro 2).

Efecto del sustrato y del fertilizante en el crecimiento de *Tabebuia donnell-smithii*

En todos los tratamientos se produjo planta con diámetros superiores a 4 mm, y una mayor altura (≥ 30 cm). El tipo de sustrato generó efecto significativo ($p \leq 0.05$) en las variables *A*, *PSR* y *PSA* (dosis: 8 y 10 g L⁻¹). En ambos factores de variación (sustrato y fertilización) los valores fueron superiores en el sustrato S₁ (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables morfológicas promedio en planta de *Tabebuia donnell-smithii* Rose.

T	S	Dosis (g L ⁻¹)	<i>D</i> (mm)	<i>A</i> (cm)	<i>PSR</i> (g)	<i>PSA</i> (g)	<i>IR</i>	<i>PSA/PSR</i>	<i>ICD</i>	
	S ₁		4.35 a [†]	40.47 a	0.77 a	1.32 a	9.33 a	1.82 a	0.19 a	
	S ₂		4.17 a	38.69 b	0.56 b	1.00 b	9.26 a	1.75 a	0.14 b	
			<i>p</i>	<0.054	<0.014	<0.001	<0.001	<0.812	<0.526	<0.001
1	S ₁	4	4.09 ab	36.96 cd	0.68 ab	1.13 abc	9.05 a	1.75 a	0.17 a	
2		6	4.24 ab	39.37 bc	0.75 ab	1.36 ab	9.32 a	1.76 a	0.19 a	
3		8	4.42 ab	41.38 abc	0.79 ab	1.38 ab	9.40 a	1.88 a	0.20 a	
4		10	4.65 a	44.19 a	0.88 a	1.41 a	9.55 a	1.62 a	0.20 a	
5	S ₂	4	4.06 b	33.54 d	0.48 b	0.82 c	8.28 a	1.76 a	0.13 a	
6		6	4.08 b	38.58 bc	0.55 b	0.99 bc	9.46 a	1.87 a	0.14 a	
7		8	4.22 ab	40.26 abc	0.54 b	1.10 abc	9.55 a	2.02 a	0.14 a	
8		10	4.35 ab	42.39 ab	0.68 ab	1.10 abc	9.77 a	1.64 a	0.16 a	
			<i>p</i>	<0.010	<0.001	<0.038	<0.009	<0.079	<0.392	<0.305
			(S × Dosis) <i>p</i>	<0.738	<0.534	<0.983	<0.964	<0.574	<0.838	<0.960
			VR	≥ 4.0	25-35		≤ 8.7	1.5-2.5	≥ 2.0	

T = Tratamiento; S = Sustrato; *D* = Diámetro del cuello; *A* = Altura de la planta; *PSA* = Peso seco aéreo; *PSR* = Peso seco de la raíz; *IR* = Índice de robustez;

PSP/PSR = Relación peso seco aéreo entre peso seco de la raíz; *ICD* = Índice de calidad de *Dickson*; *VR* = Valores recomendados (Cuadro 1). †Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

En los índices de calidad evaluados, solo se presentaron diferencias significativas en el *ICD* por el tipo de sustrato, en cuanto a la dosis de fertilización y la interacción de los factores, no hubo diferencias estadísticas (Cuadro 3).

Efecto del sustrato y fertilizante en la asimilación de nutrientes

Los valores porcentuales de la concentración de N, P y K fueron superiores en las plantas producidas con S_1 en comparación con las producidas con S_2 . En todos los tratamientos, la concentración porcentual de estos nutrientes estuvo dentro de los intervalos recomendados por Jacobs y Landis (2014) para planta sana de especies tropicales. En general, el aumento de la dosis de fertilizante generó un mayor incremento proporcional de nutrientes en el follaje de ambas especies (Cuadro 4).

Cuadro 4. Concentración de N, P, K en el follaje de las plantas de *Swietenia macrophylla* King (Caoba) y *Tabebuia donnell-smithii* Rose (Primavera).

S	Dosis (g L⁻¹)	Caoba			Primavera		
		N	P	K	N	P	K
S ₁	4	2.64	0.18	0.88	2.84	0.21	0.93
	6	2.80	0.24	1.04	2.99	0.21	0.93
	8	3.33	0.25	1.01	3.36	0.24	0.95

	10	4.35	0.30	1.15	3.83	0.27	1.04
	Promedio	3.28	0.24	1.02	3.26	0.23	0.96
S ₂	4	2.58	0.16	0.67	2.72	0.17	0.48
	6	2.86	0.19	0.66	2.75	0.17	0.55
	8	3.24	0.20	0.69	3.24	0.19	0.64
	10	3.45	0.23	0.72	3.43	0.19	0.64
	Promedio	3.03	0.20	0.69	3.04	0.18	0.58
	VR	1.5-3.4	0.2-0.3	0.6-1.8	1.5-3.5	0.2-0.3	0.6-1.8

S = Sustrato; VR = Valores de referencia por Jacobs y Landis (2014).

Costos de insumos

Los costos por planta se determinaron con base en los costos promedio de los insumos utilizados en cada tratamiento al mes de abril de 2023: paca de turba de 5.5 pies cúbicos (250 L sin compactar)= \$ 970.00, equivalente a \$ 3.88 L⁻¹; aserrín de pino sin compostar (con flete incluido)= \$ 150.00 m³, es decir, \$ 0.015 L⁻¹; perlita (saco de 100 L)= \$ 216.00, equivalente a \$ 2.60 L⁻¹; vermiculita (saco de 100 L)= \$ 514.00, \$ 5.40 L⁻¹; y *Multicote*[®] (saco de 25 kg)= \$ 2 251.00, \$ 0.09 g⁻¹. El costo por planta se calculó en función del valor de 200 mL de sustrato con fertilizantes necesarios para llenar cada cavidad de 150 mL, ya que durante esta actividad se compacta el sustrato. El costo por planta en dólares americanos se calculó considerando un valor de cambio de \$ 20.00 MN por dólar al mes de abril de 2023. Para el S₁ varió de USD 0.041 a 0.047 y para S₂ de USD 0.018 a 0.024.

Discusión

De conformidad con los valores de referencia (Cuadro 1), se produjo planta de caoba y primavera de calidad media a alta; con base en los resultados, los tratamientos de S_1 y 10 g L^{-1} de *Multicote*[®] presentaron los mejores valores de referencia de calidad de planta para ambas especies, y sería recomendable esta mezcla si se desea estandarizar un sustrato para especies tropicales. Estos resultados demuestran que es posible producir especies forestales tropicales en sustratos con aserrín de pino y fertilizantes de liberación controlada. Mateo-Sánchez *et al.* (2011) produjeron planta de *Cedrela odorata* en charolas con cavidades de 140 cm^3 y sustratos con diferentes proporciones de aserrín, combinados con 8 g L^{-1} de *Multicote*[®] (18-6-12) de 8 meses de liberación; a los tres meses y medio después de la siembra, la planta producida en el sustrato compuesto por aserrín de pino, turba, vermiculita y perlita (60:24:08:08) desarrolló valores promedio en diámetro, altura e *ICD* de 4.5 mm, 31 cm, y 0.30, respectivamente.

El período de producción de tres meses y medio, desde la siembra hasta la evaluación de la planta, fue apropiado para la caoba, la cual presentó diámetros y alturas dentro de los intervalos recomendados (Cuadro 1). En cambio, la planta de primavera registró mayores alturas. En promedio, para ambas especies se obtuvieron índices de robustez (*IR*) altos o por arriba del intervalo de referencia, e índices de calidad de *Dickson* (*ICD*) bajos o inferiores a los recomendados. El uso de cavidades con más capacidad volumétrica o de fertilizantes de liberación controlada con menos N y más P podrían contribuir a la producción de planta más robusta, con mayor biomasa radicular y, en consecuencia, con *ICD* superiores.

En cuanto al efecto del sustrato y del fertilizante en la asimilación de nutrientes en ambas especies, los valores correspondientes a la planta producida en el S_1 con las

dosis 6, 8 y 10 g L⁻¹, y en el S₂, con las dosis 8 y 10 g L⁻¹, se obtuvieron valores similares a los señalados por Rueda-Sánchez *et al.* (2014) en cuatro viveros del estado de Nayarit. Dichos autores produjeron planta de caobilla (*Swietenia humilis* Zucc.) y primavera en charolas de poliestireno con cavidades de 170 cm³ en las que utilizaron un sustrato compuesto por turba, perlita y vermiculita (3:1:1), y se adicionaron 4 g L⁻¹ de fertilizante de liberación controlada, además de fertilizantes hidrosolubles. La planta se evaluó a los 4 y 3.5 meses de edad, respectivamente, y registraron los siguientes valores promedio de N, P, K: caobilla 1.9, 0.2 y 0.9 %, y primavera 2.1, 0.2, 0.9 %.

Escobar y Buamscha (2012) indican que en la producción de planta de calidad, el mejor sustrato será aquel que esté disponible cercano al vivero para reducir esfuerzos de trabajo y el costo. En función de tales características, el S₂ permite obtener planta con características aceptables (utilizando aserrín) para su establecimiento en campo con fines de reforestación, sin problemas sanitarios y con un ahorro de 50 %. Por ello, el aserrín tiene potencial para la producción de caoba y primavera, por lo que este sustrato es una opción viable por su costo y que se obtienen plantas dentro de los intervalos de calidad media.

Conclusiones

Se puede producir planta de *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia donnell-smithii* con características morfológicas y nutrimentales apropiadas para reforestación en el sustrato elaborado con 60 % de aserrín fresco de pino (S₂), con dosis 8 y 10 g L⁻¹ de *Multicote*[®], y en el sustrato compuesto por turba (S₁) y *Multicote*[®] en dosis de 6,

8 y 10 g L⁻¹, durante un período de 3.5 meses en charolas de plástico rígido con cavidades de 150 mL de capacidad. Los valores porcentuales de la concentración de N, P y K fueron superiores en las plantas producidas con S₁, en comparación con las obtenidas con S₂. El costo promedio del sustrato con turba y *Multicote*[®] es dos veces más caro que el sustrato con aserrín de pino y *Multicote*[®].

Agradecimientos

A los encargados del vivero Soconusco de la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural del estado de Chiapas y al Ing. Hernán Ichimura Pérez (jefe de vivero).

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución por autor

Alexis Domínguez Liévano: diseño, estructura y redacción del artículo; Manuel Aguilera Rodríguez: estructura y redacción del artículo; Saúl Espinosa Zaragoza: procesamiento de la información y redacción del artículo; Arnulfo Aldrete: estructura y redacción del artículo; Arnoldo Wong Villarreal: revisión de literatura y redacción del artículo; Nidia Bélgica Pérez De la O: revisión del artículo.

Referencias

- Abanto-Rodríguez, C., D. García-Soria, W. Guerra-Árevalo, H. Murga-Orrillo, ... y R. Tadashi-Sakazaki. 2016. Sustratos orgánicos en la producción de plantas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.). *Scientia Agropecuaria* 7(3):341-347. Doi: 10.17268/sci.agropecu.2016.03.23.
- Aguilera-Rodríguez, M., A. Aldrete, T. Martínez-Trinidad y V. M. Ordáz-Chaparro. 2016. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50(1):107-118. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/2370/2046>. (14 de febrero de 2022).
- Alcántar G., G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal: Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Texcoco, Edo. Méx., México. 156 p.
- Bremer, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. *Agronomy* 9:1179-1237. <http://garfield.library.upenn.edu/classics1980/A1980JC06900001.pdf>. (25 de febrero de 2022).
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2009. Criterios técnicos para la producción de especies forestales de ciclo corto (rápido crecimiento), con fines de restauración 2009. Conafor. Zapopan, Jal., México. 13 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2019. Monitoreo de restauración forestal y reconversión productiva 2017. Conafor y Universidad Autónoma Chapingo. Zapopan, Jal. México. p. 134.
- De Jesús A., F., R. Ignacio H., D. A. Rodríguez T. y L. Mohedano C. 2021. Calidad de planta de *Quercus rugosa* Née en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(67):147-167. Doi: 10.29298/rmcf.v12i67.967.

Domínguez-Liévano, A. y S. Espinosa-Zaragoza. 2021. Evaluación de sustratos alternativos en la germinación y crecimiento inicial de *Hymenaea courbaril* L. en condiciones de vivero. *Revista Forestal del Perú* 36(1):107-117. Doi: 10.21704/rfp.v1i36.1707.

Escobar R., R. y G. M. Buamscha. 2012. Sustrato o medio de crecimiento. In: Contardi, L. T., H. E. Gonda, G. Tolone y J. Salimbeni (Coords.) 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, BA, Argentina. pp. 89-100. http://ciefap.org.ar/documentos/pub/Produc_plantas_viv.pdf. (29 de marzo de 2023).

Espinosa-Zaragoza, S., M. C. Escobar-Sandoval, B. E. Meza-Sandoval, C. H. Avendaño A., S. I. Ramírez-González y O. López-Báez. 2016. Producción de primavera (*Roseodendron donnell-smithii* *syn* *Tabebuia donnell-smithii*), madera fina del trópico. *Agroproductividad* 9(2):42-49. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/719/588>. (17 de febrero de 2022).

González O., M. M., J. Á. Prieto R., A. Aldrete, J. C. Hernández D., J. A. Chávez S. y R. Rodríguez L. 2018. Sustratos a base de aserrín crudo con fertilización y la calidad de planta de *Pinus cooperi* Blanco en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(48):203-226. Doi: 10.29298/rmcf.v8i48.125.

InfoStat. 2008. InfoStat Software Estadístico, Manual de Usuario Versión 2008. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Cba., Argentina. 335 p.

Jacobs, D. F. and T. D. Landis. 2014. Plant nutrition and fertilization. In: Wilkinson, K. M., T. D. Landis, D. L. Haase, B. F. Daley and R. K. Dumroese. (Eds.). *Tropical Nursery Manual. A guide to starting and operating a nursery for native and traditional plants*. Agriculture Handbook 732. United States Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC., USA. pp. 233-250.

Landis, T. D., D. F. Jacobs, K. M. Wilkinson and T. Luna. 2014. Growing media. In: Wilkinson, K. M., T. D. Landis, D. L. Haase, B. F. Daley and R. K. Dumroese. (Eds.). Tropical Nursery Manual. A guide to starting and operating a nursery for native and traditional plants. Agriculture Handbook 732. United States Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC., USA. pp. 101-122.

Mateo-Sánchez, J. J., R. Bonifacio-Vázquez, S. R. Pérez-Ríos, L. Mohedano-Caballero y J. Capulín-Grande. 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. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46116742012>. (28 de febrero de 2022).

Rueda S., A., J. D. Benavides S., J. Á. Prieto-Ruiz, J. T. Sáenz R., G. Orozco-Gutiérrez y A. Molina C. 2012. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3(14):69-82. Doi: [10.29298/rmcf.v3i14.475](https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i14.475).

Rueda-Sánchez, A., J. D. Benavides-Solorio, J. T. Sáenz-Reyez, H. J. Muñoz F., J. A. Prieto-Ruiz y G. Orozco G. 2014. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 5(22):58-72. Doi: [10.29298/rmcf.v5i22.350](https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i22.350).

Sáenz R., J. T., F. J. Villaseñor R., H. J. Muñoz F., A. Rueda S. y J. Á. Prieto R. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico Núm. 17. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich., México. 50 p.

Santiago T., O., V. Sánchez M., C. R. Monroy R. y J. G. Salazar G. 2007. Manual de producción de especies forestales tropicales en contenedor. Folleto Técnico Núm. 44. INFAP-CIRGOC-Campo Experimental El Palmar. Tezonapa, Ver., México. 73 p.

Secretaría de Economía (SE). 2016. Norma Mexicana NMX-AA-169-SCFI-2016. Establecimiento de unidades productoras y manejo de germoplasma forestal. Especificaciones técnicas (cancela la nmx-aa-169-scfi-2014). Diario Oficial de la

Federación, 3 de octubre de 2016. pp. 1-131. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-169-scfi-2016.pdf>. (29 de febrero de 2022).

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2021. Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS). Sistema de Información y Visualización de Estaciones Automáticas: Tapachula. <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>. (28 de enero de 2022).

Vera, N. E., L. M. Reyes, L. López C., J. Perié, R. Costas y A. Mallorquín. 2018. Técnicas silviculturales para la recuperación de bosques primarios degradados y secundarios. EDUNAM Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones. Posadas, Ms, Argentina. 68 p.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.