

Crecimiento de plantas de *Caesalpinia platyloba* S. Watson en vivero bajo diferentes sustratos orgánicos

Growth of *Caesalpinia platyloba* S. Watson plant growth in nursery under different organic substrates

Raúl Emanuel Velázquez-Roblero¹ , Iván Guadalupe Martínez-Álvarez² , José Ángel Prieto-Ruiz³ , Jaime Alberto Félix-Herrán^{4*} 

¹Universidad Autónoma Indígena de México. Campus Mochicahui. Benito Juárez #39, CP. 81890. Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa, México.

²Universidad Autónoma de Occidente. Campus Regional Guasave, Avenida Universidad S/N, CP. 81048. Guasave, Sinaloa, México.

³Universidad Juárez del Estado de Durango. Río Papaloapan y bulevar Durango S/N, col. Valle del Sur, CP. 34120. Durango, Durango, México,

⁴Universidad Autónoma Indígena de México. Campus Mochicahui. Benito Juárez #39, CP. 81890. Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa, México.

*Autor de correspondencia: jfelixherran@yahoo.com.mx

Nota científica

Recibida: 1 de noviembre de 2022

Aceptada: 24 de septiembre de 2024

RESUMEN. *Caesalpinia platyloba* S. Watson es una especie multipropósito nativa del bosque tropical caducifolio, de gran interés para la reforestación y establecimiento de sistemas agroforestales. El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes sustratos orgánicos en el desarrollo de las plántulas de *Caesalpinia platyloba*. Se evaluaron variables de altura, diámetro del tallo, biomasa fresca y seca del follaje, y raíces en charola de germinación; en vaso de polietileno (15 días después de la siembra) se evaluó la sobrevivencia al trasplante e índices de calidad de planta. Se encontró que la composta de residuos sólidos y la lombricomposta mejoran la calidad de las plántulas de *Caesalpinia platyloba*, al mejorar la relación diámetro del tallo y la altura, así como el índice de lignificación de la planta, y aumenta el índice de calidad de Dickson. La mezcla 50%-50% composta o lombricomposta-vermiculita se puede utilizar como sustrato para producir planta de *Caesalpinia platyloba*.

Palabras clave: Crecimiento y desarrollo, lignificación, humificación, producción de planta.

ABSTRACT. *Caesalpinia platyloba* S. Watson is a multipurpose species native to the tropical deciduous forest and of great interest for reforestation and establishment of agroforestry systems. The objective was to evaluate the effect of different organic substrates on the development of *Caesalpinia platyloba* seedlings. Were considered the variables height, stem diameter, fresh and dry biomass of foliage, and roots in germination tray; in polyethylene cups (15 days after the sowing), transplant survival and plant quality indices were considered. It was found that solid waste compost and vermicompost improve the quality of *Caesalpinia platyloba* seedlings by improving the stem diameter and height ratio, as well as the lignification index of the plant, thus increasing the Dickson quality index. The 50%-50% compost or vermicompost-vermiculite mixture can be used as a substrate to produce *Caesalpinia platyloba* plants.

Key words: Growth and development, lignification, humification, plant production.

Como citar: Velázquez-Roblero RE, Martínez-Álvarez IG, Prieto-Ruiz JA, Félix-Herrán JA (2025) Crecimiento de plantas de *Caesalpinia platyloba* S. Watson en vivero bajo diferentes sustratos orgánicos. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(1): e3519. DOI: 10.19136/era.a12n1.3519.

INTRODUCCIÓN

Caesalpinia platyloba S. Watson también denominada *Coulteria platyloba* (S. Watson) N. Zamora es una especie arbórea de la familia Fabaceae (Magallón-Chávez *et al.* 2024). En México, el género *Coulteria* es morfológicamente muy diverso y muchas de sus especies son endémicas (Sotuyo-Vázquez y Contreras-Jiménez 2021). En México, la Comisión Nacional Forestal ha utilizado *C. platyloba* en numerosos esfuerzos de reforestación en suelos erosionados, así como para producir pulpa para la industria de la celulosa, incluyendo la industria de la pulpa y el papel (Prieto *et al.* 2016). En el estado de Sinaloa, ubicado en el noroeste de México, existe una alta demanda de guías de *C. platyloba*, las cuales se utilizan como postes en los cultivos de tomate y chile (CONAFOR 2018).

En la producción de planta en vivero, los sustratos utilizados suelen ser parte fundamental del proceso y se formulan a partir de mezcla de diferentes materias primas, para conseguir el equilibrio de porosidad, aireación y capacidad de retención de agua, manteniendo un costo bajo y son inocuos para el medio ambiente (Londra *et al.* 2018, Haller 2019). Los sustratos orgánicos, como la composta y lombricomposta, son una opción apropiada para producir especies forestales de interés (González-Orozco *et al.* 2018). En México, la utilización de plantas para reforestación sin los parámetros físicos necesarios diámetro, altura, relación peso seco entre el tallo y la raíz, e índice de robustez, entre otros; es decir, plantas no vigorosas y de tamaño menor al requerido, provoca mortandad elevada en la plantación, aproximadamente 57% después de un año de la siembra; otro factor desfavorable son las deficiencias que ocurren durante el proceso de siembra y producción en vivero (Prieto-Ruíz *et al.* 2018). La calidad de planta se refiere a las características morfológicas específicas, tales como diámetro del cuello de la raíz, número de raíces laterales de primer orden, altura, lignificación, robustez, integridad y sanidad (CONAFOR-SEMARNAT 2018). Los sustratos orgánicos pueden mejorar los índices de lignificación, robustez y de calidad de Dickson de planta para aumentar la probabilidad de supervivencia y optimizar la producción; los índices más utilizados son índice de robustez (IR), índice de lignificación (IL), índice de calidad de Dickson (ICD) (Trocones-Boggiano y Delgado-Fernández 2020, Basave-Villalobos *et al.* 2021). Es importante evitar plantas excesivamente altas y delgadas; la planta debe ser vigorosa, las plantas robustas tienen mayor probabilidad de sobrevivencia al trasplante en campo (CONAFOR-SEMARNAT 2018).

El palo colorado *Caesalpinia platyloba* es una especie considerada en los árboles mexicanos potencialmente valiosos para la reforestación y restauración ecológica (Batis-Muñoz *et al.* 1999). Como se dijo antes, hay que considerar las características morfológicas y fisiológicas de la planta que se produce en los viveros, de ello depende la supervivencia en campo y el crecimiento inicial de la planta en el lugar de la plantación (Basave-Villalobos *et al.* 2021). Debido a lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de sustratos orgánicos, a base de composta y lombricomposta en diferentes proporciones, en el desarrollo de las plántulas de *Caesalpinia platyloba*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el vivero Universitario ubicado en las coordenadas 26° 56' 17.39" N, 108° 55' 49.81" O y 25 msnm, en el Municipio de El Fuerte, Sinaloa, en el noroeste de México.

Metodología

La semilla se recolectó en forma aleatoria de 30 árboles ubicados en una plantación de *C. platyloba* establecida en el 2014, en el Ejido Buenavista, Municipio El Fuerte, Sinaloa. La extracción de las semillas de vainas de palo colorado se hizo de forma manual, las cuales fueron colocadas en bolsas de papel Kraft y almacenadas a 25 °C hasta su uso posterior. Se seleccionaron 200 semillas con los siguientes atributos físicos: tamaño grande, borde café, color verde oscuro, y embrión color verde claro (Díaz-Vázquez *et al.* 2019). La siembra se realizó el mes de febrero, previamente se escarificó con papel lija de agua No. 400, para desgastar la testa, lo suficiente para permitir que el agua penetrara al embrión (Sánchez-Soto *et al.* 2016). En esta etapa no se evaluó la emergencia de semillas, solo se realizó la medición de la altura del tallo y diámetro del tallo al raz del sustrato, con un vernier digital Caliper Neiko.

El proceso de compostaje se realizó siguiendo la metodología propuesta por Lal-Meena *et al.* (2021); se utilizaron 75 kg de restos de mercado, rastrojo de maíz y aserrín de pino crudo y 25 kg de estiércol de bovino, en relación 3:1, y una relación C/N de 151.25 el proceso duró 120 días, durante el proceso de compostaje se mantuvo la capa externa de la pila húmeda y se volteó de forma manual con una pala para ventilar y evitar la putrefacción, durante cinco meses, para la lombricomposta se agregó un inóculo de aserrín-melaza-lactobacilos de suero de leche (1:1:0.5 peso/peso); estos materiales se precompostearon por 15 días, y se realizó una prueba de tolerancia con 200 ejemplares de lombriz roja Californiana *Eisenia foetida* (López-Méndez *et al.* 2013), que consistió en colocar las 200 lombrices adultas en un caja de madera de 61 x 36.7 x 34.5 cm de largo, ancho y alto, respectivamente con 20 kg de sustrato precompostado. A los 60 días después de la inoculación se cuantificaron las lombrices. Para comprobar si el sustrato era adecuado para la lombriz. Los sustratos, composta y lombricomposta fueron cosechadas, al observar un color uniforme en la pila de compostaje y el olor característico a tierra mojada que se obtiene en la fase de maduración, los abonos se almacenaron aproximadamente un mes, para su caracterización fisicoquímica y subsecuente uso en los ensayos.

La caracterización fisicoquímica de la composta y lombricomposta (Tabla 1) se analizaron en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Sinaloa (CIIDIR-IPN, Unidad Sinaloa).

Se evaluaron seis tratamientos: 50% composta-50% vermiculita (T₁) utilizado como control; 75% composta-25% vermiculita (T₂); 75% lombricomposta-25% vermiculita (T₃); 50% lombricomposta-50% vermiculita (T₄); 100% lombricomposta de residuos de mercado (T₅); y 100% composta de restos de mercado, rastrojo de maíz y aserrín de pino crudo (T₆).

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con 45 semillas por tratamiento y tres repeticiones (15 semillas por repetición).

Tabla 1. Medias de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos de la composta de restos de mercado, rastrojo de maíz y aserrín de pino crudo, y lombricomposta de restos de mercado utilizados en las mezclas.

Parámetro	Composta	Lombricomposta
	(m ± ES)*	
pH	7.37 ± 0.12	7.47 ± 0.03
Conductividad Eléctrica (mS·cm ⁻¹)	2.85 ± 0.58	5.47 ± 0.24
Materia orgánica (%)	39.97 ± 1.45	45.69 ± 0.41
Carbono orgánico (%)	23.18 ± 0.84	26.50 ± 0.24
Nitrógeno (%)	1.70 ± 0.11	1.82 ± 0.06
Fósforo Olsen (cmol·kg ⁻¹)	1377.73 ± 116.04	1491.04 ± 27.22
Potasio (cmol·kg ⁻¹)	2347.00 ± 132.10	2370.42 ± 73.36
Calcio (cmol·kg ⁻¹)	2704.33 ± 102.86	3502.33 ± 251.27
Magnesio (cmol·kg ⁻¹)	260.33 ± 21.98	273.67 ± 27.67
Sodio (cmol·kg ⁻¹)	160.67 ± 3.48	530.00 ± 19
Fierro (cmol·kg ⁻¹)	20.13 ± 4.18	13.44 ± 0.82
Cobre (cmol·kg ⁻¹)	10.92 ± 2.76	6.59 ± 0.19
Zinc (cmol·kg ⁻¹)	7.60 ± 1.05	0.98 ± 0.04
Manganeso (cmol·kg ⁻¹)	17.61 ± 0.84	2.18 ± 0.10

*Media ± Error estándar de la media.

VARIABLES EVALUADAS

Las variables consideradas para la caracterización física de los tratamientos fueron: densidad aparente, densidad real y porosidad total. Para medir la densidad aparente se utilizó el método de la probeta (Zanor *et al.* 2018); para la densidad real se utilizó el picnómetro (Miguel-Martínez *et al.* 2018), y la porosidad total se determinó mediante la siguiente fórmula (Zanor *et al.* 2018):

$$\text{Porosidad total (\%)} = \left[1 - \left(\frac{\text{Densidad aparente}}{\text{Densidad real}} \right) \right] \times 100$$

La siembra se realizó en charolas de germinación de poliestireno, con 60 cavidades de 182 mL cada una, con dimensiones de 58.8 x 33.5 x 4.5 cm (largo, ancho, diámetro superior de la cavidad, respectivamente); en total se utilizaron 8 charolas. Para que la siembra fuera aleatoria, cada charola se dividió en cuatro secciones, en cada una de las cuales se sembró una repetición de cada tratamiento, hasta completar tres repeticiones por tratamiento. Después de la siembra, el riego fue tres veces a la semana, durante toda la investigación, con agua destilada para prevenir la contaminación de las plántulas, la temperatura al interior fue 25 °C ± 2 °C, la humedad de 40% y fotoperiodos de 14 h luz.

La emergencia de semillas duró dos semanas, y aproximadamente a los 20 días después de la siembra, comenzó la medición de las variables altura de la planta (cm), diámetro del tallo (mm), biomasa fresca y seca del follaje, y raíces (g). La altura se midió con una regla; para medir el diámetro se utilizó un Vernier digital Caliper Neiko. Para registrar la biomasa seca se utilizó un método destructivo, por lo que la medición fue al final del experimento. Se seleccionaron al azar cinco plantas por tratamiento; tanto el follaje y raíces de la planta se colocaron en bolsas de papel

y se dejaron secar en una incubadora Labnet International, Inc. Model 2IIDS por 72 h a temperatura de 78° C hasta obtener el peso anhidro. De los índices evaluados, el índice de robustez (IR) o índice de esbeltez, representa la relación entre la altura de la planta (cm) y el diámetro del tallo (mm) (Trocones-Boggiano y Delgado-Fernández 2020, Basave-Villalobos *et al.* 2021); el índice de lignificación (IL) se obtiene al dividir el peso seco total (g) entre el peso total fresco (g) y multiplicar el resultado por 100 (Silva-Dionisio *et al.* 2020). El índice de calidad de Dickson (DQI) se obtiene con la siguiente fórmula (Basave-Villalobos *et al.* 2021):

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

A los 30 días de la siembra, las plantas fueron trasplantadas en bolsas de polietileno calibre 600, de 30 x 30 cm de ancho y largo, con un volumen de 5.68 L; las bolsas contenían la misma mezcla utilizada en el experimento en charola; las plantas se colocaron en una casa sombra con un nivel de sombra de 35% de tela Raschel, a temperatura ambiente 25 °C. Se consideraron diez plántulas por repetición; por triplicado, es decir, 30 bolsas por tratamiento. El riego fue cada tercer día con agua destilada.

El diseño experimental del ensayo en bolsa de polietileno fue completamente al azar. Las variables evaluadas fueron altura de la planta (cm), diámetro del tallo (mm), biomasa fresca y seca del follaje, y raíces (g). La medición de la alometría de las plántulas en la bolsa se realizó para todas las plántulas por tratamiento. Para la medición de la biomasa se seleccionaron al azar cinco plantas por unidad experimental; el follaje y las raíces de las plantas se colocaron en bolsas de papel y se dejaron secar en una incubadora Labnet International, Inc. Model 2IIDS por 72 h a una temperatura de 78° C hasta obtener el peso anhidro y se registró el peso seco de ambas partes de la planta. La medición de las variables comenzó a los 60 días después del trasplante a bolsas de polietileno. Las plantas estaban a temperatura ambiente (35 °C) en el invernadero (10 x 6 x 3 m largo, ancho y alto) con cubierta de plástico color blanco, calibre 720 de la Unidad Mochichahui de la Universidad.

Análisis estadístico

Se verificó que los datos presentaran normalidad de los errores residuales con la prueba de Shapiro-Wilk ($p > 0.05$), homocedasticidad con la prueba de Bartlett's ($p > 0.05$); y no autocorrelación de los datos por la prueba de Contraste de Durbin-Watson. El análisis estadístico y las pruebas se realizaron con el paquete estadístico R Software, versión 4.1.1 (R Core Team 2021). Para el ANOVA de una vía se utilizó la función "aov." Para la comparación de medias se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey con el paquete agricolae (de Mendiburu 2021). El nivel de significancia para todas las pruebas fue $\alpha = 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física de los sustratos

La densidad aparente de las mezclas presentó diferencias estadísticamente significativas entre sustratos ($p < 0.05$), la misma osciló de 0.30 a 0.61 g cm⁻³ y la mayor se encontró en T₅ (100%

lombricomposta) y T₆ (100% composta y la menor en T₄ (50% – 50% lombricomposta-vermiculita). La densidad real osciló entre 0.89 y 1.65 g cm⁻³, ubicándose en el grupo estadístico superior al T₆ (100% composta) y la menor en T₄ (50% – 50% lombricomposta – vermiculita). La porosidad total osciló de 52.31 a 75.85%, la mayor porosidad total se encontró en T₄ (50% – 50% lombricomposta - vermiculita) y T₁, en tanto la menor se obtuvo en T₅ (100% lombricomposta) (Tabla 2). De acuerdo con Andika *et al.* (2014), la densidad aparente es un aspecto esencial de la calidad física de un sustrato para producir planta en vivero, ya que se relaciona con el soporte de la planta; la densidad aparente recomendable para un sustrato es entre 0.2 a 0.5 g cm⁻³. Mientras que otros autores mencionan que debe ser menor a 0.4 g cm⁻³ (Barbaro *et al.* 2019). Solo dos de los sustratos evaluados tuvieron densidad aparente mayor a 0.5 g cm⁻³ (T₅ y T₆); en ellos prevaleció solo el uso de composta o lombricomposta, y como menciona Ruíz-Sagaseta *et al.* (2021) los abonos orgánicos composta, lombricomposta y bocashi, no se pueden utilizar como sustratos solos, por su alta densidad aparente, drenaje deficiente y baja capacidad de ventilación.

Tabla 2. Caracterización física de las mezclas de sustratos evaluadas.

Tratamiento	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Densidad real (g cm ⁻³)	Porosidad (%)
	(m ± ES)**		
T ₁	0.35 ± 0.010 ^{c*}	0.90 ± 0.07 ^e	70.20 ± 1.03 ^a
T ₂	0.45 ± 0.0033 ^b	1.09 ± 0.01 ^d	63.05 ± 0.12 ^b
T ₃	0.42 ± 0.010 ^b	1.01 ± 0.018 ^c	58.68 ± 0.17 ^c
T ₄	0.30 ± 0.0035 ^d	0.89 ± 0.028 ^e	75.85 ± 1.01 ^a
T ₅	0.61 ± 0.006 ^a	1.29 ± 0.048 ^b	52.31 ± 1.31 ^d
T ₆	0.59 ± 0.004 ^a	1.65 ± 0.014 ^a	64.24 ± 0.04 ^b

*Letras diferentes en las columnas indican diferencia significativa, según la prueba de Tukey (p < 0.05). **Media ± Error estándar de la media. Los tratamientos fueron: T₁) 50% composta-50% vermiculita, como control; T₂) 75% composta-25% vermiculita; T₃) 75% lombricomposta-25% vermiculita; T₄) 50% lombricomposta-50% vermiculita; T₅) 100% lombricomposta de restos de mercado; T₆) 100% composta de restos de mercado, rastrojo de maíz, y aserrín de pino crudo.

La densidad aparente de los sustratos representa la relación de la masa por volumen; por lo tanto, si el sustrato tiene alta densidad aparente, las partículas están demasiado apretadas, lo que resulta en un pobre crecimiento de las plantas causado por la reducción de oxígeno a las raíces (Andika *et al.* 2014); aunque en el caso del T₆ (100% composta), los resultados de crecimiento de la planta fueron favorables respecto a los demás tratamientos con menor densidad aparente (Tabla 3), esto pudo deberse al pH, la conductividad eléctrica de la composta y el contenido de *Fe* de los abonos orgánicos, el rango de pH entre 6.5 y 7.3 es en el cual la mayor cantidad de nutrientes se encuentran disponibles para la planta (Binkley y Fisher, 2020), en este ensayo la composta tuvo pH 7.37 y la lombricomposta 7.47; la conductividad eléctrica es un parámetro que influye en el desarrollo de las plantas. Al respecto, Gondek *et al.* (2020) mencionan que la salinidad en el suelo y abonos orgánicos se relaciona con la presencia de iones Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Cl⁻, SO₄⁺², CO₃⁻², HCO₃⁻, NO₃⁻. También mencionan que una composta con una CE >5 dS/m, se considera salina, por lo que es necesario conocer la tolerancia a la salinidad de las especies a utilizar.

El hierro es un nutrimento esencial para las plantas, su presencia favorece la respiración mitocondrial, fotosíntesis, asimilación de nitrógeno, regulación hormonal, es un cofactor enzimático, facilitando reacciones químicas y regulando la estabilización de proteínas (Connorton *et al.* 2017, Mahender *et al.* 2019). Aproximadamente el 90% del Fe absorbido se almacena en los cloroplastos, y se utiliza para mantener la integridad estructural y funcional de la membrana del tilacoide, esto favorece que la fotosíntesis se realice de manera eficiente. La forma más abundante de Fe es su estado de oxidación Fe^{+3} (férico), pero esta forma no es soluble y por lo tanto no puede ser asimilado por las plantas, lo que puede provocar deficiencia de Fe en el suelo o sustrato (Patra *et al.* 2021). El pH de la composta, aunado a la menor CE y al mayor contenido de Fe, comparado con la lombricomposta, pudieron mejorar las condiciones para que el desarrollo de la planta.

Si la densidad aparente es baja, también puede presentar problemas, especialmente en la incapacidad de dar soporte a la planta. Al respecto Landis *et al.* (1990), un sustrato de buena calidad también debe tener una porosidad total entre 60-80%, lo cual ocurrió en la mezcla utilizada en cada tratamiento, excepto en la mezcla T₅, lo cual se puede deber a la alta densidad aparente de la lombricomposta (T₅). Para aumentar el espacio poroso en un sustrato se pueden utilizar materiales fibrosos, como la fibra de coco o hojarasca, lo que ayuda a bajar la densidad aparente y mejorar el drenaje del sustrato (Haller 2019). Las mezclas de sustratos que contenían composta T₁ y T₂, presentaron porosidad total de 70.20 y 63.05%, respectivamente. Esto pudo deberse a la textura que presenta cada abono, en la lombricomposta es de tipo granular, al ser procesado por la lombriz, por lo que cuando se seca se forman terrones duros, difíciles de romper (Acosta-Durán *et al.* 2017).

Alometría de las plántulas

Se tuvo el 100% de supervivencia de las plantas en charola y después del trasplante en bolsa. Debido al efecto de los tratamientos evaluados, las siguientes variables presentaron diferencias significativas: diámetro del tallo, altura y biomasa total ($p < 0.05$). Para el diámetro del tallo de las plantas (Tabla 3) a los 15 días después del trasplante los tratamientos que destacaron fueron T₁ y T₆; manteniendo la tendencia T₁, e incorporándose el tratamiento T₂ en el grupo estadístico superior, con aumento significativo al cambiar de 0.78 a 2.03 mm (1.25 mm).

Para la altura de las plantas (Tabla 3), al inicio del experimento, el tratamiento T₆ promovió la mayor altura; después de dos meses de inicio del experimento sobresalió el T₁, seguido por T₂ y T₆. Para la biomasa de las plantas (Tabla 3), a los 15 días de inicio del experimento los tratamientos T₁ y T₂ promovieron la acumulación mayor de biomasa; pero después de 60 días de la siembra, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

El índice de robustez (IR) de las plantas osciló de 3.33 a 6.59. A los 15 días, el IR menor (3.33) se encontró en T₅ y el mayor en T₆ (6.59). A los 60 días, el IR varió de 4.25 a 5.70, el menor IR se encontró en T₃ (4.25) y el mayor IR en T₁ (5.70). En referencia a la alometría de las plantas, la relación entre altura y diámetro del tallo mide el índice de robustez (IR). Valores menores a 8 indican buena calidad de planta, ya que la planta es más robusta y su tallo más vigoroso que las plantas con valores superiores a 8; los valores altos, indican desproporción entre el crecimiento, altura y el diámetro del tallo, como son tallos elongados con diámetros delgados (Prieto *et al.* 2009). Los valores de IR obtenidos están dentro del intervalo considerando por Prieto *et al.* (2012), quienes mencionan que el IR debe ser menor a 8 en mezquite, que pertenece a la familia Fabaceae como C.

platyloba. Mientras que Basave-Villalobos *et al.* (2020) sugieren que el crecimiento de una planta puede atribuirse a los diferentes patrones de crecimiento y ramificación que son controlados por mecanismos de dominancia y control apical, y que hay efecto de hormonas involucradas en el crecimiento apical. Para Oliveira *et al.* (2017), la importancia de las raíces no se limita a la absorción de nutrimentos, sino también a la síntesis de reguladores del crecimiento de las plantas, especialmente las del grupo de las citoquininas, estas hormonas se mueven por el xilema, junto con el agua y los minerales, hacia los puntos de crecimiento de los brotes de las plantas. Por lo que las sustancias húmicas presentes en la composta y lombricomposta actuaron como hormonas de crecimiento, promoviendo la elongación celular; como lo indica Kumar-Gautam *et al.* (2021).

Tabla 3. Alometría de las plántulas de *C. platyloba* después de 15 días del trasplante y en bolsas de polietileno después de dos meses del trasplante.

Tratamiento	Diámetro (mm) (m ± ES)**		Altura (cm) (m ± ES)		Biomasa total (g) (m ± ES)	
	15 días	60 días	15 días	60 días	15 días	60 días
T ₁	1.4 ± 0.12 ^a	2.2 ± 0.06 ^a	7.1 ± 1.01 ^{ab}	12.3 ± 0.58 ^a	0.4 ± 0.03 ^a	1.1 ± 0.77 ^a
T ₂	1.0 ± 0.05 ^b	1.9 ± 0.07 ^a	4.8 ± 0.60 ^{abc}	10.4 ± 0.58 ^{ab}	0.4 ± 0.03 ^a	1.1 ± 0.91 ^a
T ₃	0.7 ± 0.02 ^c	1.3 ± 0.20 ^b	2.6 ± 0.23 ^{bc}	5.3 ± 0.80 ^c	0.3 ± 0.01 ^{ab}	0.3 ± 0.003 ^b
T ₄	0.8 ± 0.05 ^{bc}	2.0 ± 0.11 ^a	3.2 ± 0.36 ^{bc}	9.1 ± 0.61 ^b	0.3 ± 0.05 ^{ab}	1.0 ± 0.49 ^a
T ₅	0.6 ± 0.02 ^c	1.3 ± 0.24 ^b	2.0 ± 0.081 ^c	6.1 ± 0.90 ^c	0.2 ± 0.03 ^b	0.4 ± 0.22 ^b
T ₆	1.4 ± 0.04 ^a	1.8 ± 0.06 ^{ab}	8.9 ± 2.15 ^a	9.8 ± 0.74 ^{ab}	0.3 ± 0.03 ^{ab}	1.4 ± 0.002 ^a

*Letras diferentes en las columnas indican diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

**Media ± Error estándar de la media. Los tratamientos fueron: T₁) 50% composta-50% vermiculita, como control; T₂) 75% composta-25% vermiculita; T₃) 75% lombricomposta-25% vermiculita; T₄) 50% lombricomposta-50% vermiculita; T₅) 100% lombricomposta de restos de mercado; T₆) 100% composta de restos de mercado, rastrojo de maíz, y aserrín de pino crudo.

El índice de lignificación (IL) de las plantas no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$) en las evaluaciones a los 15 y 60 días de edad de la planta (Tabla 4); a los 15 días el IL osciló de 21.38 a 26.61 y a los 60 días de 26.68 a 35.2. Por su parte el ICD si mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$); a los 15 días de crecimiento de las plantas destacó T₂, mientras que a los 60 días el mayor ICD se encontró en T₆ (0.21); el menor ICD a los 60 días se encontró en T₃ (0.06). El que el IL no presentara diferencias estadísticas entre los tratamientos, indica que todos los sustratos promovieron igual efecto en el endurecimiento de los tallos de las plantas de *C. platyloba*. El IL de las plantas representa la relación porcentual entre el peso seco y el peso húmedo, indicando el nivel de endurecimiento; es decir, la capacidad de las plantas de permanecer verticales durante condiciones medioambientales de viento o lluvia cuando salen del vivero (Prieto *et al.* 2018). La lignina es uno de los componentes foliares que más se ha utilizado como índice de calidad del material vegetal, y su concentración se considera como uno de los predictores principales de los índices (Meentemeyer 1978). La desintegración afecta la producción primaria al regular el suministro de nutrimentos mineralizados para la planta (Kitayama *et al.* 2004). Lo anterior explica, hasta cierto punto, sus diferencias en productividad; en la madera de especies de árboles tropicales, el contenido de lignina oscila entre el 20 y 30% (Whetten *et al.* 1998). Las plantas de la mezcla T₄, revelaron un mayor grado de endurecimiento del tallo, con un IL de 26.61, la relación parte aérea- raíz (robustez) de 4.13 representa que la proporción

entre la parte aérea y la raíz es adecuada, en términos de que el tallo no es delgado y pueda tener mejor resistencia al viento, el ICD es 0.15, este parámetro morfológico representa la calidad de la planta y mientras mayor sea el ICD la planta tiene mejor calidad, en cuanto a las proporciones morfológicas. En un estudio similar, Orozco-Gutiérrez *et al.* (2010), reportan un IL de 37.13 ± 0.69 para *C. platyloba* a los tres meses después de la siembra; los resultados obtenidos en el presente estudio son menores, entre 21.44 y 26.61, las diferencias se pueden deber a que estos autores aplicaron fertilización química a las plantas durante el ensayo, lo que pudo influir en el engrosamiento del tallo y endurecimiento de la corteza, también mencionan que $IL < 37.13$ pueden representar que el diámetro del tallo es menor a 4 mm, esto se considera desfavorable cuando *C. platyloba* se utiliza como barrera rompevientos, porque el tallo es delgado y se puede doblar y romperse. Mientras que Rosa *et al.* (2009), mencionan que el diámetro del tallo es un parámetro esencial al evaluar la resistencia de una planta; y uno de los principales atributos utilizado para estimar la sobrevivencia después del trasplante. Las plantas con diámetro del tallo bajo tienen dificultades para mantenerse verticales después del trasplante, se doblan, lo que puede causar la muerte o deformación (Cunha *et al.* 2005). Mientras que Gonçalves *et al.* (2013) consideran que el diámetro del tallo adecuado para una planta de especie forestal de calidad es de 5 a 10 mm. En un trabajo con *Prosopis laevigata*, Cervantes-Rodríguez *et al.* (2018) evaluaron el efecto del hidrogel o lluvia sólida en el desarrollo de la planta mediante índices de calidad, reportando un ICD de 0.035 a los tres meses de edad, tanto *P. laevigata* como *C. platyloba*, por lo que se puede considerar que se tuvo un valor similar de ICD.

Tabla 4. Índices de calidad de planta medidos en las plantas de *C. platyloba*: índice de robustez, índice de lignificación, e índice de calidad de Dickson, después de 15 días del trasplante y en bolsas de polietileno después de dos meses del trasplante.

Tratamiento	Índice de Robustez (m ± SE)**		Índice de Lignificación (m ± ES)		Índice de Calidad de Dickson (m ± ES)	
	15 días	60 días	15 días	60 días	15 días	60 días
T ₁	4.8 ± 0.3	5.7 ± 0.1	22.1 ± 0.9 ^a	35.2 ± 1.9 ^a	0.03 ± 0.005 ^{ab}	0.1 ± 0.01 ^{ab}
T ₂	4.7 ± 0.4	5.3 ± 0.1	21.4* ± 1.1 ^a	33.2* ± 1.1 ^a	0.04* ± 0.001 ^{a**}	0.1 ± 0.05 ^{ab}
T ₃	4.0 ± 0.2	4.2 ± 0.1	23.4 ± 1.6 ^a	31.2 ± 2.1 ^a	0.03 ± 0.003 ^{ab}	0.1 ± 0.004 ^b
T ₄	4.1 ± 0.2	4.6 ± 0.05	26.6 ± 2.1 ^a	30.7 ± 1.8 ^a	0.03 ± 0.002 ^{ab}	0.1 ± 0.01 ^{ab}
T ₅	3.3 ± 0.1	4.7 ± 0.05	25.3 ± 1.3 ^a	26.7 ± 1.1 ^a	0.02 ± 0.003 ^b	0.1 ± 0.01 ^{ab}
T ₆	6.6 ± 1.8	4.8 ± 0.2	21.4 ± 0.6 ^a	33.8 ± 0.4 ^a	0.02 ± 0.001 ^b	0.2 ± 0.024 ^a

* Letras diferentes en las columnas indican diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). ** Media ± Error estándar de la media. Los tratamientos fueron: T₁) 50% composta-50% vermiculita, como control; T₂) 75% composta-25% vermiculita; T₃) 75% lombricomposta-25% vermiculita; T₄) 50% lombricomposta-50% vermiculita; T₅) 100% lombricomposta de restos de mercado; T₆) 100% composta de restos de mercado, rastrojo de maíz, y aserrín de pino crudo.

Los resultados muestran que la composta y lombricomposta favorecen el crecimiento inicial de *C. platyloba*, y promueve la elongación celular y la acumulación de biomasa. El uso de sustratos orgánicos puede contribuir al desarrollo de la planta, favoreciendo el desarrollo y engrosamiento del tallo y el tejido radicular, contribuyendo al vigor de la planta. Las diferencias en la densidad aparente y porosidad entre los tratamientos podrían ser factores que contribuyan a la calidad

superior de las plantas; es decir, las mezclas con composta presentaron menor densidad aparente, alta porosidad, y esto favoreció a la calidad de la planta, con alto ICD; mientras que las mezclas con lombricomposta presentaron alta densidad aparente, baja porosidad, y menor ICD, comparados con la composta. La composta y lombricomposta puras y mezcladas con vermiculita en relación 50%-50% y 75%-25%, respectivamente; favorecieron el desarrollo de las plantas de palo colorado. Por lo que se puede utilizar la mezcla 50%-50% composta ó lombricomposta-vermiculita como sustrato para producir planta de *Caesalpinia platyloba*.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Víctor Olalde Portugal del Laboratorio de Bioquímica ecológica del CINVESTAV-Unidad Irapuato y al Dr. Adolfo Dagoberto Armenta Bojórquez del Laboratorio de Nutrición vegetal del CIIDIR-IPN, Unidad Sinaloa por su apoyo durante el ensayo y para la elaboración del presente artículo.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Durán CM, Bahena-Galindo ME, Chávez-García JA, Acosta-Peñaloza D, Solís-Reynoso MG (2017) Sustrato de lombricomposta para el cultivo de Belén (*Impatiens walleriana* Hook. f.). *Revista Bio Ciencias* 4(5): 14. <http://dx.doi.org/10.15741/rev-bio.04.05.04>
- Andika DO, Ngamau K, Ogola HJO, OGor C (2014) Physical qualities of organic potting substrates for containerized and nursery production. *International Journal of Biological Science* 1: 36-41.
- Barbaro L, Karlanian M, Rizzo P, Riera N (2019) Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Science* 35: 126-136. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>.
- Basave-Villalobos E, Cetina-Alcalá VM, López-López MA, Ramírez-Herrera C, Trejo C, Conde-Martínez V (2021) La poda aérea como práctica cultural en vivero para *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(63). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.799>
- Batis-Muñoz AI, Alcocer-Silva MI, Gual-Díaz M, Sánchez-Dirzo C, Vázquez-Yanes C (1999) Árboles mexicanos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto J084. México. 15p.
- Binkley D, Fisher RF (2020) *Ecology and management of forest soils*. 5th edition. Wiley Blackwell, Hoboken. Nueva Jersey, USA. 436p.
- Cervantes-Rodríguez N, Prieto-Ruiz JA, Rosales-Mata S, Félix-Herrán JA (2018) Growth of mesquite in the nursery under different substrate, irrigation and moisture retainer conditions. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 24: 17-31. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.10.056>

- CONAFOR (2018) Ficha técnica de unidades productoras de germoplasma forestal (UPGF). Red Mexicana de Germoplasma Forestal – CONAFOR – SEMARNAT. 2p. <https://www.gob.mx/conafor>. Fecha de consulta: 22 de junio de 2022.
- CONAFOR-SEMARNAT (2018) Qué hacer antes de reforestar. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-hacer-antes-de-reforestar>. Fecha de consulta: 03 de abril de 2022
- Connorton JM, Balk J, Rodríguez-Celma J (2017) Iron homeostasis in plants – A brief overview. *Metallomics* 9(7): 813-823. <https://doi.org/10.1039/c7mt00136c>
- Cunha AO, Andrades LA, Bruno RLA, Silva JAL, Souza VC (2005) Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex D.C.) Standl. *Revista Árvore* 29: 507-516. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000400002>.
- de Mendiburu F (2021) *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.3-5. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>. Fecha de consulta: 17 de octubre de 2022
- Díaz-Vázquez DP, Félix-Herrán JA, Sañudo-Ayala E, Ruelas-Ayala RD (2019) Respuesta de las semillas de palo colorado (*Caesalpinia platyloba* S. Watson) a diferentes tratamientos pregerminativos. *Revista Tecnociencia Chihuahua* 13: 173-180. <https://doi.org/10.54167/tch.v13i3.480>.
- Gonçalves EO, Petri GM, Caçador DA, Caldeira MVW, Delarmelina WM (2013) Crescimento de mudas de *Acacia farnesiana* (L.) Willd em substratos contendo diferentes materiais orgânicos. *Ecologia e Nutrição Florestal* 1: 110-116. <https://doi.org/10.13086/2316-980x.v01n03a02>
- Gondek M, Weindorf DC, Thiel C, Kleinheinz G (2020) Soluble salts in compost and their effects on soil and plants: A review. *Compost Science & Utilization* 28(2): 59-75, <https://dx.doi.org/10.1080/1065657X.2020.1772906>
- González-Orozco MM, Prieto-Ruiz JA, Aldrete A, Hernández-Díaz JC, Chávez-Simental JA, Rodríguez-Laguna R (2018) Nursery production of *Pinus engelmannii* Carr. with substrates based on fresh sawdust. *Forests* 9: 678. <https://doi.org/10.3390/f9110678>
- Haller H (2019) Growth substrate and other products from fibrous forest residues replacing peat and creating value from waste. Institution of Ecotechnology and Sustainable Building Engineering. Mid Sweden University. Sweden. 19p.
- Kitayama K, Suzuki S, Hori M, Takyu M, Aiba SI, Majalaplee N, Kikuzawa K (2004) On the relationships between leaf-litter lignin and primary productivity in tropical rain forest. *Ecologies* 140: 335-339. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1590-7>
- Kumar Gautam R, Navaratna D, Muthukumaran S, Singh A, More I, More N (2021) Humic substances: Its toxicology, chemistry, and biology associated with soil, plants and environment. In: *InTech Open*. India. pp. 1-13. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98518>
- Lal-Meena A Karwal M, Dutta D, Mishra RP (2021) Composting: Phases and factors responsible for efficient and improved composting. *Agriculture & Food*. E-newsletter 3: 85-90.
- Landis TD, Tinus RW, McDonald SE Barnett JP (1990) Containers and growing media. Vol. 2. The Container Tree Nursery Manual. *Agric. Handbook*. 674. USDA Forest Service. Washington, DC. USA. 88p.
- Londra P, Paraskevopoulou A, Psychogiou M (2018) Hydrological behavior of peat- and coir-based substrates and their effect on begonia growth. *Water* 10: 722. <https://doi.org/10.3390/w10060722>
- López-Méndez C, Ruelas-Ayala RD, Sañudo-Torres RR, Armenta-López C, Félix Herrán JA (2013) Influencia de diferentes sustratos orgánicos en la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *Tecnociencia Chihuahua* 7: 81-87.
- Mahender A, Swamy BPM, Anandan A, Ali J (2019) Tolerance of Iron-Deficient and - Toxic Soil Conditions in Rice. *Plants* 8(2): 31. <https://doi.org/10.3390/plants8020031>
- Magallón-Chávez O, Hernández-Padilla L, Rodríguez-García G, Talavera-Alemán A, Armenta-Salinas C, Gutiérrez-Vázquez E, Campos-García J, del Río RE, Cerda-García-Rojas CM, Gómez-Hurtado MA

- (2024) Absolute configuration and cytotoxicity of a new vouacapane diterpenoid from *Coullteria velutina*. *Natural Product Communications* 19(5). <https://doi.org/10.1177/1934578X241252505>
- Miguel-Martínez M, Pliego-Marín L, Robles-Pérez C, Aragón-Robles E (2018) Caracterización de las propiedades físicas y químicas de materiales composteados para uso potencial en la producción de chile de agua. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 5: 12-23.
- Meentemeyer V (1978) Macroclimate and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology* 59: 465-472.
- Oliveira MD, Caron BO, Elli EF, Monteiro GC, Schwerz F, Basso CJ, Manfron PA (2017) Production and quality of *Caesalpinia pluviosa* seedlings in different substrates. *Científica* 45: 1-8. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n1p1-8>.
- Orozco-Gutiérrez G, Muñoz-Flores HJ, Rueda-Sánchez A, Sígala-Rodríguez JA, Prieto-Ruiz JA, García-Magaña JJ (2010) Diagnóstico de la calidad de la planta en los viveros forestales en el estado de Colima. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1: 134-145.
- Patra A, Sharma VK, Singh-Jatav H, Dutta A (2021) Iron in the soil-plant-human continuum. In book: *Frontiers in Plant-Soil Interaction (Molecular Insights into Plant Adaptation)*. Publisher: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90943-3.00009-2>
- Prieto RJA, García RJL, Mejía BJM, Huchín AS, Aguilar VJL (2009) Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. *Publicación Especial Núm. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. Durango, Dgo. México. 47p.*
- Prieto RJA, Ríos SJC, Monárrez GJC, García RJL, Mejía BJM, Bustamante GV (2012) Recomendaciones para la producción de planta de mezquite en condiciones de vivero. *Folleto Técnico Núm. 56, INIFAP-Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Valle del Guadiana, Durango, Durango. 32p.*
- Prieto-Ruiz JA, Aldrete A, Hernández DJC, Goche TJR (2016) Causas de mortalidad de las reforestaciones y propuestas de mejora. *In: Las reforestaciones en México: problemática y alternativas de solución. Universidad Juárez del Estado de Durango. 1er ed. Libro técnico. Durango, Durango. pp: 54-65.*
- Prieto-Ruiz JA, Duarte Santos A, Goche Télles JR, González Orozco MM, Pulgarín Gámiz MA (2018) Supervivencia y crecimiento de dos especies forestales, con base en la morfología inicial al plantarse. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9: 151-168.
- R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. Fecha de consulta: 05 de septiembre de 2022.
- Rosa LS, Vieira TA, Santos DS, Silva LCB (2009) Emergência, crescimento e padrão de qualidade de mudas de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke sob diferentes níveis de sombreamento e profundidades de sementeira. *Revista Ciências Agrárias* 52: 87-98.
- Ruiz-Sagaseta A, Patrón-Ibarra JC, Pineda-Pineda J, López-Olguín JF, Juárez-Ramón D (2021) Physical and chemical properties of compost and vermicompost from Zautla, Puebla, Mexico. *Acta Horticulturae* 1305. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1305.40>
- Sánchez-Soto BH, Pacheco-Aispuro E, Reyes-Olivas A, Lugo-García GA, Casillas-Álvarez P, Saucedo-Acosta CP (2016) Ruptura de latencia física en semillas de *Caesalpinia platyloba* S. Watson. *Interciencia* 41: 691-695.
- Silva-Dionisio LF, Cusi Auca E, Almeida Milhomem C, Schwartz G, Miró Agurto JJ, Corvera-Gomringer R (2020) *Bertholletia excelsa*: growth and quality of seedlings produced under different environmental conditions. *Brazilian Journal of Development* 6: 38589-38603. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-414>
- Sotuyo-Vázquez JS, Contreras-Jiménez JL (2021) *Coullteria delgadoana* (Leguminosae, Caesalpinioideae), una especie nueva del Oeste de la depresión del Río Balsas, México. *Acta Botánica Mexicana* 128: e1867. <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1867>

- Trocones-Boggiano AG, Delgado-Fernández LA (2020) Effect of FitoMas-E on seed germination and plant quality of *Chrysophyllum cainito* L. (caimito) in nursery conditions. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 8: 104-121.
- Whetten RW, MacKay JJ, Sederoff RR (1998) Recent advances in understanding lignin biosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 49: 585-609.
- Zanor GA, López-Pérez MA, Martínez-Yañez R, Ramírez-Santoyo LF, Gutiérrez-Vargas S, León-Galván MA (2018) Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de un suelo agrícola mezclado con lombricompostas de dos efluentes de biodigestor. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología* 19: 1-10 <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n4.036>.