



PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE *Pinus patula* SCHIEDE ex SCHLTDL. et CHAM. EN DIFERENTES SUSTRATOS

VEGETATIVE PROPAGATION OF *Pinus patula* SCHIEDE ex SCHLTDL. et CHAM. IN DIFFERENT SUBSTRATES

Nohemí Escamilla-Hernández, Arnulfo Aldrete*, J. Jesús Vargas-Hernández,
Ángel Villegas-Monter y Miguel A. López-López

Colegio de Postgraduados, Postgrado en Ciencias Forestales, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia (aaldrere@colpos.mx)

RESUMEN

Pinus patula Schiede ex Schltdl. et Cham. es una especie endémica de México utilizada en plantaciones forestales comerciales en Sudamérica y Sudáfrica. La propagación masiva de materiales mejorados de esta especie, a través de estacas enraizadas, permite aumentar su productividad y homogeneizar sus productos. Se compararon cinco sustratos a base de aserrín fresco y corteza de pino en diferentes proporciones (1:9, 3:7, 5:5, 7:3 y 9:1 v:v) para evaluar el enraizamiento de estacas de esta especie forestal. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones; la unidad experimental estuvo conformada por 25 estacas. Se analizaron las principales características físicas y químicas de los sustratos tales como porosidad total, porosidad de aireación, retención de humedad, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico al inicio y al final del experimento. Las variables evaluadas fueron la supervivencia, enraizamiento, presencia de callo, número y longitud de raíces primarias y presencia de raíces secundarias a las 20 semanas de establecido el experimento. El sustrato con la mayor proporción de aserrín (9:1) presentó el porcentaje de enraizamiento de las estacas más elevado (77 %), en comparación con el testigo (1:9), donde se obtuvo 42 %. Se observó alta correlación (0.97, 0.97, 0.90) del enraizado con el porcentaje de aserrín, densidad aparente y pH, respectivamente. La mezcla de aserrín y corteza de pino (9:1) presentó características físicas y químicas apropiadas para la formulación de sustratos útiles para propagar *P. patula* mediante el enraizado de estacas.

Palabras clave: *Pinus patula*, aserrín de pino, corteza de pino, enraizado de estacas, propagación, viveros.

SUMMARY

Pinus patula Schiede ex Schltdl. et Cham. is an endemic species of Mexico used in commercial forest plantations in South America and South Africa. Massive propagation of improved materials of this species, through rooted cuttings, allows the increase of productivity and homogenized products. Five substrates based on fresh sawdust and pine bark at different proportions (1: 9, 3: 7, 5: 5, 7: 3 and 9:1 v:v) were compared to assess rooting of this forest species. A randomized complete block experimental design with four replications was used; the experimental unit was made up of 25 rooted cuttings. The main physical and chemical characteristics of the substrates such as total porosity, aeration porosity, moisture retention, bulk density, pH, electrical conductivity and cation exchange capacity were analyzed at the beginning and the end of the experiment. The evaluated variables were survival, rooting, callus presence, number and length of primary roots and

presence of secondary roots 20 weeks after the experiment was established. The substrate with the highest proportion of sawdust (9:1) had the highest percentage of rooting (77 %), compared to the control (1:9), where 42 % were rooted. High correlation (0.97, 0.97, 0.90) of rooting was observed with sawdust percentage, bulk density and pH, respectively. The mixture of sawdust and pine bark (9:1) presented appropriate physical and chemical characteristics for the formulation of substrates useful for propagating *Pinus patula* by rooted cuttings.

Index words: *Pinus patula*, nurseries, pine bark, pine sawdust, propagation, rooted cuttings.

INTRODUCCIÓN

Pinus patula Schiede ex Schltdl. et Cham. es una especie endémica de México (Farjon *et al.*, 1997), importante tanto desde el punto de vista ecológico como comercial; es utilizada en los programas de reforestación debido a su gran abundancia, productividad de madera, captura de CO₂ (Romo *et al.*, 2014) y calidad de la madera (Escobar-Sandoval *et al.*, 2018); presenta características ideales en la industria maderera como fuste recto, capacidad de poda natural y calidad de troza (Velázquez *et al.*, 2004).

En los últimos 20 años se han iniciado programas de mejoramiento genético en México, a través de la selección fenotípica de árboles superiores y el establecimiento de ensayos de progenie (Salaya-Domínguez *et al.*, 2012). Una vez seleccionados los mejores individuos, la idea es propagarlos de manera masiva (Méndez-Neri *et al.*, 2020); una de las técnicas más utilizadas a nivel mundial para este propósito es el enraizado de estacas, que permite capturar y transferir a los rametos el potencial genético del árbol original (Zobel y Talbert, 1984).

En México se realizan esfuerzos para generar protocolos para el enraizamiento de estacas de *Pinus patula*; los mayores retos que se han presentado incluyen la definición del tamaño de estaca, estado de madurez de la

planta madre, tipo de sustrato, crecimiento plagiotrópico y condiciones microambientales (Aparicio-Rentería *et al.*, 2014).

El sustrato y el espacio del contenedor son factores fundamentales para la formación y desarrollo saludable de la raíz; debido a ello, los efectos combinados del entorno, como la cantidad de agua y frecuencia de aplicación del riego, deben ser bien comprendidos al seleccionar el sustrato a utilizar. Fonteno y Bilderback (1993) mencionaron que un sustrato debe ser el medio para: 1) poner disponible el agua 2) suministrar nutrimentos, 3) permitir el intercambio de gases entre la zona radicular y el exterior del sustrato y 4) dar soporte a la planta. De todas las propiedades del sustrato, las características físicas son las más importantes debido a que, una vez establecida la especie, difícilmente pueden manipularse (Abad *et al.*, 2004) y deben permanecer estables durante su ciclo de producción (Wallach, 2008).

En el caso particular de las coníferas, el enraizamiento de estacas requiere, en su etapa inicial, condiciones favorables de humedad, sin llegar a la saturación o anegamiento del sustrato (Regonezi *et al.*, 2010). La turba, vermiculita, perlita y arena son materiales comúnmente utilizados en la propagación vegetativa, ya sea de manera individual o en combinación en varias proporciones (Bielenin, 2003; Hamann *et al.*, 1998; Rasmussen *et al.*, 2009); sin embargo, el costo elevado de estos materiales los hace poco rentables (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016; Fain *et al.*, 2008).

Por lo anterior, han surgido alternativas de sustratos locales que pueden usarse para el enraizamiento de estacas, como corteza de pino, cascarilla de arroz carbonizada y pino triturado (hojas, corteza y ramas). Con el uso de estos materiales se han reportado enraizamientos de 90 a 97 % en especies de la familia Cupressaceae (Stumpf *et al.*, 1999; Witcher *et al.*, 2014) y de 80 a 95 % en el género *Pinus* (Alcantara *et al.*, 2007; Browne *et al.*, 2000; Henrique *et al.*, 2006). Por su parte, Witcher *et al.* (2014) no encontraron diferencias al comparar cuatro sustratos compuestos por corteza, corteza/turba (1:1), pino triturado y turba/pino triturado (1:1) en el enraizamiento de *Leyland cypress* A.B. Jacks. & Dallim. (Cupresaceae). En todos los tratamientos, el enraizamiento fue mayor de 90 %.

El aserrín de pino (*Pinus* sp.) es un material que tiene potencial como componente en la formulación de sustratos; es barato, se encuentra disponible localmente, es uniforme, es liviano y está libre de plagas (Fregoso-Madueño *et al.*, 2017; Maher *et al.*, 2008). Las propiedades físicas del aserrín dependen del tamaño de sus partículas, por lo que se recomienda que un 20 a 40 % sean inferiores

a 0.8 mm de longitud, con una densidad de 0.1 a 0.45 g cm⁻³. La porosidad total es superior a 80 %, la porosidad de retención de agua es de baja a media, pero su capacidad de aireación suele ser adecuada (Maher *et al.*, 2008). Tchoundjeu *et al.* (2004) reportaron 79 % de enraizamiento de *Pausinystalia johimbe* (K.Schum.) Pierre ex Beille (Rubiaceae), árbol africano, en este tipo de sustrato. Si bien la corteza de pino es un medio común para la propagación vegetativa, se requiere investigar sobre otros materiales disponibles localmente que puedan utilizarse para este propósito. El presente trabajo tuvo por objetivo comparar diferentes proporciones de aserrín y corteza de pino en la formulación de sustratos para lograr altas proporciones de enraizamiento de estacas de *P. patula*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio y condiciones de propagación

La investigación se desarrolló en condiciones de invernadero en el Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México (19° 27' 38.25" N y 98° 54' 23.91" O, a 2240 m de altitud). Para la producción de setos, como fuente de estacas, se utilizó un lote de semillas proveniente del huerto semillero clonal Reserva Forestal Multifuncional de Aquixtla, Puebla, de primera generación, que incluyó los 11 mejores clones con base en los resultados de un ensayo de progenies (Salaya-Domínguez *et al.*, 2012). La siembra se realizó en junio de 2017, en contenedores (tubetes) de 220 cm³. Las plantas crecieron en condiciones de invernadero hasta los siete meses, la altura promedio fue de 18 cm; a esta edad se llevó a cabo la primera poda del tallo principal, en la que se eliminó la parte apical (3 cm) para promover la generación de nuevos brotes.

A los 15 días después de la poda las plantas se trasplantaron en macetas de 4 L, que contenían como sustrato una mezcla de corteza de pino compostada, vermiculita, turba y perlita (60:15:15:10, v:v:v:v) con 7 g L⁻¹ de fertilizante de liberación controlada Osmocote® (15-9-12 de N-P-K) de ocho a nueve meses de liberación, y se mantuvieron en condiciones de malla-sombra de 50 %. A los tres meses después de la poda se cosecharon los brotes nuevos con longitud de 7 a 9 cm y diámetro basal de 2.5 a 3 mm para establecer el experimento.

A los brotes se les eliminaron las acículas en los primeros 3 cm desde la base y se desinfectaron con Captan (N-triclorometiltio-4-ciclohexeno-1,2-dicarboximida) en dosis de 1.5 g L⁻¹ durante 15 min. Las estacas se trasplantaron en tubetes colocados en rejillas con 25 cavidades individuales de 220 cm³, a 3 cm de profundidad en el sustrato y se asperjaron con solución de fungicida (tiabendazol 1.5 g L⁻¹) e insecticida (Imidacloprid 1.5 g L⁻¹).

Para mantener la humedad relativa cercana a saturación cada rejilla se colocó dentro de una bolsa de plástico de 90 cm de ancho por 120 cm de alto.

Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron cinco mezclas de sustratos con dos componentes (aserrín fresco de pino y corteza compostada de pino) en diferentes proporciones. Las proporciones de aserrín y corteza fueron: 1:9, 3:7, 5:5, 7:3 y 9:1. La corteza se cernió con una criba de 0.5 cm. Los sustratos se desinfectaron con el fungicida Tecto [2-(4-Tiazolil)-1H-benzimidazol] en dosis de 1.5 g L⁻¹ de agua; para ello, se llenaron los tubetes con el sustrato correspondiente a cada tratamiento, se regó a saturación, se dejó escurrir el exceso de agua y se aplicó el fungicida mediante una mochila aspersora. Las estacas se mantuvieron a una temperatura promedio entre el día y la noche de 20.8 y 22.5 °C, con humedad relativa mayor a 90 %. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y la unidad experimental estuvo integrada por 25 estacas.

Caracterización física y química de los sustratos

Los análisis se llevaron a cabo al inicio y al final del experimento en el laboratorio de Física de Suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, mediante tres repeticiones (muestras) de cada sustrato. Las propiedades físicas analizadas fueron porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA), porosidad de retención de humedad (PRH) y densidad aparente; las propiedades químicas fueron pH, conductividad eléctrica (CE) y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Las características físicas de PT (79 a 91 %) se encuentran por arriba del intervalo para producción de planta en tubetes, mientras que la PA (16 a 24 %) se encuentra dentro de los límites recomendados (Mathers *et al.*, 2007). Además, la PRH presentó valores más altos (55 a 74 %) y la DA en los sustratos S₅ al inicio y S₃, S₄ y S₅ al final valores más bajos (0.14 a 0.18 g cm⁻³) del valor referido por Mathers *et al.* (2007) (Cuadro 1). Con respecto a las propiedades químicas, la CE presentó valores aceptables (0.1 a 0.4 dS m⁻¹), pero el pH fue más ácido (3.8 a 4.6) y la CIC más elevada (20 a 31.7 cmol kg⁻¹) que los valores sugeridos por Mathers *et al.* (2007) (Cuadro 2).

Variables evaluadas

A las 20 semanas de establecido el experimento se extrajeron las estacas del sustrato y se evaluaron las características de supervivencia, enraizamiento, presencia de callo, número y longitud de raíces primarias y presencia

de raíces secundarias. Se consideraron estacas vivas aquellas que no presentaron tejido necrosado en ninguna parte. Las estacas con al menos una raíz de 1 mm de longitud se consideraron enraizadas. La presencia de callo se identificó como el abultamiento en la base del tallo, resultado de la división celular (Hartmann *et al.*, 2014; Rasmussen *et al.*, 2009); las raíces primarias son las que se originaron de la base o parte lateral del tallo y las secundarias las que se formaron a partir de las raíces primarias, las cuales presentaron longitud mínima de 0.5 a 1 cm. Las raíces primarias se midieron con regla con aproximación a 1 mm. A partir de las características evaluadas en cada estaca se obtuvo para cada unidad experimental el porcentaje de estacas vivas, con callo y enraizadas. Considerando únicamente a las estacas enraizadas, se obtuvo el número y longitud promedio de raíces primarias y el porcentaje de estacas con presencia de raíces secundarias.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza y comparación de medias de Tukey (P ≤ 0.05) mediante el procedimiento Mixed del programa SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2011). El modelo utilizado en el análisis de varianza fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + B_i + T_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde: Y_{ij} es el valor observado de la variable en la i-ésima unidad experimental del j-ésimo tratamiento, μ es la media general, B_i es el efecto del i-ésimo bloque, T_j es el efecto del j-ésimo tratamiento y ε_{ij} es el error experimental. Todas las variables respuesta, excepto número y longitud de raíz, se transformaron con la función arco seno antes del análisis de varianza y posteriormente los valores promedio fueron re-transformados a su valor original.

Se correlacionaron las propiedades físicas y químicas del sustrato con las variables respuesta de las estacas mediante los coeficientes de correlación de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los análisis de varianza, no se presentaron diferencias en la supervivencia (P = 0.2890), número de raíces primarias (P = 0.3929), longitud de raíz (0.1107) y presencia de raíces secundarias (P = 0.6528); sin embargo, sí hubo diferencias significativas en enraizamiento (P = 0.0031) y presencia de callo (P = 0.0005) (Figura 1).

La supervivencia de las estacas fue mayor de 90 % en todos los sustratos (Figura 1A). Con respecto al enraizamiento, existió una correlación elevada (0.97) y directamente proporcional con el contenido de aserrín en

Cuadro 1. Propiedades físicas de los sustratos utilizados para el enraizamiento de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

Sustratos (aserrín:corteza)	PT		PA (%)		PRH		DA (g cm ⁻³)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
S ₁ (1:9)	79	85	21	18	58	68	0.24	0.22
S ₂ (3:7)	82	85	24	19	58	67	0.22	0.20
S ₃ (5:5)	79	91	24	20	55	71	0.20	0.18
S ₄ (7:3)	83	89	19	18	64	71	0.19	0.16
S ₅ (9:1)	86	90	16	17	70	74	0.17	0.14
Referencia [†]	60-80		15-35		25-55		0.19-0.70	

PT: porosidad total, PA: porosidad de aireación, PRH: porosidad de retención de humedad, DA: densidad aparente. [†]Valor de referencia (Mathers et al., 2007).

Cuadro 2. Propiedades químicas de los sustratos utilizados para el enraizamiento de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

Sustratos (aserrín:corteza)	pH		CE (dS m ⁻¹)		CIC (cmol kg ⁻¹)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
S ₁ (1:9)	3.8	4.1	0.4	0.3	35	27.8
S ₂ (3:7)	3.8	4.5	0.3	0.2	29	31.7
S ₃ (5:5)	3.8	4.2	0.2	0.2	29	30.1
S ₄ (7:3)	4.2	4.2	0.2	0.1	27	25.9
S ₅ (9:1)	4.4	4.6	0.3	0.1	19	20.0
Referencia [†]	5-6		< 1.0		6-15	

CE: conductividad eléctrica, CIC: capacidad de intercambio catiónico. [†]Valor de referencia (Mathers et al., 2007).

el sustrato (Cuadro 3). Al aumentar la proporción de aserrín en el sustrato de 10 a 90 % el enraizamiento aumentó de 42 a 77 % (Figura 1B). Este comportamiento también lo reportaron Tchoundjeu et al. (2004), quienes observaron incremento en el porcentaje de enraizamiento de *Pausinystalia johimbe* de 65 a 79 % conforme incrementó el porcentaje de aserrín.

El enraizamiento observado en el presente estudio se encuentra por debajo de lo reportado por Browne et al. (2000) y Henrique et al. (2006) para *Pinus banksiana* Lamb. (87 %) y *P. caribaea* Morelet (95 %), en sustratos orgánicos de turba de musgo y cascarilla de arroz carbonizada; sin embargo, éste se podría incrementar al adicionar hormonas de enraizamiento, como ácido naftalenacético e indolbutírico, según lo reportan dichos autores.

La presencia de callo obedece a condiciones de aire en el sustrato durante la primera etapa de formación de raíces (King et al., 2011). Se observa correlación elevada (0.92) de la porosidad de aireación con la formación de callo (Cuadro 3); lo anterior puede explicarse por el hecho de que la corteza presenta partículas con tamaños superiores al aserrín, lo que contribuye a incrementar el espacio poroso

y, por consecuencia, el desarrollo de callo (King et al., 2011; Mathers et al., 2007) (Figura 1C).

Con respecto al número y longitud de raíces primarias y presencia de raíces secundarias, Goldfarb et al. (1998) mencionaron que, adicional al enraizamiento de las estacas, la calidad del sistema radical juega un papel importante para la supervivencia en campo. Diferentes autores reportan, para especies de pino, de 1.4 a 2.0 raíces primarias (Rowe et al., 2002), 3.3 cm de longitud de raíz (Majada et al., 2011) y de 19.4 a 25.8 % de plantas con raíces secundarias (Rivera-Rodríguez et al., 2016) al enraizar estacas en sustratos convencionales (perlita, vermiculita y turba). En el presente estudio se encontraron valores promedio iguales o mayores que los reportados anteriormente, con 1.7 a 2.1 raíces primarias por estaca, longitud de 5.3 a 6.7 cm y más de 60 % de las estacas enraizadas presentaron raíces secundarias (Cuadro 4).

Las características físicas del sustrato influyen en el proceso de enraizamiento (Ragonezi et al., 2010). Se observó correlación positiva entre el enraizamiento (de 42 a 77 %) y la porosidad de retención de humedad (de 58 a 70 %) y de forma negativa con la porosidad de aireación

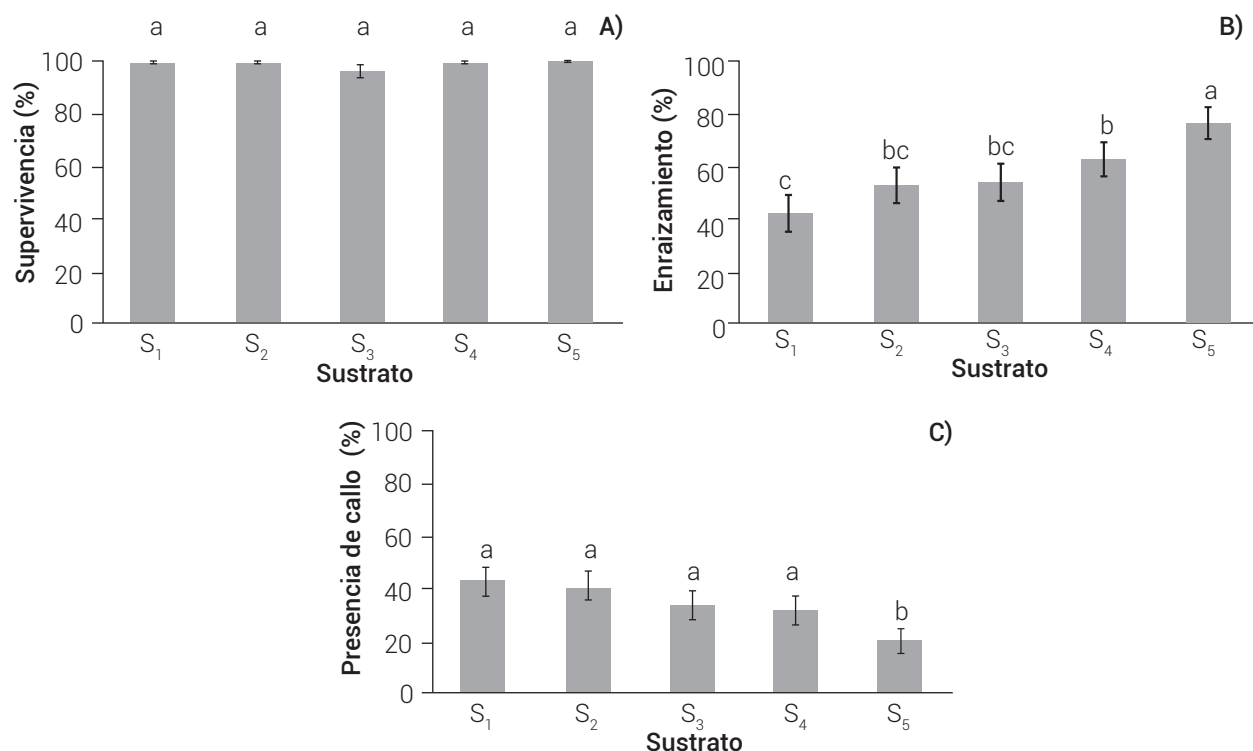


Figura 1. Efecto del sustrato sobre: A) supervivencia, B) enraizamiento y C) presencia de callo. S₁ = 1:9, S₂ = 3:7, S₃ = 5:5, S₄ = 7:3 y S₅ = 9:1 (proporciones aserrín y corteza v:v).

Cuadro 3. Coeficiente de correlación de las propiedades físicas y químicas del sustrato con el enraizamiento y presencia de callo en las estacas (n = 5).

	Aserrín (%)	PT (%)	PA (%)	PRH (%)	DA (g cm ⁻³)	pH	CE (dS m ⁻¹)	CIC (cmol kg ⁻¹)
Enraizamiento (%)	0.97 ** (P = 0.004)	0.89 * (P = 0.040)	-0.72 ns (P = 0.174)	0.85 ns (P = 0.070)	0.97 ** (P = 0.006)	0.90 * (P = 0.034)	-0.43 ns (P = 0.469)	-0.99 ** (P = 0.002)
Callo (%)	-0.81 ns (P = 0.100)	-0.83 ns (P = 0.083)	0.92 * (P = 0.026)	-0.93 * (P = 0.021)	0.78 ns (P = 0.120)	-0.92 * (P = 0.026)	-0.02 ns (P = 0.973)	0.86 ns (P = 0.065)

PT: porosidad total, PA: porosidad de aireación, PRH: porosidad de retención de humedad, DA: densidad aparente, CE: conductividad eléctrica, CIC: capacidad de intercambio catiónico, ns: sin diferencias significativas ($P > 0.05$), * y **: diferencias significativas con ($P \leq 0.05$) y ($P \leq 0.01$), respectivamente.

(de 21 a 16 %). Lo anterior se explica por el hecho de que las estacas requieren de suministro de agua para evitar deshidratación, lo que depende del agua en el sustrato (Rein *et al.*, 1991), sin llegar a condiciones anegadas (Ragonezi *et al.*, 2010) debido a que el oxígeno es importante para el proceso de formación de la raíz (Erstad y Gisleørd, 1994), de ahí que el tratamiento S₅ (9:1 aserrín:corteza) con mayor humedad (70 %) y menor porosidad de aireación (16 %) presentó mayor enraizamiento (Cuadro 1).

Por otro lado, se observa que las propiedades físicas y químicas de los sustratos se modificaron de manera

favorable al finalizar el experimento (Cuadros 1 y 2), principalmente en los tratamientos que presentaron menor porcentaje de enraizamiento por las razones antes mencionadas, lo que sugiere que se pueden reutilizar los sustratos con contenidos de corteza altos (S₁ y S₂), ya que podrían generar condiciones adecuadas para el siguiente ciclo de enraizamiento de estacas.

CONCLUSIONES

La mezcla 9:1 de aserrín y corteza de pino cuenta con características físicas y químicas apropiadas que

Cuadro 4. Medias (\pm error estándar), por tipo de sustrato, de las características de las raíces generadas.

Sustratos (aserrín:corteza)	Raíces primarias		Estacas con raíces secundarias (%)
	Número	Longitud (cm)	
S ₁ (1:9)	1.7 \pm 0.17 a	5.9 \pm 0.38 a	69.4 \pm 6.2 a
S ₂ (3:7)	1.7 \pm 0.17 a	5.8 \pm 0.38 a	71.0 \pm 6.1 a
S ₃ (5:5)	2.1 \pm 0.19 a	5.3 \pm 0.37 a	72.8 \pm 6.0 a
S ₄ (7:3)	1.9 \pm 0.18 a	5.4 \pm 0.37 a	62.9 \pm 6.5 a
S ₅ (9:1)	2.1 \pm 0.19 a	6.7 \pm 0.41 a	76.1 \pm 5.7 a

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

permitieron un porcentaje elevado de enraizamiento de estacas de *Pinus patula*, mientras que la mezcla con proporción mayor de corteza de pino (90 %) presentó los valores más bajos de enraizamiento de estacas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad B. M., P. Noguera y B. C. Carrión (2004) Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: Tratado de Cultivo sin Suelo. Segunda edición. M. Urrestarazu G. (coord.). Mundi-Prensa. Madrid, España. pp:113-158, <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4853.2645>
- 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* 50:107-118.
- Alcantara G. B., L. L. F. Ribas, A. R. Higa, K. C. Z. Ribas e H. S. Koehler (2007) Efeito da idade da muda e da estação do ano no enraizamento de miniestacas de *Pinus taeda* L. *Revista Árvore* 31:399-404, <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000300005>
- Aparicio-Rentería A., S. F. Juárez-Cerrillo y L. R. Sánchez-Velásquez (2014) Propagación por enraizamiento de estacas y conservación de árboles plus extintos de *Pinus patula* procedentes del norte de Veracruz, México. *Madera y Bosques* 20:85-96, <https://doi.org/10.21829/myb.2014.201178>
- Bielenin M. (2003) Rooting and gas exchange of conifer cuttings treated with indolebutyric acid. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 11:99-105.
- Browne R. D., C. G. Davidson and S. M. Enns (2000) Improvements in asexual multiplication procedures for jack pine (*Pinus banksiana*). *New Forests* 19:259-278, <https://doi.org/10.1023/A:1006797705238>
- Erstad J. L. F. and H. R. Gislerød (1994) Water uptake of cuttings and stem pieces as affected by different anaerobic conditions in the rooting medium. *Scientia Horticulturae* 58:151-160, [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)90135-X](https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90135-X)
- Escobar-Sandoval M. C., J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton, S. Espinosa-Zaragoza y A. Borja-de la Rosa (2018) Parámetros genéticos de calidad de madera, crecimiento y ramificación en *Pinus patula*. *Madera y Bosques* 24:e2421595, <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421595>
- Fain G. B., C. H. Gilliam, J. L. Sibley, C. R. Boyer and A. L. Witcher (2008) Whole tree substrate and fertilizer rate in production of greenhouse-grown petunia (*Petunia x hybrida* Vilm.) and marigold (*Tagetes patula* L.). *HortScience* 43:700-705, <https://doi.org/10.21273/hortsci.43.3.700>
- Farjon A., J. A. Pérez de la Rosa and B. T. Styles (1997) A Field Guide to the Pines of Mexico and Central America. Royal Botanic Gardens Kew. Oxford, England. 147 p.
- Fonteno W. C. and T. E. Bilderback (1993) Impact of hydrogel on physical properties of coarse-structured horticultural substrates. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118:217-222, <https://doi.org/10.21273/jashs.118.2.217>
- Fregoso-Madueño J. N., J. R. Goche-Télles, J. G. Rutiaga-Quinones, R. F. González-Laredo, M. Bocanegra-Salazar and J. A. Chávez-Simental (2017) Alternative uses of sawmill industry waste. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 23:243-260, <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.06.040>
- Goldfarb B., S. E. Surles, M. Thetford and F. A. Blazich (1998) Effects of root morphology on nursery and first-year field growth of rooted cuttings of loblolly pine. *Southern Journal of Applied Forestry* 22:231-234, <https://doi.org/10.1093/sjaf/22.4.231>
- Hamann A. (1998) Adventitious root formation in cuttings of loblolly pine (*Pinus taeda* L.): developmental sequence and effects of maturation. *Trees* 12:175-180, <https://doi.org/10.1007/PL00009707>
- Hartmann H. T., D. E. Kester, F. T. Davies and R. L. Geneve (2014) Plant Propagation: Principles and Practices. Eighth edition. Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey, USA. 922 p.
- Henrique A., E. N. Campinhos, E. O. Ono and S. Z. de Pinho (2006) Effect of plant growth regulators in the rooting of *Pinus* cuttings. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 49:189-196, <https://doi.org/10.1590/S1516-89132006000300002>
- King A. R., M. A. Arnold, D. F. Welsh and W. T. Watson (2011) Substrates, wounding, and growth regulator concentrations alter adventitious rooting of baldcypress cuttings. *HortScience* 46:1387-1393, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.10.1387>
- Majada J., C. Martínez-Alonso, I. Feito, A. Kidelman, I. Aranda and R. Alía (2011) Mini-cuttings: an effective technique for the propagation of *Pinus pinaster* Ait. *New Forests* 41:399-412, <https://doi.org/10.1007/s11056-010-9232-x>
- Maher M., M. Prasad and M. Raviv (2008) Organic soilless media components. In: Soilless Culture: Theory and Practice. M. Raviv and J. H. Lieth (eds.). Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. pp:459-504, <https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50013-7>
- Mathers H. M., S. B. Lowe, C. Scagel, D. K. Struve and L. T. Case (2007) Abiotic factors influencing root growth of woody nursery plants in containers. *HortTechnology* 17:151-162, <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.17.2.151>
- Méndez-Neri M., C. Ramírez-Herrera, J. J. Vargas-Hernández, T. Martínez-Trinidad, J. López-Upton y P. A. López (2020) Diversidad genética en dos huertos semilleros de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. *Revista Fitotecnia Mexicana* 43:113-119, <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.113-119>
- Rasmussen A., T. E. Smith and M. A. Hunt (2009) Cellular stages of root formation, root system quality and survival of *Pinus elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* cuttings in different temperature environments. *New Forests* 38:285-294, <https://doi.org/10.1007/s11056-009-9147-6>
- Ragonezi C., K. Klimasewska, M. R. Castro, M. Lima, P. de Oliveira and M. A. Zavattieri (2010) Adventitious rooting of conifers: influence of physical and chemical factors. *Trees* 24:975-992, <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0488-8>
- Rein W. H., R. D. Wright and J. R. Seiler (1991) Propagation medium moisture level influences adventitious rooting of woody stem cuttings. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116:632-636, <https://doi.org/10.21273/JASHS.116.4.632>
- Rivera-Rodríguez M. O., J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton, A. Villegas-Monter y M. Jiménez-Casas (2016) Enraizamiento de estacas de

- Pinus patula*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39:385-392.
- Romo G. D., H. Navarro G., H. M. De los Santos P., O. Hernández R. y J. López U. (2014) Crecimiento maderable y biomasa aérea en plantaciones jóvenes de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en Zacualpan, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5:78-91, <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i23.343>
- Rowe D. B., F. A. Blazich, B. Goldfarb and F. C. Wise (2002) Nitrogen nutrition of hedged stock plants of loblolly pine. II. Influence of carbohydrate and nitrogen status on adventitious rooting of stem cuttings. *New Forests* 24:53-65, <https://doi.org/10.1023/A:1020555013964>
- Salaya-Domínguez J. M., J. López-Upton y J. J. Vargas-Hernández (2012) Variación genética y ambiental en dos ensayos de progenies de *Pinus patula*. *Agrociencia* 46:519-534.
- SAS Institute (2011) SAS/STAT® 9.3 User's Guide. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA. 8621 p.
- Stumpf E. R. T., P. R. Grolli e J. A. G. da Silva (1999) Enraizamento de estacas de *Chamaecyparis lawsoniana* Parl. em cinco substratos com uso de ácido indolbutírico. *Ciência Rural* 29:207-211, <https://doi.org/10.1590/S0103-84781999000200004>
- Tchoundjeu Z., M. L. Ngo Mpeck, E. Assah and A. Amougou (2004) The role of vegetative propagation in the domestication of *Pausinystalia johimbe* (K. Schum), a highly threatened medicinal species of West and Central Africa. *Forest Ecology and Management* 188:175-183, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.010>
- Velázquez M. A., G. Ángeles P., T. Llanderal O., A. R. Román J. y V. Reyes H. (2004) Monografía de *Pinus patula*. Comisión Nacional Forestal, Colegio de Postgraduados. Zapopan, Jalisco, México. 124 p.
- Wallash R. (2008) Physical characteristics of soilless media. In: *Soilless Culture: Theory and Practice*. M. Raviv and J. H. Lieth (eds.). Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. pp:41-116, <https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50005-8>
- Witcher A. L., E. K. Blythe, G. B. Fain and K. J. Curry (2014) Stem cutting propagation in whole pine tree substrates. *HortTechnology* 24:30-37, <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.24.1.30>
- Zobel B. and J. Talbert (1984) *Applied Forest Tree Improvement*. Wiley. New York, USA. 505 p.

