



Propagación por enraizamiento de estacas y conservación de árboles plus extintos de *Pinus patula* procedentes del norte de Veracruz, México

Propagation by rooting of cuttings and conservation of extinct plus trees of *Pinus patula* from the north of Veracruz, Mexico

Armando Aparicio-Rentería¹, Sergio Francisco Juárez-Cerrillo² y Lázaro Rafael Sánchez-Velásquez³

¹ Instituto de Investigaciones Forestales. Universidad Veracruzana. Veracruz, México. aaparicio@uv.mx

² Facultad de Estadística e Informática. Universidad Veracruzana. sejuarez@uv.mx

³ Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada (Inbioteca). CoSustentaUV. Universidad Veracruzana. lasanchez@uv.mx

RESUMEN

Como consecuencia del rescate de un lote de semillas colectado en marzo de 1995, se evaluó el porcentaje de germinación, el crecimiento de las plántulas de la progenie a través de un modelo de curvas de crecimiento, así como la capacidad de rebrote y enraizamiento de 224 setos de 28 árboles plus extintos de tres poblaciones de *Pinus patula*, cultivados en bolsa de plástico (grande y pequeña) bajo un diseño de cuatro bloques completamente al azar. Los porcentajes de germinación fueron significativamente diferentes entre las tres poblaciones, resultando superior para los individuos procedentes de Canalejas Otates. Durante el periodo de crecimiento de la progenie se observó un patrón definido por dos fases de incremento estacional, una en otoño-invierno y otra en primavera-verano. En general, la capacidad de rebrote de los setos podados a 15 cm de altura fue de 5 927 brotes en total, de éstos, 3 426 brotes fueron producidos por los setos cultivados en bolsa grande. Finalmente, el porcentaje de enraizamiento no fue estadísticamente diferente entre las tres poblaciones, sin embargo, las estacas procedentes de los setos cultivados en bolsa chica mostraron un efecto significativo, al 95% de confianza, con respecto a los de bolsa grande. Este trabajo es el primer resultado publicado de enraizamiento de estacas con *Pinus patula* hecho en México.

PALABRAS CLAVE: Capacidad de rebrote, capacidad de enraizamiento, crecimiento de progenie, germinación, maduración ontogenética, setos.

ABSTRACT

As a result of the use of a seed lot collected in March 1995, the germination percentage, the seedling growth of progeny through a growth curves model, as well as production sprouts and rooting cuttings ability were evaluated under a design of four blocks completely randomized, derived from 224 hedges of 28 extinct plus-trees from three populations of *Pinus patula*, grown in plastic bags (large and small). The germination percentage results were significantly different among the three populations, resulting higher in individuals from the Canalejas Otates area. A pattern defined by two phases of seasonal increase, one in autumn-winter and other in spring-summer was observed during the period of initial progeny growth. Variable responses were obtained in the production ability of sprouts due to origin population, size of bag and the experimental design used in the hedges growing. Finally, the rooting percentage was not statistically different when compared between the three populations, however, the cuttings derived from hedges grown in small bags showed a significant effect at 95% confidence with respect to those grown in large bags. This work is the first report of rooting *Pinus patula* cuttings published in Mexico.

KEY WORDS: Resprouting ability, rooting ability, progeny growth, germination, ontogenetic maturation, hedges.

INTRODUCCIÓN

La propagación vegetativa (PV) es la producción de plantas con características genéticas idénticas a la planta madre, ésta se logra principalmente a través de técnicas de injertado, enraizamiento de estacas y cultivo *in vitro*. La PV se aplica en proyectos productivos o para la conservación genética de especies, poblaciones e individuos (Zobel y Talbert, 1988; Celestino *et al.*, 2005). Cuando se tiene una colección de pocos genotipos con características deseables, el uso de estacas es una opción para multiplicar organismos vegetales para la producción forestal (Goldfarb, 2007). El uso de estacas hace más efectivo el rendimiento de las plantaciones forestales por las ganancias logradas en términos de volumen, calidad de madera, recitividad de fuste y resistencia a enfermedades (Radke y Radke, 2004; CAMCORE, 2008). Actualmente, la multiplicación de material genéticamente mejorado se logra a través de la producción de estacas enraizadas (Mitchell *et al.*, 2004a). En México, existe el interés por desarrollar programas de mejoramiento con especies nativas a través de la selección de individuos con las mejores características fenotípicas y genéticas. La finalidad es conservar los individuos mejor adaptados y con el mayor rendimiento productivo para trabajos de reforestación y plantaciones comerciales (CAMCORE, 2008).

Muchos programas de mejoramiento genético forestal utilizan la propagación vegetativa de genotipos superiores para su conservación (Sidhu, 1992; Celestino *et al.*, 2005). En países con mayor desarrollo forestal que México, existe una tendencia por el uso de estacas para la multiplicación, por ejemplo, se usan con fines de reforestación y plantaciones comerciales especies como *Cryptomeria japonica*, *Cupressus sempervirens*, *Cunninghamia lanceolata*, *Pseudotsuga menziesii*, *Picea abies*, *Pinus taeda*, *Pinus radiata*, *Pinus oocarpa*, *Pinus maximinoi*, *Pinus tecunumanii* y *Pinus patula* (Shelbourne y Thulin, 1974; Ritchie, 1991; Osorio, 1993; Hamann, 1995; Ming-He *et al.*, 1999; Capuana *et al.*, 2000; Lindgren, 2001). El uso de estacas permite capturar y transferir a los clones todo el potencial genético del árbol madre (Zobel y Talbert, 1988). Sin embargo, no se realiza extensivamente

debido a la capacidad morfogénica de cada especie y al cambio de fase que hace difícil la propagación de árboles adultos (Celestino *et al.*, 2005).

Las especies de pino, en particular, no son fáciles de propagar por estacas, debido a: 1) diferencias genéticas en la capacidad de enraizamiento, 2) estado de madurez de la planta madre, 3) enraizamiento variable entre estacas de una misma planta, 4) crecimiento plagiotrópico, 5) época de colecta de las estacas, 6) tamaño de estacas 7) condiciones ambientales *in situ* y 8) tratamientos aplicados al cultivo y enraizado de estacas (Wise y Caldwell, 1994; Land Jr. y Cunningham, 1994; Marín, 1998; Aparicio-Rentería, 2007). Resalta entonces una limitante, la edad de la planta madre, donde los tejidos fisiológicamente maduros tienen una baja capacidad de enraizamiento contraria al material juvenil (Girouard, 1973; Zobel y Talbert, 1988). Es por esta razón que el establecimiento de plantaciones comerciales se basa en el uso de material juvenil (Mitchell *et al.*, 2004a). Programas piloto de enraizado de estacas con *Pinus patula* se realizan en Colombia y Sudáfrica (Dvorak, 2002).

La conservación de la diversidad genética contenida en las poblaciones de pinos mexicanos (Sáenz-Romero *et al.*, 2003) es necesaria por tres razones: 1) *Pinus* es el género más importante, ecológica y económicamente, de las coníferas, 2) México es el centro de diversidad de este género y 3) algunas especies están en riesgo de extinción por el cambio de uso del suelo.

Por su rápido crecimiento y calidad de madera, *Pinus patula* Schiede ex Schlecht. & Cham. var. *patula* (Dvorak *et al.*, 2000), es una de las especies más utilizadas para la reforestación en México. En el extranjero existen cerca de un millón de hectáreas plantadas con *P. patula* en más de 20 países (FAO, 1967; Birks y Barnes, 1991; Wright, 1994), destinadas a la producción de madera, pulpa y papel (Wormald, 1975; Kanzler, 2002). El Programa Internacional para la Conservación y Domesticación de Árboles (CAMCORE), ha establecido 74 ensayos de procedencia a nivel mundial con *Pinus patula*, para identificar el crecimiento y sobrevivencia de la especie en diferentes ambientes (Dvorak *et al.*, 1995;



Leibing *et al.*, 2009). Los resultados obtenidos en Brasil, Colombia y Sudáfrica demostraron que las procedencias de los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz, son más productivas que las de otras procedencias localizadas más al norte o sur de México, cuando éstas crecen fuera de su distribución natural (Dvorak, 1997).

En 1995, personal del Instituto de Investigaciones Forestales de la Universidad Veracruzana realizó la selección de 70 árboles de la mejor calidad fenotípica (árboles plus) para la colecta de semilla en la sierra de Huayacocotla, Veracruz. Este proceso de selección, según CAMCORE (2007), permite capturar la mayor diversidad genética contenida en las poblaciones, para conservar la adaptabilidad de la especie a diferentes condiciones ambientales. Parte de esta semilla fue distribuida por CAMCORE para ensayos genéticos a 11 organizaciones de Brasil, Chile, Colombia, Sudáfrica y Zimbabwe (CAMCORE, 1995; Kanzler, 2002). Los resultados obtenidos indicaron que los árboles procedentes de la región de Huayacocotla fueron superiores en crecimiento, en la mayoría de los sitios de plantación.

De acuerdo con Camcore (1995), la sierra de Huayacocotla tiene los rodales más puros y no degradados de *P. patula* que cualquier otra zona en México. Sin embargo, por los programas de aprovechamiento realizados en la zona y por las excelentes características de crecimiento y rectitud del fuste de aquellos árboles seleccionados, estos han sido talados en su totalidad. Por consiguiente, y en la actualidad, sólo se cuenta con la semilla de estos árboles extintos, lo que las convierte en único y excelente material para la propagación y conservación de las características genéticas de la especie, contenidas en aquellas tres poblaciones de la región de Huayacocotla, Veracruz.

OBJETIVOS

1) Evaluar la germinación de semillas de árboles plus extintos de *P. patula* de tres poblaciones del norte de Veracruz (Potrero Monroy, Canalejas Otates y La Selva), después de 13 años de ser colectadas, 2) estimar el crecimiento, en altura y diámetro, de plántulas procedentes

de tres poblaciones a través de un modelo de curvas de crecimiento y 3) comparar la respuesta, en cuanto a la capacidad de rebrote y enraizamiento de árboles plus extintos de *Pinus patula*, entre las tres poblaciones y tamaño de la bolsa (grande y pequeña)

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de árboles para la colecta de semilla

La selección de los árboles plus se basó en el criterio empleado por CAMCORE con resistencia a enfermedades, buena forma y crecimiento de carácter dominante o codominante (Balocchi, 1990; CAMCORE, 2007). Se mantuvo una distancia superior a 100 metros entre cada árbol para evitar relaciones de parentesco. En la tabla 1 se presentan los datos de altura y diámetro de los árboles, las calidades de la rectitud del fuste y la condición de la copa, categorizadas subjetivamente en una escala de 1 a 3, siendo 3 la que señala los mejores árboles fenotípicamente de cada población. Cada árbol fue identificado para conservar el origen de procedencia de la progenie (Dvorak y Donahue, 1993; CAMCORE, 2008).

Porcentaje de germinación

Una vez que dio inicio la germinación de las semillas se registró la cantidad de plántulas cada 2 días, durante un mes, para obtener el porcentaje de germinación con base en la cantidad de semilla sembrada por árbol (Tabla 2).

Producción de plántula

Se utilizó semilla de 30 árboles plus de polinización abierta colectada en marzo de 1995, procedentes de 3 poblaciones de la Sierra de Huayacocotla, Veracruz: Potrero Monroy, Canalejas Otates y La Selva (10 árboles de cada población). En julio de 2008 se sembró la semilla en contenedores de plástico negro de 300 ml de capacidad (16 cm de altura y 5,3 cm de diámetro), con un sustrato de uso común compuesto por suelo de bosque y arena de mina en una proporción de 1:1.

TABLA 1. Características fenotípicas de los árboles plus seleccionados en las tres poblaciones de *P. patula* del norte de Veracruz, México.

<i>Población</i>	<i>Árbol número</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Fuste calidad</i>	<i>Copa calidad</i>	<i>Altitud (msnm)</i>
P. MONROY	1	21,0	39,0	3	3	2450
	2	26,0	51,0	3	3	2500
	3	27,0	41,0	3	3	2400
	4	31,0	61,0	3	2	2540
	5	29,0	46,5	3	2	2460
	6	20,0	42,0	3	2	2720
	7	20,0	47,0	3	3	2750
	8	17,0	51,0	3	2	2730
	9	33,0	55,0	3	3	2310
	10	33,0	60,5	3	3	2315
C. OTATES	11	28,0	41,0	3	3	2780
	12	18,0	35,0	3	3	2760
	13	28,0	43,0	3	3	2420
	14	26,0	49,0	3	3	2400
	15	25,0	49,0	3	3	2360
	16	31,0	51,0	3	3	2360
	17	24,0	43,0	3	3	2320
	18	30,0	63,0	3	3	2400
	19	28,0	53,0	3	3	2420
	20	20,0	45,0	3	3	2600
LA SELVA	21	22,0	43,0	3	2	1850
	22	24,0	31,0	3	3	1850
	23	26,0	40,8	3	3	1870
	24	28,0	48,0	3	2	1830
	25	28,0	43,3	3	3	1860
	26	21,0	37,2	3	3	1880
	27	23,0	45,5	3	2	1830
	28	30,0	51,0	3	3	1830
	29	26,0	50,4	3	2	1850
	30	21,0	28,0	3	2	1980



TABLA 2. Cantidad de semilla sembrada por árbol de las tres poblaciones de *P. patula*.

Potrero Monroy		Canalejas Otates		La Selva	
Árbol	Semilla	Árbol	Semilla	Árbol	Semilla
1	98	11	100	21	100
2	100	12	100	22	39
3	100	13	96	23	100
4	100	14	100	24	100
5	100	15	100	25	44
6	100	16	42	26	100
7	100	17	95	27	100
8	100	18	100	28	100
9	100	19	100	29	100
10	100	20	100	30	100

Crecimiento inicial de progenie

El crecimiento inicial fue medido cada 2 meses en una muestra de 12 plántulas por árbol, de un total de 28 árboles: 9 árboles de La Selva, 9 de Canalejas Otates y 10 de Potrero Monroy. Los datos de altura y diámetro se registraron en 5 ocasiones a partir de los 3 meses de edad de las plántulas: en octubre, diciembre, febrero, abril y junio de 2008 y 2009, respectivamente. La altura se midió desde la base del tallo hasta la yema terminal, y el diámetro sólo en la base del tallo, con una regla y un vernier digital, respectivamente.

Cultivo de setos en invernadero

En julio de 2009 se seleccionaron 8 plántulas por árbol para el cultivo de setos, utilizando 2 tamaños de bolsa de plástico negro: grande de 10 litros (25 cm de altura y 22 de diámetro) y chica de 1,4 litros (20 cm de altura y 10 cm de diámetro). Se trasplantaron 4 plántulas en bolsa grande y 4 en bolsa chica, utilizando un sustrato con textura de arena migajosa, compuesto por suelo de bosque y arena de mina en una proporción de 1:1.

Diseño experimental en invernadero

Se estableció un experimento de 4 bloques completos al azar con un arreglo de parcelas divididas. Cada bloque se dividió en 3 parcelas para las 3 poblaciones y dentro de cada una están representados 2 setos por árbol: uno en bolsa grande y otro en bolsa chica.

Capacidad de rebrote

En septiembre de 2009 se realizó la primera poda en las plantas a una altura de 15 cm (Mitchell *et al.*, 2004b). Posteriormente se realizaron 2 podas más y se registró el número de brotes producidos en 3 conteos: el primero en noviembre de 2009, el segundo en febrero y el tercero en mayo de 2010.

Porcentaje de enraizamiento de estacas

Se realizó el ensayo de enraizamiento en abril de 2010 con 403 estacas en un diseño completamente al azar, en contenedores de 300 ml de capacidad con un sustrato de suelo de bosque y arena de mina en una proporción de 1:2. El tamaño de las estacas fue de 4 cm a 5 cm de largo (Aparicio-Rentería, 2007), sin la aplicación de hormona enraizante (Mitchell *et al.*, 2004b). Después de 3 meses se realizó la extracción de estacas para obtener el porcentaje de enraizamiento (Mitchell *et al.*, 2004b; Aparicio-Rentería, 2007).

Análisis estadísticos

El porcentaje de germinación se analizó a través de un análisis gráfico y un análisis de varianza de Kruskal-Wallis. Se utilizó esta prueba no paramétrica en lugar del análisis de varianza tradicional GLM, porque el supuesto de normalidad en el porcentaje de germinación se viola y la prueba de Kruskal-Wallis no requiere de normalidad en la variable respuesta. Para el análisis de la altura y el diámetro de las plántulas, se ajustó un modelo de curvas de crecimiento. El modelo seleccionado especifica una curva de crecimiento polinomial de tercer grado para cada variable respuesta (altura y diámetro) y un modelo lineal con efectos aleatorios debido a las plantas. Se supone que los efectos aleatorios se distribuyen normalmente. Se tiene

por lo tanto un modelo de efectos mixtos. La formulación del modelo es la siguiente. Sea $Y_{i(j)t}$ la observación en la variable respuesta de la planta i de la población j en el tiempo t . El modelo es:

$$Y_{i(j)t} = y_i + \beta_{0j} + \beta_{1j}t + \beta_{2j}t^2 + \beta_{3j}t^3 + \varepsilon_{i(j)t}$$

Donde y_i es el efecto aleatorio de la planta i , β_{0j} , β_{1j} , β_{2j} , β_{3j} son los coeficientes del polinomio cúbico (efectos fijos) de la población j y $\varepsilon_{i(j)t}$ es el término de error. El supuesto de normalidad establece que $y_i \sim N(0, \sigma_i^2)$ y $\varepsilon_{i(j)t} \sim N(0, \sigma^2)$. Los parámetros σ_i^2 y σ^2 son las varianzas de las plantas y el error, respectivamente, y se denominan componentes de varianza. Este modelo fue propuesto por Chi y Weerahandi (1998). El ajuste del modelo se realizó con el programa estadístico X-Pro especializado en métodos paramétricos exactos. La comparación de la capacidad de rebrote entre poblaciones, bloques y tamaño de la bolsa fue evaluada a través de un análisis de asociación con tablas de contingencia (Gibbons, 1976). Mientras que para comparar el porcentaje de germinación entre las poblaciones y el enraizado de estacas entre poblaciones y tamaño de bolsa, fue usado un análisis de Kruskal-Wallis (Gibbons, 1976).

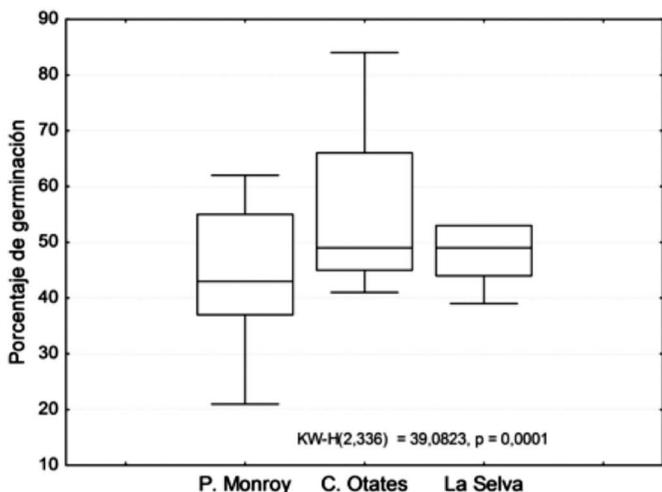


FIGURA 1. Porcentaje de germinación entre las tres poblaciones de *P. patula*.

RESULTADOS

Porcentaje de germinación

En general, los porcentajes de germinación resultaron relativamente bajos, principalmente para Potrero Monroy, de 21% a 62% y La Selva, de 39% a 53%. Sin embargo, en Canalejas Otates a pesar de obtener datos de 41%, se alcanzaron valores altos de hasta 84% de germinación (Fig. 1).

De acuerdo con el análisis de varianza de Kruskal-Wallis, con un alfa de 0,05% de confianza, el porcentaje de germinación fue significativamente diferente ($P = 0,0001$) entre las tres poblaciones.

Curvas de crecimiento de la progenie

La figura 2 representa el incremento obtenido en altura y en diámetro de la progenie de 28 árboles, durante un periodo de 9 meses. La hipótesis de igualdad de las curvas de crecimiento para altura y diámetro de las plántulas de las tres poblaciones, resultó con un valor p muy cercano a 1, por lo que no existen diferencias significativas en las tasas de crecimiento de las plántulas.

Capacidad de rebrote

La producción de rebrote es notable en cada conteo realizado, la asociación entre poblaciones y la capacidad productiva de brotes es significativa ($X^2 = 17,89$; $GL = 4$; $P = 0,001$; Tabla 3 y 4).

Además, hay una asociación significativa entre las poblaciones y el tamaño de las bosas ($X^2 = 12,66$, $GL = 2$; $P = 0,002$) (tablas 3 y 4). Los brotes producidos en bolsa grande superan de manera significativa a aquellos producidos en la bolsa chica, lo que se refleja en una alta producción de 3426 a 2°501 brotes, respectivamente (Tabla 5), por lo que existe una relación altamente significativa entre el tamaño de bolsa y la capacidad de rebrote (Tabla 5).

El diseño experimental de bloques establecido en el invernadero presentó un efecto muy significativo ($P = 0,002$) en la capacidad de rebrote. La cantidad de brotes producidos por los setos de las tres poblaciones fue de mayor a

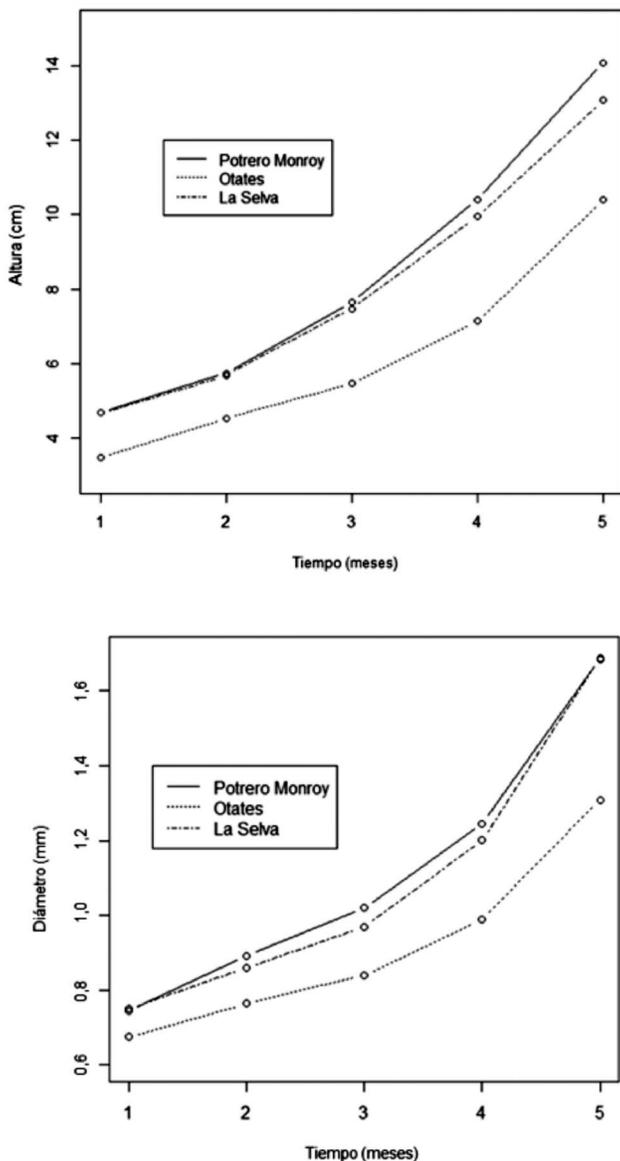


FIGURA 2. Crecimiento inicial en altura y diámetro de la progenie de las tres poblaciones de *P. patula*, evaluado cada dos meses.

menor (2098, 1614, 1268 y 947), en respuesta al orden de asignación de los bloques.

En el bloque 4 se obtuvo la menor producción por estar expuesto durante el día a la sombra de árboles que rodean el invernadero, contrario al bloque 1 (Tabla 6). Por lo tanto, es importante que los setos se encuentren ubicados en los sitios que reciban mayor cantidad de luz durante el día, ya que esto favorece su capacidad de rebrote.

Porcentaje de enraizado de estacas

En general, el porcentaje de estacas enraizadas en las tres poblaciones fue alto, ya que 60%, es decir, 75 de 126 setos con estacas útiles para el ensayo (47, 38 y 41 por población) obtuvieron valores de 100%, a excepción de 13 setos (10%) con valores bajos de 20% a 43% de enraizado, los restantes 38 setos (30%) se encontraron entre 50% y 83% de enraizado. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre las 3 poblaciones para el porcentaje de enraizado ($P = 0,7306$). Por otro lado, hubo diferencias significativas ($P = 0,0162$) en el porcentaje de enraizado por efecto del tamaño de la bolsa. En la bolsa chica se obtuvieron los mejores resultados con una media cercana a 86, en comparación con la media de 75 en la bolsa grande (Fig. 3).

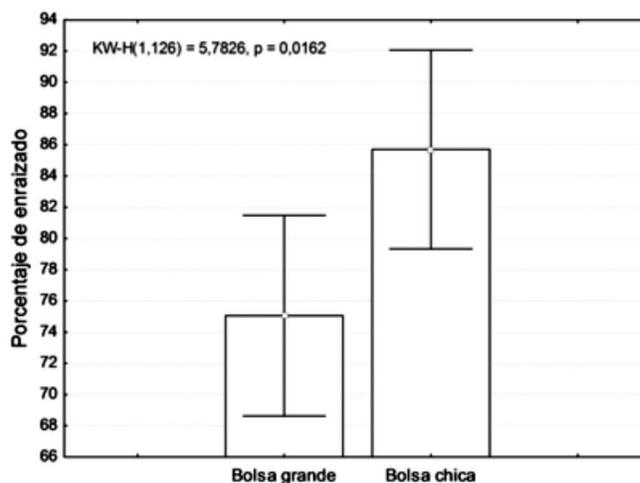


FIGURA 3. Porcentaje del enraizado de estacas entre el tamaño de bolsa utilizado en el cultivo de los setos.

DISCUSIÓN

Las semillas ortodoxas de algunas especies de clima templado, y en particular de *Pinus patula*, pueden ser almacenadas a una temperatura de 4 °C hasta por 5 años, sin reducir de manera significativa su viabilidad (Dvorak, 2002; Beardmore *et al.*, 2008). En general, la semilla de *Pinus patula* al momento de ser colectada presenta valores desde 60% hasta 96% de germinación (Gillespie, 1992; Camacho-Rebolledo, 1995; Agrosoft, 2000).

TABLA 3. Capacidad productiva de brotes en los tres conteos por árbol y población de *P. patula*.

<i>Población</i>	<i>Árbol Número</i>	<i>Conteo 1 Brotes</i>	<i>Conteo 2 Brotes</i>	<i>Conteo 3 Brotes</i>	<i>Total por árbol</i>	<i>Total por Población</i>
Potrero Monroy	1	59	79	85	223	
	2	52	70	61	183	
	3	36	69	88	193	
	4	65	77	105	247	
	5	31	41	70	142	
	6	65	84	123	272	
	7	72	86	110	268	
	8	82	95	92	269	
	9	65	83	103	251	
	10	28	66	84	178	2226
Canalejas Otates	11	39	66	82	187	
	12	70	88	85	243	
	13	55	85	72	212	
	14	68	83	70	221	
	15	61	71	56	188	
	16	67	82	83	232	
	17	62	89	93	244	
	18	66	89	92	247	
	19	60	77	92	229	2003
La Selva	20	74	85	90	249	
	21	46	61	72	179	
	22	42	67	70	179	
	23	56	70	88	214	
	24	33	77	72	182	
	25	58	72	93	223	
	26	30	53	80	163	
	27	46	78	69	193	
	28	8	40	68	116	1698
TOTALES		1496	2083	2348	5927	5927

Las semillas utilizadas en este experimento se colectaron en marzo de 1995, y el porcentaje de germinación presentó un resultado muy variable, de 21% hasta 84%. Los bajos porcentajes de germinación fueron obtenidos por efecto del envejecimiento de la semilla al permanecer más

de 13 años en almacenamiento a 4 °C, ya que de acuerdo con Tammela *et al.* (2000), la semilla de pino que permanece un largo periodo de almacenamiento tiende a perder gradualmente su calidad, lo que se refleja en una disminución de su capacidad de germinación.



TABLA 4. Tabla de contingencia para cantidad de brotes producidos por conteo y población. Prueba de Chi-cuadrada de Pearson = 17,89; $GL = 4$; $P = 0,001$; $\alpha = 0,05\%$.

Población	Conteo 1 Brotes	Conteo 2 Brotes	Conteo 3 Brotes	Total por población
P. Monroy	555	750	921	2226
C. Otates	548	730	725	2003
La Selva	393	603	702	1698
Total	1496	2083	2348	5927

Sin embargo, la semilla de ciertos árboles procedentes de Canalejas Otates presentó porcentajes de germinación de hasta 84%. *Pinus patula*, una especie de clima templado y húmedo, considerada de rápido crecimiento, debería presentar un crecimiento constante durante todo el año. La modelación gráfica permitió observar dos fases en respuesta al ritmo de crecimiento en altura y diámetro de las plántulas, durante un intervalo de nueve meses en invernadero; una fase inicial de poco incremento en otoño-invierno, seguida de otra fase de mayor incremento durante los meses de primavera-verano. En México, *Pinus patula* es una especie propagada de manera común a través del uso de semilla.

En el presente estudio, las plántulas derivadas de los árboles plus fueron establecidas en setos, orientados a la producción y enraizado de estacas. Los setos tienden a

TABLA 5. Tabla de contingencia para tamaño de bolsa y cantidad de brotes producidos por población. Prueba de Chi-cuadrada de Pearson = 2,66; $GL = 2$; $P = 0,002$; $\alpha = 0,05\%$.

Población	Bolsa grande Brotes	Bolsa chica Brotes	Total por población
P. Monroy	1234	992	2226
C. Otates	1218	785	2003
La Selva	974	724	1698
Total	3426	2501	5927

incrementar la producción de estacas por efecto de las podas y el tamaño de bolsa utilizado. *Pinus patula* mostró una respuesta muy variable en su capacidad de enraizamiento a nivel de setos provenientes incluso de una misma población, con intervalos de 20% a 100%, situación que mencionan algunos autores con diversas especies (Wise y Caldwell, 1994; Land y Cunningham, 1994; Khasa *et al.*, 1995; Spanos *et al.*, 1999; Anderson *et al.*, 1999). Uno de los factores limitantes en el enraizamiento de estacas en especies de coníferas es la edad, en la cual, las plantas alcanzan la madurez ontogénica, lo cual reduce significativamente la capacidad de enraizamiento de estacas (Haffner *et al.*, 1991; Mitchell *et al.*, 2004b). Estudios en vivero indican que la fase juvenil óptima de *Pinus patula* para el enraizado es muy corta, durante los dos primeros años de edad (Mitchell *et al.*, 2004b). La edad de los setos al

TABLA 6. Tabla de contingencia para bloques y cantidad de brotes producidos por población. Prueba de Chi-cuadrada de Pearson = 17,73; $GL = 6$; $P = 0,007$; $\alpha = 0,05\%$.

Población	Bloque 1 Brotes	Bloque 2 Brotes	Bloque 3 Brotes	Bloque 4 Brotes	Total por población
P. Monroy	800	609	448	369	2226
C. Otates	745	551	424	283	2003
La Selva	553	454	396	295	1698
Total	2098	1614	1268	947	5927

momento de realizar el enraizado de estacas fue de 1 año 9 meses, cercanos a los 2 años de edad, presentándose algunos valores de enraizado muy bajos de 20%, 33% y 43%, quizás en respuesta al inicio de una fase temprana de madurez reproductiva en los setos. La bolsa grande utilizada en el cultivo de setos favorece la producción de brotes en comparación con la bolsa chica, sin embargo, el enraizamiento de estacas de los setos en bolsa chica tiende a ser mejor según el análisis de Kruskal-Wallis.

CONCLUSIONES

Se obtuvo una respuesta muy variable de la calidad fisiológica de la semilla de los árboles selectos de la especie con una capacidad germinativa mínima de 21% y máxima de 84%, por efecto del tiempo de almacenamiento (más de 13 años) y época de siembra realizada en julio de 2008. El análisis de crecimiento mediante la modelación gráfica permitió observar dos fases de crecimiento en las plántulas durante un periodo de nueve meses; una fase con poco incremento en altura y diámetro en otoño-invierno y otra de mayor crecimiento en primavera y verano. Se encontró una notable diferencia en la capacidad de rebrote en los setos cultivados en bolsa grande y bolsa chica con 3 426 y 2 501 brotes, respectivamente. En general el porcentaje de enraizado de estacas de los setos fue alto, con valores en su mayoría de 100%, obteniéndose sólo diferencias por el efecto del tamaño de bolsa utilizada en el cultivo de los setos.

AGRADECIMIENTOS

A los miembros del Programa Internacional para la Conservación y Domesticación de Árboles (CAMCORE), por la capacitación y asesoría en la selección de árboles plus de *Pinus patula* para la colecta de semilla y por sus valiosas aportaciones para el cultivo de setos y el enraizado de estacas.

REFERENCIAS

Anderson, A.B., L.J. Frampton y R.J. Weir. 1999. Shoot production and rooting ability of cuttings from juvenile greenhouse Loblolly pine hedges. *Transactions of the Illinois State Academy of Science* 92:1-14.

Aparicio-Rentería, A. 2007. Multiplicación de *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa por enraizamiento de estacas. Tesis de doctorado en Recursos Genéticos Forestales. Instituto de Genética Forestal. Universidad Veracruzana. 86 p.

Agrosoft. 2000. *Pinus patula* Schl et Cham. Pino pátula. Reporte de especie núm. 5. *Trees* Version 2. Serie-Especies Forestales. Medellín, Colombia. 15 p.

Balocchi, C.E. 1990. Programa de mejoramiento genético de CAMCORE. Conservation of conifers and hardwoods. Bulletin on tropical forestry. North Carolina State University. 39 p.

Beardmore, T., B.S.P. Wang, M. Penner y G. Scheer. 2008. Effects of seed water content and storage temperature on the germination parameters of white spruce, black spruce and lodgepole pine seed. *New Forests* 36:171-185.

Birks, J.S. y R.D. Barnes. 1991. Genetic control of wood quality in *Pinus patula*. Final report, ODA Research Scheme R4616. Oxford Forestry Institute. Universidad de Oxford. Reino Unido. 29 p.

Camacho-Rebolledo, V. 1995. Evaluación en vivero de la progenie de un área semillera de *Pinus patula* Schlect et Cham., localizada en el ejido Ingenio del Rosario, municipio de Xico, Veracruz. Tesis de licenciatura en Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 60 p.

Capuana, M., A. Giovannelli y R. Giannini. 2000. Factors influencing rooting in cutting propagation of cypress (*Cupressus sempervirens* L.). *Silvae Genetica* 49(6):277-281.

CAMCORE (Programa Internacional para la Conservación y Domesticación de Árboles). 1995. Annual Report. Universidad Estatal de Carolina del Norte. Raleigh, Carolina del Norte, EUA. 21 p.

CAMCORE (Programa Internacional para la Conservación y Domesticación de Árboles). 2007. Boletín de noticias CAMCORE para México y Centroamérica. Universidad Estatal de Carolina del Norte. Raleigh, Carolina del Norte, EUA. 1(1):6.

CAMCORE (Programa Internacional para la Conservación y Domesticación de Árboles). 2008. Boletín de noticias CAMCORE para México y Centroamérica. Universidad



- Estatad de Carolina del Norte. Raleigh, Carolina del Norte, EUA. 2(1):6.
- Celestino, C., I. Hernández, E. Carneros, D. López-Vela y M. Toribio. 2005. La embriogénesis somática como elemento central de la biotecnología forestal. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales* 14(3):345-357.
- Chi, E.M. y S. Weerahandi. 1998. Comparing treatments under growth curve models: exact tests using generalized p-values. *Journal of Statistical Planning and Inference* 71:179-189.
- Dvorak, W.S. 1997. The improvement and breeding of *Pinus patula*. 24 th Southern Forest Tree Improvement Conference. Orlando, Florida. EUA.
- Dvorak, W.S. 2002. *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. Part II. Species descriptions. In: J.A. Vozzo, ed. The tropical tree seed manual. Agriculture handbook 721. USDA, Forest Service. Washington DC. p:632-635.
- Dvorak, W., G.R. Hodge, J.E. Kietzka, F.S. Malan, L.F. Osorio y T. Stanger. 2000. *Pinus patula*. In: Conservation and testing of tropical and subtropical forest tree species by the CAMCORE Cooperative. College of Natural Resources. Universidad Estatal de Carolina del Norte. Raleigh, EUA. p:48-173.
- Dvorak, W.S. y J.K. Donahue. 1993. Reseña de investigaciones de la Cooperativa de Recursos de Coníferas de Centroamérica y México, CAMCORE 1980-1992. Universidad Estatal de Carolina del Norte. 94 p.
- Dvorak, W.S, J.K. Donahue y J.A. Vásquez. 1995. Early Performance of CAMCORE Introductions of *Pinus patula* in Brazil, Columbia and South Africa. *South African Forestry Journal* 174:23-33.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1967. Seminario y viaje de estudio de coníferas latinoamericanas. 2ª ed. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México. 217 p.
- Gibbons, J.D. 1976. Nonparametric methods for quantitative analysis. International series in decision processes. Holt, Rinehart Winston. Nueva York. 463 p.
- Gillespie, A.J.R. 1992. *Pinus patula* Schiede and Deppe. Patula pine. SO-ITFSM-54. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Nueva Orleans, LA. 5 p.
- Girouard, R.M. 1973. Propagation of spruce by stem cuttings. *New Zealand Journal Forest Science* 4:140-149.
- Goldfard, B. 2007. Propagación de pinos por enraizamiento de estacas. Boletín de noticias CAMCORE para México y Centroamérica. Universidad Estatal de Carolina del Norte. Raleigh, Carolina del Norte, EUA. 1(3):6.
- Haffner, V., F. Enjalric, L. Lardet y M.P. Carron. 1991. Maturation of woody plants: a review of metabolic and genomic aspects. *Annales des Sciences Forestieres* 48(6):615-630.
- Hamann, A. 1995. Effects of hedging on maturation in loblolly pine: rooting capacity and root formation. Tesis de maestría. State University of New York. College of Environmental Science and Forestry. Syracuse, Nueva York. 90 p.
- Kanzler, A. 2002. Genotype x environment interaction in *Pinus patula* and its implications in South Africa. Tesis doctoral. Universidad Estatal de Carolina del Norte. Departamento Forestal. Raleigh, Carolina del Norte. EUA. 229 p.
- Khasa, P.D., G. Vallee, y J. Bousquet. 1995. Provenance variation in rooting ability of juvenile stem cuttings from *Racosperma auriculiforme* and *R. mangium*. *Forest Science* 41(2):305-320.
- Land Jr.S.B. y M. Cunningham. 1994. Rooted cutting macropropagation of hardwoods. In: G.S. Foster y A.M. Diner, eds. Proceedings of the Southern Regional Information Exchange Group Biennial Symposium on Forest Genetics: "Applications of Vegetative Propagation in Forestry". U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Huntsville, Alabama. p:75-96.
- Leibing, C., M. Van Zonneveld, A. Jarvis, y W. Dvorak. 2009. Adaptation of tropical and subtropical pine plantation forestry to climate change: Realignment of *Pinus patula* and *Pinus tecunumanii* genotypes to 2020 planting site climates. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24:483-493.
- Lindgren, D. 2001. Advantages of clonal propagation. Draft for the proceedings from a meeting at Ronneby, Sweden. Department of Forest Genetics and Plant Physiology. Suecia. 14 p.
- Marín, A.M. 1998. Propagación vegetativa de dos podocarpaceas del bosque andino colombiano con problemas de

- propagación sexual. Cartón de Colombia. Informe de investigación núm. 186. 11 p.
- Ming-He, L., S. Bao-Xian y L. Chaun-Han. 1999. Cloning strategy for Chinese-fir (*Cunninghamia lanceolata* Lamb. Hook.) suggested by early test results. *Silvae Genetica* 48(5):242-247.
- Mitchell, R.G., J. Zwolinsky y N.B. Jones. 2004a. A review on the effects of donor maturation on rooting and field performance of conifer cuttings. *Southern African Forestry Journal* 201:53-63.
- Mitchell, R.G., J. Zwolinsky y N.B. Jones. 2004b. The effects of ontogenetic maturation in *Pinus patula* – part I: nursery performance. *Southern African Forestry Journal* 202:29-36.
- Osorio, L.F. 1993. Propagación y comportamiento en el campo de estacas enraizadas de *Pinus oocarpa*, *Pinus maximinoi* y *Pinus tecunumanii*. Informe de Investigación núm. 150. Smurfit Carton de Colombia. Cali, Colombia. 6 p.
- Radke, P. y A. Radke. 2004. Plantation improvement using clonal propagation –an overview of the latest technology in Australia. With an appendix on: Variation in tree species, and improvement and propagation options– an explanation. Prospects for high-value hardwood timber plantations in the “dry” tropics of Northern Australia, Mareeba. 14 p.
- Ritchie, G.A. 1991. The commercial use of conifer rooted cuttings in forestry: a world overview. *New Forests* 5:247-275.
- Sáenz-Romero, C., A.E. Snively y R. Lindig-Cisneros. 2003. Conservation and restoration of pine forest genetic resources in México. *Silvae Genetica* 52(5-6):233-237.
- Sidhu, D.S. 1992. Genetic basis of vegetative propagation and its impact on tree breeding strategies. *In*: R.K. Kesava, ed. Vegetative propagation and biotechnologies for tree improvement. Natraj Publishers. Dehra Dun, Nueva Delhi. p:53-70.
- Shelbourne, C.J.A. y I.J. Thulin. 1974. Early results from a clonal selection and testing programmed with radiata pine. *New Zealand Journal of Forestry Science* 4(2):387-398.
- Spanos, K.A., A. Pirrie y S. Woodward. 1999. The effect of fertilizer and shading treatments on rooting efficiency in cuttings of Cupressaceae. *Silvae Genetica* 48(5):248-254.
- Tammela, P., A. Hopia, R. Hiltunen, H. Vuorela y M. Nigren. 2000. Aging in *Pinus sylvestris* L. seeds: changes in viability and lipids. *Biochemical Society Transactions* 28(6):878-879.
- Wise, F.C. y T.D. Caldwell. 1994. Macropropagation of conifers by stem cuttings. *In*: G.S. Foster y A.M. Diner, eds. Proceedings of the Southern Regional Information Exchange Group Biennial Symposium on Forest Genetics: “Applications of Vegetative Propagation in Forestry”. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Huntsville, Alabama. p:51-73.
- Wright, J.A. 1994. Utilization of *Pinus patula*. An annotated bibliography. O.F.I. Occasional Paper núm. 45. Oxford Forestry Institute. Universidad de Oxford. Reino Unido. 73 p.
- Wormald, T.J. 1975. *Pinus patula*. Tropical Forestry Paper núm. 7. Oxford Forestry Institute. Universidad de Oxford. Reino Unido. 172 p.
- Zobel, B. y J. Talbert. 1988. Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. 1a ed. Editorial Limusa. México. 545 p.
- Manuscrito recibido el 17 de junio de 2011.
Aceptado el 16 de octubre de 2013.
- Este documento se debe citar como:
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(1):85-96.