

Variación y heredabilidad en altura, diámetro y volumen de *Pinus patula* en un huerto semillero asexual en Huayacocotla, Veracruz, México.

Variation and heritability in height, diameter and volume of *Pinus patula* in an asexual seed orchard in Huayacocotla, Veracruz Mexico.

Karla Ramírez-Galicia ^a , Carlos Ramírez-Herrera ^{b*} , Prócoro Gómez-Martínez ^c ,
Javier López-Upton ^b , Leopoldo Mohedano-Caballero ^a , Dante A Rodríguez-Trejo ^a 

^a Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales,
Chapingo, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: ^b Colegio de Postgraduados, Postgrado en Ciencias Forestales, Montecillo,
Estado de México, México, tel.: 52 5573786568 y 52 5573786568, kmcramcolpos@gmail.com

^c Conservemos México y sus Recursos Genéticos, Asociación Civil, San Miguel Tocuila,
Estado de México, México.

SUMMARY

Pinus patula seeds are in high demand for the establishment of plantations in Mexico and around the world because of the fast growth of this species. However, genetically improved germplasm of forest species is scarce in Mexico. For this reason, in 2012, the Mexican government started a program of asexual seed orchards with species of the *Pinus* genus to meet the germplasm demand. Thus, the objectives of the present research were: to evaluate the height, diameter at breast height, and volume of *Pinus patula* clones in an asexual seed orchard and to estimate the heritability of these traits. The asexual seed orchard was established in 2012. The diameter at breast height and total height (DBH) were measured and the volume of each ramet was calculated. Subsequently, clonal heritability was estimated for each trait in the four-year-age clones. Differences were found among clones. The average height was 4.38 m, and it varied from 3.39 to 4.80 m for the clones 103 and 28, respectively. The average DBH was 5.46 cm and varied from 3.98 to 6.52 cm for clones 103 and 25, respectively. The average volume was 6.23 dm³ showing a range from 2.62 to 9.53 dm³ for clones 103 and 25, respectively. Clones of *Pinus patula* had high values of height, DBH, and volume. Heritability values for height, DBH and volume were 0.655, 0.508 and 0.575, respectively. Thus, these traits show high heritability, in other words, they are influenced by genetic component.

Keywords: clones, heritability, ramets.

RESUMEN

Las semillas de *Pinus patula* tiene una alta demanda para el establecimiento de plantaciones en México y en el mundo por el rápido crecimiento de los árboles de esta especie. Sin embargo, germoplasma genéticamente mejorado de especies forestales es poco disponible en México. Esta fue la razón por la que el gobierno de México inició en 2012 un programa de huertos semilleros asexuales con varias especies del género *Pinus* y satisfacer la demanda de germoplasma. Por lo tanto, los objetivos de la presente investigación fueron: evaluar la altura, diámetro a la altura de pecho y volumen de los clones de *Pinus patula* en un huerto asexual y estimar la heredabilidad de estas características. Se estableció el huerto semillero asexual en 2012. Se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total, y se calculó el volumen de cada rameto en el huerto. Posteriormente, se estimó la heredabilidad clonal para cada una de las características de clones de cuatro años. Se encontraron diferencias entre clones. La altura promedio fue 4,38 m, y esta varió entre 3,39 y 4,80 m para los clones 103 y 28, respectivamente. El diámetro promedio fue 5,46 cm y varió de 3,98 a 6,52 cm para los clones 103 y 25 respectivamente. El volumen promedio fue 6,23 dm³ y mostró un rango entre 2,62 y 9,53 dm³ para los clones 103 y 25 respectivamente. Clones de *Pinus patula* tuvieron valores elevados en altura, DAP y volumen. Los valores de heredabilidad fueron 0,655, 0,508 y 0,575 para altura, DAP y volumen, respectivamente. Por lo tanto, estas variables mostraron una heredabilidad alta, es decir están influenciadas por el componente genético.

Palabras clave: clones, heredabilidad, rametos.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. es una especie endémica de México, crece en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Querétaro, Hidalgo, Ciudad de México, Estado de México, Tlaxcala, Puebla, Guerrero, Oaxaca y Veracruz (Dvorak *et al.* 2000, Perry 1991). *P. patula* ocupa rodales naturales localizados entre los 1.500 m y 3.100 m de altitud sobre el nivel del mar entre los 16° y 24° de latitud norte y entre los 96 y 100° longitud oeste (Dvorak y Donahue 1992, Dvorak *et al.* 2000).

El Programa Internacional para la Conservación y Cruzamiento de Árboles (CAMCORE) tiene 74 ensayos de procedencias con *P. patula* en el mundo para identificar el crecimiento y supervivencia de la especie en diversos ambientes (Dvorak *et al.* 1995, Leibing *et al.* 2009). *Pinus patula* es de rápido crecimiento, tolerante a bajas temperaturas y heladas (Dvorak *et al.* 2000). Es la especie mexicana con la mayor superficie de plantación en el mundo, con alrededor de un millón de hectáreas plantadas, principalmente en Sudáfrica y Sur América (Dvorak *et al.* 2000). Por lo tanto, semillas de esta especie presenta una demanda alta para el establecimiento de plantaciones de reforestación y para aprovechamiento forestal (Sáenz-Romero *et al.* 1994).

En México, la disponibilidad de germoplasma mejorado es escasa y la obtención de semillas para establecer plantaciones proviene principalmente de rodales naturales, sin embargo, instituciones de educación e investigación han establecido un programa de huertos semilleros con especies del género *Pinus* (López-Upton *et al.* 2011). Conjuntamente, la Comisión Nacional Forestal cuenta con un programa para el establecimiento de huertos semilleros asexuales que inició en 2012 con el objetivo de producir semilla de calidad. El propósito de un huerto semillero es la producción de semilla mejorada, y las prácticas culturales se enfocan a maximizar la calidad genética y la producción a un mínimo costo (White *et al.* 2007).

En México, se cuenta con nula información sobre el crecimiento de clones de *Pinus patula*. Un estudio clonal o de progenie permite valorar la calidad genética de los árboles productores de semillas (White *et al.* 2007). Evaluar el crecimiento de clones en un huerto semillero permite conocer la calidad genética de características de crecimiento debido a que los clones están creciendo bajo las mismas condiciones ambientales (White *et al.* 2007). Por lo tanto, a través de un estudio clonal se pueden conocer los clones con el mayor crecimiento. Posteriormente, estos se pueden convertir en bancos clonales, donde la información de su crecimiento adquiere importancia para identificar los clones con las mayores tasas de crecimiento y usar el germoplasma de estos para disminuir el turno de cosecha de las plantaciones.

Los objetivos de la presente investigación son evaluar la altura, diámetro a la altura del pecho y volumen

de clones de *P. patula* y estimar la heredabilidad de estas características. Las hipótesis planteadas son: que la variación en estas características es alta debido a que el huerto está constituido por un alto número de clones y la heredabilidad es influenciada por el componente genético de los clones.

MÉTODOS

Para el establecimiento del huerto semillero asexual, se seleccionaron 120 árboles superiores fenotípicamente de *Pinus patula* a lo largo del bosque del ejido La Selva en el municipio de Huayacocotla, estado de Veracruz, México. Se incluyeron árboles superiores fenotípicamente ubicados a una distancia mínima de 100 m entre cada uno de estos. Se comparó cada uno de los árboles de *P. patula* con los árboles vecinos de la misma especie y se escogió el árbol con mayor altura, diámetro a la altura del pecho y fuste limpio. También, se consideraron en forma visual que los árboles tuvieran ramas delgadas con ángulos de inserción al tallo alrededor de 90°. Se marcaron los árboles con un número consecutivo de acuerdo con el orden en el que fueron seleccionados. Se recolectaron yemas de la copa de cada uno de los 120 árboles, de las cuales se seleccionaron 30, cada una de estas fueron injertadas en una plántula (patrón) de *Pinus patula* de aproximadamente tres años de edad. El follaje del patrón se eliminó después de tres meses cuando la yema alcanzó un desarrollo mayor a los 10 cm. Mil treientos setenta y cuatro rametos de 100 clones se plantaron en 20 bloques en 4,6 ha en agosto de 2012. El número varió entre 100 y 42 clones en los bloques. Los rametos se establecieron en un diseño de bloques al azar a un espaciamiento de 5 x 5 m en marco real con la restricción de que dos rametos del mismo clon se ubicarán a una distancia mínima de 20 m entre estos. La parcela experimental se constituyó por un rameto. El sitio de plantación de los clones se ubica en las coordenadas geográficas 20° 35' 22" N, 98° 30' 60" O a una altitud de 1.875 m s.n.m. en el ejido la Selva, en el municipio de Huayacocotla, estado de Veracruz, México (figura 1). La precipitación y temperatura promedio es 1.228 mm y 16,4 °C; Estos valores fueron estimados con Spline model of climate para México (Rehfeldt 2006).

Las variables evaluadas fueron altura, diámetro a la altura del pecho y volumen para de cada uno de los rametos de los 100 clones de cuatro años edad. Sin embargo, solo, se analizó la altura, diámetro a la altura del pecho y volumen de 70 clones que estuvieron representados por al menos cuatro rametos en el huerto semillero asexual de *P. patula* en el ejido La Selva. La altura de los rametos se midió con un estadal de aluminio con una precisión de un centímetro. El diámetro a la altura del pecho se midió a una altura de 1,30 metros del tronco de cada rameto con un vernier. El volumen (Vol) se estimó con la fórmula para arboles jóvenes de *Pinus patula* (Carrillo-Anzures *et al.* 2004):

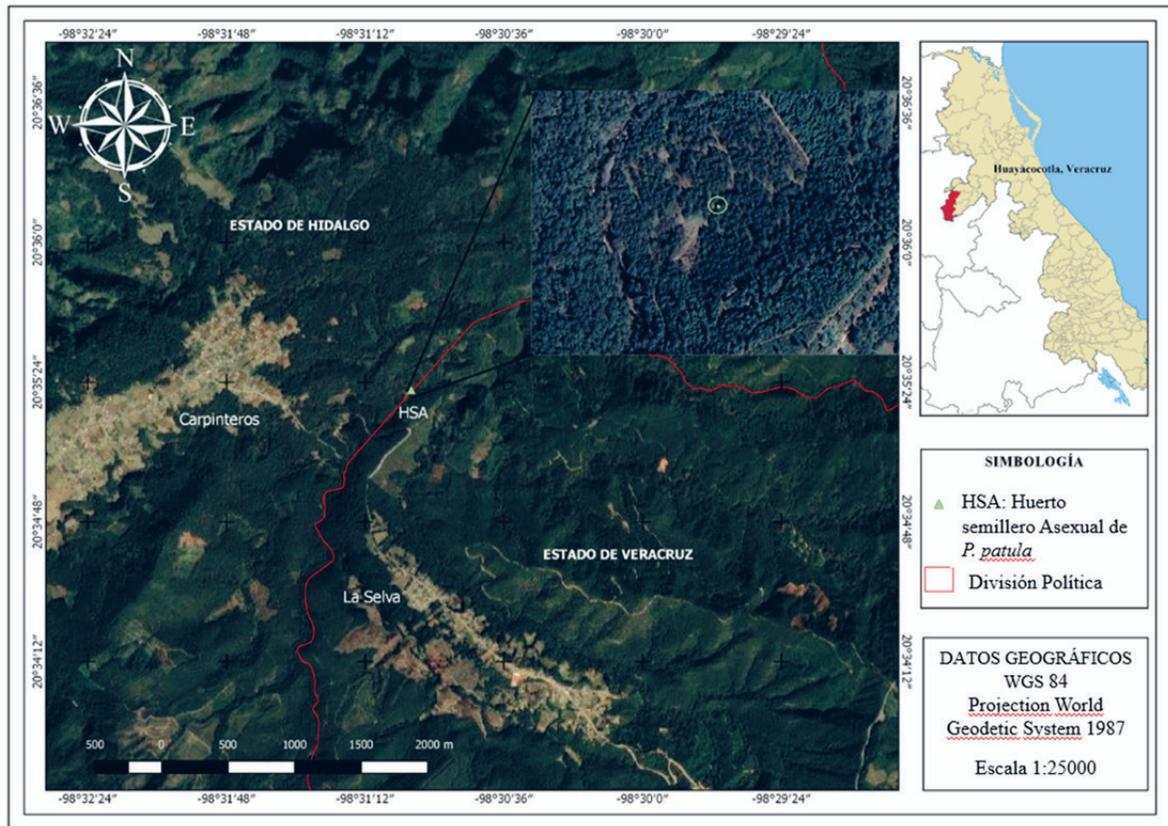


Figura 1. Localización geográfica del huerto semillero asexual en el ejido la Selva, municipio de Huayacocotla, estado de Veracruz, México.

Geographical location of the asexual seed orchard in the ejido la Selva, municipality of Huayacocotla, State of Veracruz, Mexico.

$$\text{Vol} = e^{-9.7688} (\text{DAP}^2 * \text{Alt})^{0.9451} \quad [1]$$

donde: DAP es diámetro a la altura del pecho y Alt es altura.

Se estimó la diferencia en porcentaje para altura, diámetro a la altura del pecho o volumen entre clones con valores extremos para altura, diámetro a la altura del pecho y volumen como se describe en la ecuación siguiente:

$$\text{Diferencia \%} = \left(\frac{\bar{X}_{\text{máximo}} - \bar{X}_{\text{mínimo}}}{\bar{X}_{\text{mínimo}}} \right) \times 100 \quad [2]$$

Donde: puede ser el valor promedio de altura, diámetro a la altura del pecho o volumen de un clon determinado.

Las variables se analizaron con el procedimiento PROC UNIVARIATE para probar una distribución normal y homogénea (SAS Institute 2012). Posteriormente, se analizaron con el procedimiento PROC GLM para probar diferencias y PROC MIXED para estimar las esperanzas de las varianzas utilizando el modelo mixto siguiente considerando a los bloques (B) como un efecto fijo y a la interacción bloque x clones (BC) y clones (C) como un efecto aleatorio:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + C_j + BC_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad [3]$$

donde: Y_{ijk} es la variable k-ésima en el i-ésimo bloque del j-ésimo clon; μ es la media poblacional; B es el i-ésimo bloque; C es el j-ésimo clon; ε_{ijk} es el error experimental.

La heredabilidad clonal en sentido amplio se estimó con los valores de las esperanzas de varianzas con la ecuación siguiente:

$$H_c^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_c^2 + \frac{\sigma_{BC}^2}{\mu} + \frac{\sigma_E^2}{\mu}} \quad [4]$$

dónde: σ_c^2 es la varianza entre clones; σ_{BC}^2 es la varianza entre la interacción bloque x clon; σ_E^2 es la varianza ambiental; μ es la media armónica de los clones.

$$\sigma_T^2 = \sigma_c^2 + \sigma_{BC}^2 + \sigma_E^2 \quad [5]$$

dónde: σ_T^2 es la varianza total.

El porcentaje de la contribución de cada componente de varianza es la división de cada valor del componente de varianza entre el valor de la varianza total, y el resultado de la división se multiplica por 100.

RESULTADOS

El análisis de varianza mostró diferencias ($P < 0,015$) entre clones para altura. La altura promedio de los clones en el ensayo fue 4,38 m. El crecimiento en altura de treinta y cuatro rametos fue menor al valor promedio mientras que la altura de treinta y seis de estos fue mayor (cuadro 1). El clon 103 presentó la menor altura, mientras que el clon 28 alcanzó la mayor altura. La diferencia entre la mayor y menor altura fue 1,93 m. Por lo tanto, la altura del clon 28 fue 56,9 % mayor que la altura del clon 103. La varianza ambiental contribuyó con el mayor porcentaje a la varianza total para altura de los clones, seguida por la varianza de estos (cuadro 2). La heredabilidad en sentido amplio fue de 0,655 para altura.

El análisis de varianza mostró diferencias ($P < 0,028$) entre clones para el volumen. El volumen promedio en el ensayo fue 6,23 dm³. Cuarenta clones presentaron un volumen menor al promedio mientras que 30 de ellos tuvieron un volumen mayor al promedio (cuadro 4). El clon 103 tuvo el menor volumen mientras que el clon 25 alcanzó el mayor volumen. La diferencia entre el volumen mayor y el menor fue 6,91 dm³. Por lo tanto, el volumen del clon 25 fue 263,3 % mayor que el volumen del clon 103. La varianza ambiental contribuyó con el mayor porcentaje a la varianza total para el volumen de los clones, seguida por la varianza clonal y bloque (cuadro 2). La heredabilidad en sentido amplio fue 0,575 para volumen.

Cuadro 1. Valores promedio y error estándar para altura de los clones de *Pinus patula*.

Means and standard error for height of *Pinus patula* clones.

Clon	Altura (m)						
28	5,32 ± 0,30	6	4,65 ± 0,26	100	4,36 ± 0,26	58	4,12 ± 0,18
25	4,96 ± 0,13	80	4,59 ± 0,20	106	4,36 ± 0,16	97	4,11 ± 0,41
70	4,90 ± 0,22	39	4,57 ± 0,29	57	4,35 ± 0,13	21	4,11 ± 0,15
8	4,85 ± 0,27	44	4,57 ± 0,26	9	4,32 ± 0,18	1	4,10 ± 0,30
45	4,85 ± 0,27	54	4,53 ± 0,22	43	4,32 ± 0,18	20	4,10 ± 0,28
74	4,82 ± 0,21	14	4,53 ± 0,21	98	4,31 ± 0,18	93	4,09 ± 0,22
56	4,82 ± 0,18	49	4,51 ± 0,27	3	4,24 ± 0,23	27	4,08 ± 0,15
29	4,80 ± 0,18	12	4,48 ± 0,15	62	4,21 ± 0,09	86	4,05 ± 0,09
59	4,79 ± 0,25	19	4,48 ± 0,15	79	4,19 ± 0,21	119	4,02 ± 0,27
10	4,79 ± 0,11	118	4,48 ± 0,15	109	4,19 ± 0,21	48	3,97 ± 0,14
67	4,77 ± 0,27	26	4,43 ± 0,14	46	4,19 ± 0,15	75	3,94 ± 0,12
66	4,76 ± 0,19	34	4,42 ± 0,18	78	4,19 ± 0,11	35	3,93 ± 0,20
114	4,75 ± 0,27	23	4,42 ± 0,14	83	4,17 ± 0,22	13	3,91 ± 0,18
37	4,74 ± 0,16	51	4,42 ± 0,14	60	4,17 ± 0,14	65	3,83 ± 0,11
61	4,68 ± 0,27	47	4,40 ± 0,15	52	4,14 ± 0,15	7	3,64 ± 0,27
22	4,67 ± 0,20	40	4,39 ± 0,24	73	4,14 ± 0,13	103	3,39 ± 0,15
95	4,66 ± 0,14	50	4,39 ± 0,14	85	4,12 ± 0,24		
32	4,65 ± 0,45	72	4,38 ± 0,21	4	4,12 ± 0,21		

Cuadro 2. Componentes de varianza (σ^2) para altura, diámetro a la altura del pecho (DAP) y volumen de clones de *Pinus patula*.

Components of variance (σ^2) for height, diameter at breast height and volume of *Pinus patula* clones.

Variable	σ^2_{Total}	Componentes de varianza en % con respecto a la σ^2_{Total}		
		σ^2_{Clones}	$\sigma^2_{Bloques \times Clones}$	$\sigma^2_{Ambiental}$
Altura	0,38305	17	15	68
DAP	1,2988	10	13	77
Volumen	8,858 x 10 ⁻⁶	13	14	73

Cuadro 3. Valores promedio y error estándar para diámetro a la altura del pecho de los clones de *Pinus patula*.

Means and standard error for diameter at breast height of *Pinus patula* clones.

Clon	DAP (cm)						
25	6,52 ± 0,52	80	5,86 ± 0,49	73	5,33 ± 0,26	19	5,09 ± 0,22
57	6,43 ± 0,30	12	5,86 ± 0,22	22	5,30 ± 0,30	61	5,07 ± 0,44
67	6,41 ± 0,50	43	5,78 ± 0,29	79	5,29 ± 0,33	100	5,04 ± 0,37
66	6,33 ± 0,34	59	5,75 ± 0,24	106	5,28 ± 0,29	27	5,03 ± 0,24
74	6,30 ± 0,34	10	5,75 ± 0,20	83	5,26 ± 0,38	52	5,02 ± 0,20
54	6,28 ± 0,39	62	5,61 ± 0,44	85	5,24 ± 0,49	21	4,97 ± 0,31
70	6,23 ± 0,38	44	5,57 ± 0,43	37	5,24 ± 0,30	46	4,95 ± 0,21
51	6,23 ± 0,32	29	5,54 ± 0,41	58	5,23 ± 0,29	13	4,89 ± 0,44
95	6,20 ± 0,43	39	5,53 ± 0,47	47	5,23 ± 0,25	1	4,84 ± 0,52
45	6,19 ± 0,51	14	5,46 ± 0,29	34	5,22 ± 0,35	4	4,83 ± 0,36
97	6,18 ± 0,24	86	5,43 ± 0,23	49	5,20 ± 0,52	48	4,79 ± 0,24
8	6,13 ± 0,47	50	5,42 ± 0,26	9	5,19 ± 0,31	3	4,74 ± 0,30
28	6,11 ± 0,49	114	5,41 ± 0,44	26	5,19 ± 0,29	119	4,72 ± 0,37
72	6,08 ± 0,43	109	5,41 ± 0,36	35	5,17 ± 0,43	20	4,70 ± 0,37
56	6,00 ± 0,22	32	5,38 ± 0,97	65	5,11 ± 0,24	7	4,53 ± 0,53
40	5,95 ± 0,50	78	5,38 ± 0,36	93	5,10 ± 0,42	103	3,98 ± 0,31
6	5,90 ± 0,40	75	5,38 ± 0,34	60	5,10 ± 0,34		
23	5,87 ± 0,27	118	5,37 ± 0,22	98	5,09 ± 0,27		

Cuadro 4. Valores promedio y error estándar para volumen de los clones de *Pinus patula*.

Means and standard error for volume of *Pinus patula* clones.

Clon	Volumen (dm ³)	Con	Volumen (dm ³)	Clon	Volumen (dm ³)	Clon	Volumen (dm ³)
25	9,53 ± 1,22	10	7,00 ± 0,55	109	5,79 ± 1,03	93	5,16 ± 0,82
28	9,15 ± 1,60	97	6,99 ± 0,99	61	5,76 ± 1,30	1	5,10 ± 1,14
66	8,93 ± 1,23	59	6,96 ± 0,76	85	5,74 ± 1,17	35	4,95 ± 0,95
70	8,91 ± 0,94	12	6,94 ± 0,69	79	5,64 ± 0,79	21	4,92 ± 0,81
67	8,90 ± 1,69	23	6,92 ± 0,73	58	5,56 ± 0,71	52	4,79 ± 0,45
45	8,60 ± 1,52	32	6,84 ± 2,04	106	5,54 ± 0,74	27	4,74 ± 0,61
74	8,39 ± 1,08	39	6,83 ± 1,58	47	5,53 ± 0,64	46	4,74 ± 0,49
8	8,29 ± 1,36	114	6,65 ± 1,12	73	5,53 ± 0,56	65	4,65 ± 0,39
54	8,24 ± 1,31	44	6,56 ± 1,07	78	5,51 ± 0,78	3	4,62 ± 0,75
95	7,95 ± 1,18	43	6,53 ± 0,78	83	5,47 ± 1,01	13	4,53 ± 0,87
57	7,94 ± 0,93	14	6,33 ± 0,90	26	5,45 ± 0,61	4	4,44 ± 0,73
51	7,88 ± 0,87	49	6,32 ± 1,48	86	5,45 ± 0,53	20	4,44 ± 0,72
80	7,62 ± 1,48	37	6,20 ± 0,79	100	5,43 ± 0,78	48	4,37 ± 0,52
56	7,59 ± 0,75	22	6,09 ± 0,89	75	5,38 ± 0,69	119	4,27 ± 0,81
40	7,55 ± 1,22	62	5,99 ± 0,82	9	5,37 ± 0,79	7	4,07 ± 0,99
6	7,49 ± 1,36	50	5,96 ± 0,76	98	5,33 ± 0,66	103	2,62 ± 0,47
72	7,33 ± 1,25	118	5,89 ± 0,57	60	5,32 ± 0,86		
29	7,17 ± 1,12	34	5,82 ± 0,84	19	5,26 ± 0,58		

DISCUSIÓN

La altura es un carácter importante para la adaptación a una densidad arbórea alta en el sotobosque (Gruntman *et al.* 2017). Las especies de rápido crecimiento evitan la competencia por luz en comparación con las especies de crecimiento lento (Salazar-García *et al.* 1999) y *P. patula* es una especie de rápido crecimiento. Además, este atributo refleja la fertilidad de un sitio y posee un componente genético moderado (Laar y Akca 2007). Los clones de *Pinus patula* en el presente estudio muestran una mayor altura (4,34 m) en comparación con las alturas que tienen los árboles de una edad de cuatro años (1,45 y 2,86 m) estudiados por Morales-González *et al.* 2013. En este último estudio, los progenies de *Pinus patula* crecen a una densidad de 1.111 árboles ha⁻¹ en dos sitios de evaluación. Los clones de *Pinus patula* en el huerto semillero asexual presentan un DAP mayor (5.46 cm) a los cuatro años que el DAP (2,13 y 4,53 cm) de las progenies de árboles de cinco años de edad de esta especie en dos sitios de evaluación (Morales-González *et al.* 2013). El volumen promedio (6,23 dm³) de los clones de *P. patula* en el huerto semillero a los cuatro años es mayor que el volumen promedio (0,73 y 4,43 dm³) de las progenies de *P. patula* a los cinco años en dos sitios (Morales-González *et al.* 2013).

Las diferencias en las variables de interés entre los clones en el huerto semillero se deben a factores genéticos y ambientales, como Resende *et al.* (2016) describen en un estudio para clones de eucalipto. Además, la fertilización del huerto tiene un efecto en el crecimiento de los clones, como se reporta para especies latifoliadas y de coníferas. Por lo que, se recomienda hacer estudios sobre fertilización en ensayos de progenie y clonales para poder usar la información generada en plantaciones forestales (Mead 2005). El espaciamiento de 5 m x 5 m también es un factor de influencia en el mayor crecimiento de los rametos del huerto semillero asexual de *P. patula* con respecto al crecimiento de las progenies que crecen a un espaciamiento de 3 m x 3 m en los dos sitios de evaluación (Morales-González *et al.* 2013). Se ha observado para *Pinus banksiana* Lamb., que el espaciamiento es un factor influyente en el crecimiento, ya que el mayor volumen se obtuvo a un espaciamiento de 1.111 árboles por hectárea (Hérbert *et al.* 2016). Por lo que, se recomienda considerar el espaciamiento de plantación dentro de los estudios de progenies y clonales. Los estudios de progenie y clonales permiten evaluar la calidad genética de las fuentes de germoplasma para plantaciones de una especie y así maximizar las ganancias en volumen y calidad de madera para una mayor ganancia económica (White *et al.* 2007). Asimismo, el mayor crecimiento de los rametos de *P. patula* en el huerto semillero asexual se debe a la calidad de sitio (White *et al.* 2007), en específico a la temperatura y precipitación. En el Ejido La Selva, la precipitación y temperatura promedio es 1.228 mm y 16,4°C (Rehfeldt 2006), mientras que, la precipitación promedio (722 y 840 mm) y temperatu-

ra promedio (12,6 y 11,1 °C), son menores en los sitios donde se evaluaron las progenies de esta especie (Rehfeldt 2006). Por otra parte, la reproducción asexual influye en la velocidad de crecimiento de los rametos del huerto asexual al heredar los rametos el mismo genotipo que los árboles selectos donde se obtienen las yemas (White *et al.* 2007), contrario a la descendencia de los árboles originados por semillas, que no tienen el mismo genotipo que el árbol de donde se recolecta las semillas debido a la recombinación de genes por lo que la descendencia puede no mantener la velocidad de crecimiento de los progenitores (White *et al.* 2007). Las evaluaciones a edades avanzadas son recomendables para conocer si la tendencia en la velocidad de crecimiento se mantiene a futuro. Si la velocidad de crecimiento se mantiene, permite disminuir el turno y obtener una mayor producción por unidad de superficie en un tiempo menor. El costo por el control de malezas se reduce debido al crecimiento rápido de los rametos.

La varianza clonal para altura contribuye con un porcentaje mayor (cuadro 2) a la varianza total en el huerto de *Pinus patula* en el presente estudio, que los porcentajes que aporta (6,8 %) las varianzas clonales a las varianzas totales para altura en un ensayo de cuatro años de edad de *P. taeda* L. (Paul *et al.* 1997). Sin embargo, la varianza clonal para altura contribuye un porcentaje menor a la varianza total en el huerto de *Pinus patula* que las varianzas clonales (21,4 y 25,6 %) a la varianza total en ensayos de *Pinus radiata* D. Don (Shelbourne *et al.* 1973) y *Pinus taeda* L. (Isik *et al.* 2005), respectivamente. Los valores de los componentes de varianza pueden ser diferentes cuando la evaluación de los clones se realiza en diferentes sitios debido a la interacción clon x ambiente (White *et al.* 2007). Por ejemplo, las varianzas clonales contribuyeron con el 9,7 y 25,8 % a la varianza total en un ensayo cuatro años de *Picea glauca* (Moench) Voss en sitios diferentes (Wahid *et al.* 2012).

Para diámetro a la altura del pecho, la varianza clonal contribuye con un valor mayor a la varianza total para DAP en el huerto de *Pinus patula* que en el caso de *Picea glauca* en un sitio de evaluación donde la varianza clonal aporta el 4 % de la varianza total (Wahid *et al.* 2012); en contraste, para otro sitio de evaluación de *Picea glauca*, la varianza clonal contribuye con 13,9 % a la varianza total (Wahid *et al.* 2012). El aporte de la varianza clonal a la varianza total es mayor en el huerto asexual de *P. patula* que la contribución de este tipo de varianza (2,2 y 9,7 %) a la varianza total en ensayos de *P. taeda* para DAP (Paul *et al.* 1997, Isik *et al.* 2005), sin embargo, el aporte de la varianza clonal es 20,3 % a la varianza total para diámetro en otro ensayo de *P. taeda* (Isik *et al.* 2005). Asimismo, esta varianza contribuye con 34,1 % a la varianza total en un ensayo de *P. radiata* (Shelbourne *et al.* 1973).

En cuanto a volumen, la varianza clonal contribuye en un porcentaje menor a la varianza total en el huerto clonal de *Pinus patula* que la varianza clonal (18,1 y 17,6%) para esta variable en un ensayo con *Pinus taeda* (Isik *et al.*

2005) y *Picea glauca* (Wahid *et al.* 2012). Sin embargo, la contribución de la varianza clonal de *Pinus patula* es mayor que la contribución a la varianza total de la varianza clonal (13,4 y 8,3 %) en sitios diferentes de evaluación para *Pinus taeda* (Isik *et al.* 2005) y *Picea glauca* (Wahid *et al.* 2012).

La variación clonal observada en el huerto de *P. patula* para las variables estudiadas, en comparación con los demás estudios, se le puede atribuir a que en el presente estudio solamente se evaluó en un sitio de establecimiento lo cual puede generar cierta imprecisión (Paul *et al.* 1997). De igual manera, se puede deber a la cantidad de clones utilizados para establecer el huerto, al ambiente del sitio, el hábito de crecimiento de la especie, al genotipo de los padres y a efectos de la fertilización realizada en el huerto (Mead 2005).

La heredabilidad es un parámetro que depende de la población y el sitio, por lo que la estimación varía dependiendo de las familias que se incluyen en la evaluación, la edad y el ambiente de evaluación (Wahid *et al.* 2012). La heredabilidad expresa la proporción de varianza que los padres pueden heredar a sus descendientes y el valor puede variar entre 0 y 1 (Zobel y Talbert 1984, Falconer y MacKay 1996). La heredabilidad clonal es alta para la variable altura de los clones de *P. patula* en el huerto semillero asexual, sin embargo, el valor de la heredabilidad clonal esta sobreestimada debido a que la evaluación solo se realiza en el huerto semillero por lo que no se detecta la interacción genotipo por ambiente (White *et al.* 2007). El valor de heredabilidad es muy similar en el huerto semillero de *P. patula* con el valor (0,65) de un ensayo de *P. taeda* en un sitio de evaluación y ligeramente menor (0,75) en otro sitio de evaluación (Isik *et al.* 2005). La heredabilidad clonal es mayor para la altura de los clones de *P. patula* en el huerto semillero asexual que la heredabilidad (0,104 y 0,258) para altura de *Picea glauca* (Wahid *et al.* 2012). La heredabilidad en DAP para el huerto asexual de *Pinus patula* es similar a la heredabilidad de un ensayo de *Pinus taeda* (0,50) en un sitio, sin embargo, en otro sitio con la misma especie, la heredabilidad es mayor (0,70) a la del huerto de *Pinus patula* (Isik *et al.* 2005). La heredabilidad clonal para DAP es mayor dentro del huerto de *Pinus patula* que la heredabilidad clonal (0,04 y 0,139) para DAP en un ensayo de *Picea glauca* (Wahid *et al.* 2012). La heredabilidad en volumen para el huerto asexual de *Pinus patula* es ligeramente menor a la heredabilidad (0,60 y 0,66) en dos sitios diferentes para *Pinus taeda* (Isik *et al.* 2005). Sin embargo, la heredabilidad clonal en volumen para el huerto de *Pinus patula* es mayor que los valores de heredabilidad (0,087 y 0,175) resultantes para dos sitios diferentes de *Picea glauca* (Wahid *et al.* 2012). De acuerdo con Franklin (1979), presentar una heredabilidad relativamente alta en caracteres de crecimiento a una temprana edad, se puede deber a que aún no hay un cierre de copas entre individuos. Lo cual es el caso del huerto de *Pinus patula*.

CONCLUSIÓN

Los clones de *Pinus patula* presentan valores elevados de altura, diámetro a la altura del pecho y volumen en el huerto semillero asexual, y la variación en estas características es alta entre clones de *Pinus patula*. Conjuntamente, muestran una heredabilidad alta. Por lo tanto, altura, diámetro y volumen son caracteres influenciados por el componente genético.

AGRADECIMIENTOS

Se le agradece al Ejido La Selva por permitir la evaluación del huerto semillero asexual y por el apoyo en la medición de los clones. A la Comisión Nacional Forestal por dar el recurso para establecer del huerto semillero asexual. Al Colegio de Postgraduados por financiar la toma de datos.

CONTRIBUCION DE AUTORES

Karla Ramírez Galicia: participó en la toma de datos de campo, hizo el análisis estadístico, escribió el primer borrador del manuscrito e hizo las correcciones que le indicaron los demás autores a través de la revisión de este. Carlos Ramirez Herrera: participó en la toma de datos de campo, asesoró en el análisis estadístico, hizo las primeras revisiones del manuscrito y aportó sugerencias. Superviso que las sugerencias de los demás autores se incluyeran en el manuscrito. Prócoro Gómez Martínez: participó en la selección de los árboles en poblaciones naturales, supervisó el establecimiento del huerto semillero, revisó el manuscrito y aportó sugerencias. Javier López Upton: elaboró el diseño de campo del huerto semillero, revisó e hizo sugerencias al manuscrito. Leopoldo Mohedano-Caballero: revisó e hizo sugerencias al manuscrito. Dante A. Rodríguez-Trejo: revisó e hizo sugerencias al manuscrito.

REFERENCIAS

- Carrillo-Anzures F, M Acosta-Mireles, G Tenorio-Galindo, F Becerra-Luna. 2004. Tabla de volumen para *Pinus patula* Schl et Cham. en el estado de Hidalgo. Folleto Técnico Núm. 2. INIFAP. México. SAGARPA. 21 p.
- Dvorak WS, JK Donahue. 1992. CAMCORE Cooperative Research Review. 1980-1992. College of Forest Resources, North Carolina State University, Raleigh, NC. USA. 93 p.
- Dvorak WS, JK Donahue, JA Vásquez. 1995. Early Performance of CAMCORE Introductions of *Pinus patula* in Brazil, Columbia and South Africa. *South African Forestry Journal* 174(1): 23-33. DOI: <https://doi.org/10.1080/00382167.1995.9629875>
- Dvorak WS, GR Hodge, JE Kietzka, F Malan, LF Osorio, TS Stanger. 2000. *Pinus patula*. In Dvorak WS, GR Hodge, JL Romero, WC Woodbridge eds. Conservation and testing of tropical and subtropical forest tree species. CAMCORE Cooperative, College of Natural Resources, North Carolina State University, Raleigh. p. 143-173.

- Falconer D, TF Mackay. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. Fourth edition. Lodgman, Essex, England. 464 p.
- Franklin EC. 1979. Model relating levels of genetic variance to stand development of four North American conifers. *Silvae Genetica* 28(5-6): 207-212.
- Gruntman M, D Groß, M Májeková, K Tielbörger. 2017. Decision-making in plants under competition. *Nature Communications* 8: 2235. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02147-2>
- Hérbert F, C Krause, PY Plourde, A Achim, G Prigent, J Ménetrier. 2016. Effect of tree spacing on tree level volume growth, morphology and wood properties in a 25-year-old *Pinus banksiana* plantation in the boreal forest of Quebec. *Forests* 7(11): 276. DOI: <https://doi.org/10.3390/f7110276>
- Isik F, B Goldfarb, A LeBude, B Li, S McKeand. 2005. Predicted genetic gains and testing efficiency from two loblolly pine clonal trials. *Canadian Journal of Forest Research* 35 (7): 1754-1766. DOI: <https://doi.org/10.1139/x05-064>
- Leibing C, M van Zonneveld, A Jarvis, 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 climate. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24(6): 483-493. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827580903378642>
- López-Upton J, C Ramirez-Herrera, J Jasso-Mata, M Jiménez-Casas, M Aguilera-Rodríguez, JR Sánchez-Velázquez, DA Rodríguez-Trejo. 2011. Situación de los Recursos Genéticos Forestales en México: Informe Final del proyecto TCP/MEX/3301/MEX (4). FAO-CONAFOR. México. 75 p.
- Mead DJ. 2005. Opportunities for improving plantation productivity. How much? How quickly? How realistic? *Biomass and Bioenergy* 28(2): 249-266. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.08.007>
- Morales-González E, J López-Upton, J Vargas-Hernández, C Ramírez-Herrera, A Gil-Muñoz. 2013. Parámetros genéticos de *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(2): 155-162. DOI: <http://dx.doi.org/10.35196/rfm.2013.2.155>
- Paul AD, GS Foster, T Caldwell, J McRae. 1997. Trends in genetic and environmental parameters for height, diameter and volume in a multilocation clonal study with loblolly pine. *Forest Science* 43(1): 87-98. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestscience/43.1.87>
- Perry JP. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Oregon, United States. Timber Press. 231 p.
- Rehfeldt GE. 2006. A spline model of climate for the Western United States. General Technical Report RMRS-GTR-165. Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service, Fort Collins, Colorado, USA. 21 p. DOI: <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-165>
- Resende RT, GE Marcatti, DS Pinto, EK Takahashi, CD Cruz, MDV Resende. 2016. Intra-genotypic competition of *Eucalyptus* clones generated by environmental heterogeneity can optimize productivity in forest stands. *Forest Ecology and Management* 380: 50-58. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.041>
- Sáenz-Romero C, H Nienstaedt, JJ Vargas-Hernández. 1994. Performance of *Pinus patula* genotypes selected in South Africa and growing in their native Mexican environment. *Silvae Genetica* 43(2-3): 73-81.
- Salazar-García JG, JJ Vargas-Hernández, J Jasso-Mata, JD Molina-Galán, C Ramírez-Herrera, J. López-Upton. 1999. Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. *Madera y Bosques* 5(2): 19-34.
- SAS (Statistical Analysis System). 2012. SAS 9.4. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Shelbourne CJA, IJ Thulin. 1973. Early results from a clonal selection and testing program with radiate pine. *New Zealand Journal of Forestry Science* 4(2): 387-98.
- van Laar A, A Akça. 2007. Forest Mensuration. Second edition. Dordrecht, Netherlands. Springer. 385 p.
- Wahid N, A Rainville, MS Lamhamedi, HA Margolis, J Beaulieu, J Deblois. 2012. Genetic parameters and performance stability of white spruce somatic seedlings in clonal tests. *Forest Ecology and Management* 270: 45-53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.01.003>
- White T, W Adams, D Neale. 2007. Forest Genetics. Cambridge, MA, USA. CAB International. 682 p.
- Zobel B, J Talbert. 1984. Applied Forest Tree Improvement. New York, United States. Wiley. 505 p.

Recibido: 21.12.22
Aceptado: 23.12.23