

<https://doi.org/10.14483/2256201X.22256>


ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN


ISSN 0120-0739 • e-ISSN 2256-201X


Evaluación de ensayo de progenies superiores de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la Sierra Norte de Oaxaca, México

Trial Evaluation of Superior Progenies of *Pinus pseudostrobus* Lindl. In the Sierra Norte of Oaxaca, Mexico

María Mercedes Cervantes-Machuca ^a, Marcos Emilio Rodríguez-Vásquez ^a,
Gerardo Rodríguez-Ortiz ^a, Daniel Martínez-Santiago ^b

^a Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca, México. 

^b Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de San Miguel el Grande. Oaxaca, México. 

 Autor para correspondencia

Recibido: 29 de mayo de 2024

Aceptado: 7 de mayo de 2025

Citación: Cervantes-Machuca, M. M., Rodríguez-Vásquez, M. E., Rodríguez-Ortiz, G., & Martínez-Santiago, D. (2025). Evaluación de ensayo de progenies superiores de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Colombia Forestal*, 28(2), e22256. <https://doi.org/10.14483/2256201X.22256>

Highlights

- La calidad genética del germoplasma asegura la sobrevivencia de plántulas en vivero y campo.
- La evaluación cuantitativa y cualitativa de árboles a temprana edad permite determinar su calidad.
- La selección de árboles superiores permite obtener progenie con características fenotípicas deseables.
- Las variables cualitativas ayudan a definir la calidad morfológica de los árboles.
- Utilizar germoplasma de árboles superiores permite incrementos en variables de interés económico.

Resumen

Es necesario realizar investigaciones que generen materiales de calidad genética superior para *Pinus pseudostrobus* Lindl. y aseguren la sobrevivencia y la producción maderable. El objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento e incremento inicial en familias de árboles selectos de *P. pseudostrobus* Lindl., así como de las características cualitativas que determinan la calidad comercial del arbolado. El ensayo (40 familias) se estableció en 2013 bajo un diseño en bloques completos al azar, y en 2020 se evaluaron sus variables de crecimiento maderable y cualitativas mediante análisis de varianza paramétricos y no paramétricos. Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre familias de árboles para el diámetro, altura,

longitud de fuste limpio, área basal, volumen e incremento medio anual (IMA). La familia 15 presentó un IMA en volumen de $12.41 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, con una ganancia del 52.3 % respecto al testigo genético. La evaluación de árboles a temprana edad permite determinar su calidad.

Palabras clave: incremento medio anual, Ixtlán de Juárez, rectitud de fuste, testigo genético.

Abstract

It is necessary to carry out research that generates materials of superior genetic quality for *Pinus pseudostrobus* Lindl. and ensures survival and timber production. The objective of this study was to evaluate the growth and initial increment in families of selected *P. pseudostrobus* Lindl. trees, as well as the qualitative characteristics that determine the commercial quality of the stand. The trial (40 families) was established in 2013 under of a randomized complete block design, and, in 2020, both timber growth and qualitative variables were assessed using parametric and non-parametric analysis of variance. Significant differences ($p \leq 0.01$) were observed between tree families for diameter, height, clear bole length, basal area, volume, and the mean annual increment (MAI). Family 15 exhibited a volume MAI of $12.41 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, with a 52.3% gain over the genetic control. The evaluation of trees at an early age allows determining their quality.

Keywords: mean annual increment, Ixtlan de Juárez, stem straightness, genetic control

INTRODUCCIÓN

A partir de 1970 se establecieron plantaciones forestales en México con el objetivo de conocer el desarrollo de características dasométricas de interés. Sin embargo, en este país, las plantaciones comerciales son recientes y aún no se les ha dado la importancia necesaria (Morales *et al.*, 2013). El principal problema del mejoramiento genético forestal en México tiene que ver con la obtención de materiales de calidad genética, en aras de garantizar la viabilidad en vivero y, por consiguiente, una alta sobrevivencia y producción de madera (Pastrana-Vargas *et al.*, 2012). Hay registros de ensayos mejorados, pero en la mayoría de estas plantaciones no hay antecedentes del origen del germoplasma utilizado. Esto puede conllevar una producción de semilla con resultados bajos de germinación, lo que implica poca superficie plantada y una baja producción de madera (Aragón *et al.*, 2020).

Utilizar suficiente semilla (germoplasma) de calidad genética superior asegura porcentajes altos de adaptación en el establecimiento en campo de plantaciones forestales comerciales y de restauración (Ramírez-García *et al.*, 2013). Una de las alternativas más adecuadas es utilizar árboles mejorados genéticamente al establecer huertos semilleros, para lo cual es necesario utilizar semillas de individuos superiores, *i.e.*, seleccionados de acuerdo con características fenotípicas sobresalientes y de importancia económica (Morales *et al.*, 2013). Por ello, es necesario tener un control de los árboles seleccionados y determinar la calidad genética de su progenie (Chávez-García *et al.*, 2022).

El mejoramiento genético es de gran importancia porque busca iniciar actividades conducentes a la recuperación y el mejoramiento de las masas forestales (Muñoz *et al.*, 2011a), además de fomentar la producción de semillas de fenotipos de mejor calidad para utilizarlas en la propagación para plantaciones forestales y producción maderable.

Zapata-Valenzuela y Hasbun (2011) indican que el aumento de la calidad de los árboles y su adaptabilidad a diferentes cambios ambientales son resultado del mejoramiento genético forestal. Estos programas de mejoramiento genético inician con la selección de árboles superiores a través de características fenotípicas y posteriormente evalúan el crecimiento inicial de la progenie ya establecida en campo, en aras de determinar la calidad de los árboles progenitores. Entretanto, Parra *et al.* (2016) señalan que las pruebas de progenie permiten incrementar la producción de madera por árbol, implementar ciclos de producción más cortos, aumentar la resistencia a plagas y enfermedades, y adaptarse a cambios de factores ambientales con la finalidad de ocupar sitios improductivos.

En términos generales, el origen (procedencia, familia e individuo) es fundamental para una fuente de semillas forestales (*i.e.*, de donde se obtiene el germoplasma). Aunque el interés se ha enfocado en determinar las especies adecuadas y en las procedencias más productivas, es indispensable identificar las mejores familias e individuos de cada especie (Hernández-Hernández *et al.*, 2019). Sin embargo, realizar ensayos en varias localidades, con sus respectivos ambientes particulares, genera una interacción genotipo-ambiente, *i.e.*, un comportamiento diferencial entre las progenies de diferentes árboles (Hernández-Hernández *et al.*, 2019).

Las bases del mejoramiento genético de *P. pseudostrobus* Lindl. y otras especies comerciales han comenzado a cimentarse en el estado de Oaxaca, México, donde la comunidad de Ixtlán de Juárez, perteneciente a la Sierra Norte del estado, ha desarrollado trabajos de selección de fenotipos superiores de diferentes procedencias y familias al interior de sus rodales naturales, los cuales generarán ganancias genéticas notables (Castellanos-Acuña *et al.*, 2013). En 2013 se realizó un ensayo que evaluó el crecimiento inicial en vivero de progenies de *P. pseudostrobus* Lindl. obtenidas de fenotipos selectos de rodales naturales de la comunidad (Villegas-Jiménez *et al.*, 2016). Este estudio reporta las condiciones de dicho ensayo a siete años de su establecimiento (año 2020).

El objetivo fue evaluar el crecimiento y la evolución inicial en familias de árboles selectos de *P. pseudostrobus* Lindl., además de características cualitativas que determinan la calidad comercial del arbolado. Se planteó la hipótesis de que, a siete años de establecida la plantación, al menos una progenie obtendrá un incremento medio anual del 30 % en volumen con respecto al testigo genético.

MATERIALES Y MÉTODOS

Antecedentes del área de estudio

De octubre de 2012 a enero de 2013 se recolectaron semillas de 40 fenotipos superiores de *P. pseudostrobus* Lindl., a altitudes de 2440 y 2960 m en rodales naturales de la comunidad. Las semillas de cada progenitor (familia) fueron sembradas en el mes de febrero de 2013 en el vivero forestal de Ixtlán, Oaxaca (17° 20' LN y 96° 29' LO), a una altitud de 2030 m.

El ensayo de progenies se estableció el 1 de octubre de 2013 (a ocho meses de edad), con una distancia entre plantas de 2 m. Se utilizó un diseño experimental de seis bloques completamente aleatorizados, incluyendo

en cada uno las 40 familias evaluadas. Como unidad experimental, se utilizaron 18 plantas por familia y un total de 120 plantas por bloque. El ensayo fue rodeado por una línea de plantas como borde de protección y se encuentra en los rodales naturales de la comunidad de Ixtlán, en las coordenadas 17°36' LN, 96°45' LO, a una altitud de 2753 m (Villegas-Jiménez *et al.*, 2016).

Inventario dasométrico del ensayo

Se evaluaron variables cuantitativas como el diámetro a la altura del pecho (DAP, cm), el diámetro de tocón (DT, cm), el diámetro de la base (DB, cm), la altura de fuste limpio (AFL, m), la altura total (AT, m), el diámetro de la copa (DC, m) y la distancia a los cuatro árboles vecinos más cercanos (m). En las mediciones se empleó cinta diamétrica (Forestry Suppliers Inc.), un estadal topográfico telescópico de aluminio (Geosrv, 5 m) y un flexómetro (Truper de 8 m). El DC se midió en las direcciones N-S y E-O para obtener el área de la copa: $AC (m^2) = \pi/4(DC)^2$. La densidad (árboles.ha⁻¹) se obtuvo mediante el cociente 10 000/distancia promedio al vecino más cercano (Ledo *et al.*, 2012). El área basal (AB, m²) se calculó mediante el producto entre $\pi/4(DAP)^2$ y el volumen (V) rollo total del árbol, utilizando el modelo para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de la Unidad de Manejo Forestal 2001 (UMAFOR 2001), según se muestra en la Ecuación (1) (Vargas-Larreta *et al.*, 2017):

$$V = 0.0000484 \times DAP^{1.9098935} \times AT^{0.9957073} + 0.0000377 \times DAP^2 \quad (1)$$

Donde:

V = volumen rollo total árbol (m³)

DAP = diámetro a la altura del pecho (cm)

AT = altura total (m)

Además, se calculó el incremento medio anual (IMA) para V, AB, DAP y AT mediante el cociente entre el valor de cada variable y la edad (7 años).

Se evaluaron variables cualitativas de acuerdo con Muñoz *et al.* (2013), incluyendo a) la rectitud del fuste de todos los árboles. Para determinar esta variable, se realizó una observación desde el pie del árbol hasta la punta en las cuatro caras (N, S, E y O). Se asignaron cero puntos para fustes torcidos, curvos o pandos y cinco puntos para fustes rectos. b) El ángulo de las ramas se evaluó visualmente en todos los árboles; al árbol que presentaba un ángulo de ramas cercano a 90° con respecto al fuste se le asignaban de uno a dos puntos, y a un ángulo $\leq 45^\circ$ se le asignaban cero puntos. Para c) la forma y el sesgo de la copa se consideraron la conformación, la densidad del follaje, la dominancia y el radio de la copa. Estas características se evaluaron subjetivamente; se asignaban de cero a cinco puntos dependiendo de la superioridad de cada árbol. También se evaluaron d) la posición sociológica de las copas y e) la presencia de fustes bifurcados.

Manejo y análisis de datos

Los datos dasométricos se transformaron a $e\sqrt{x+1}$ para verificar ($\alpha=0.05$) la normalidad (Shapiro-Wilks) y la homogeneidad de varianzas (Bartlett). Se realizó un análisis de varianza y una prueba de medias (Duncan, 0.05). Para las variables cualitativas se realizó un análisis de varianza no paramétrico mediante la prueba de Kruskal-Wallis para diferenciar familias ($\alpha = 0.05$). Todos los análisis se efectuaron en el Sistema de Análisis Estadístico (SAS Institute, 2022).

RESULTADOS

Variables de crecimiento

Las familias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. mostraron diferencias altamente significativas en casi todas las variables evaluadas ($p \leq 0.01$) excepto en altura de fuste limpio, donde las familias fueron estadísticamente iguales ($p > 0.05$) (Tabla 1).

Los valores del coeficiente de variación (CV) indicaron que el AC y el IMA para el V tienen un carácter altamente variable ($CV > 65\%$), seguidos del diámetro a la altura del pecho (29 %), el DT (28 %), el IMA del área basal y el DB (27 %). Por otro lado, el V y el AB ($CV < 1\%$) presentaron caracteres homogéneos.

Para el DAP se encontró una proporción con el mismo número de familias por encima del testigo genético (T), siendo árboles como 15, 52A y 28 los de valores más altos (10.46, 10.32 y 10.30 cm respectivamente) (Figura 1A). Asimismo, para la altura total, las familias 2 (7.36 m), 16 (7.15 m) y 52A (7.10 m) presentaron alturas por encima del T (Figura 1B).

Tabla 1. Resumen del análisis de varianza de variables dasométricas de familias selectas de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

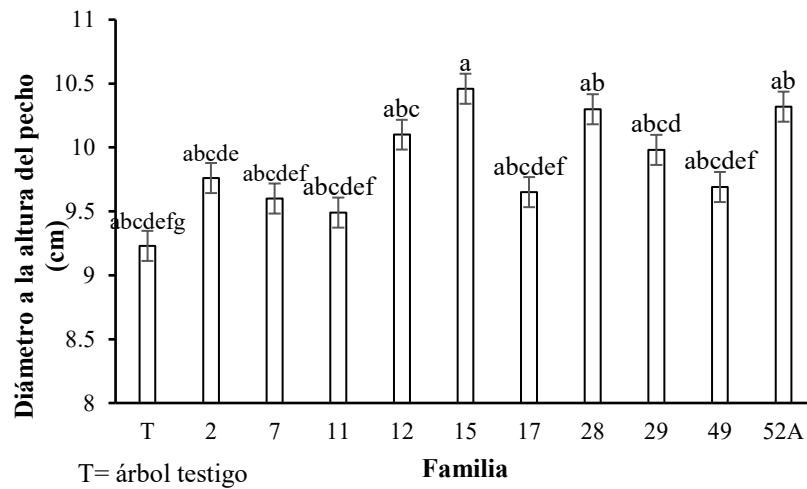
Variable	Familia	Bloque	Error	CV (%)
Diámetro de la base	320.58**	1 096.39**	120.6	27.20
Diámetro del tocón	219.13**	814.08**	84.52	28.25
Diámetro a la altura del pecho	120.36**	73.51 ns	50.13	29.18
Altura del fuste limpio	0.19 ns	1.34**	0.22	10.72
Altura total	19.98**	141.39**	7.5	17.62
Área de la copa	1 467.35**	9 632.85**	694.41	65.88
Volumen	0.00063**	0.00059**	0.00024	0.56
Área basal	0.0000306**	0.0000178 ns	0.00001283	0.13
IMA del volumen	962.62**	2 349.87**	438.18	81.95
IMA del área basal	6.73**	5.43 ns	2.76	27.55
IMA del diámetro a la altura del pecho	0.41**	0.21 ns	0.17	9.16
IMA de la altura total	0.10**	0.73**	0.04	5.09
Longitud de copa	13.91**	95.58**	5.28	18.71

IMA = incremento medio anual, CV = coeficiente de variación, ** = altamente significativo ($p \leq 0.01$), * = significativo ($p \leq 0.05$), ns = no significativo ($p > 0.05$). Todas las variables se transformaron a $e\sqrt{x+1}$.

El crecimiento diamétrico de la familia 15 fue un 40.8 % mayor ($p \leq 0.01$) al de la familia 25 (7.43 cm), que mostró el peor desempeño en esta variable. Es importante destacar que la familia 15 no se separó ($p > 0.05$) del T ni de las mejores familias (Figura 1A), lo que indica la calidad de la selección de fenotipos. La familia del árbol 2 presentó una altura de 7.36 m, lo cual se tradujo en un incremento en altura del 11.7 % respecto al T (6.59 m), así como en un mayor número de individuos dominantes que el resto de las familias (Figura 1B).

En AC, solo ocho familias estuvieron por encima del testigo. La familia 52A presentó 14.65 m², reflejo de su dominancia a siete años de establecido el ensayo. Por otro lado, en V y AB, la mejor familia fue la 15, con 0.03 m³.árbol⁻¹ y 0.008 m².árbol⁻¹, en contraste con el T (0.02 m³.árbol⁻¹ y 0.006 m².árbol⁻¹) (Tabla 2). Esto representa más del 33 % de ganancias genéticas respecto al T.

A)



B)

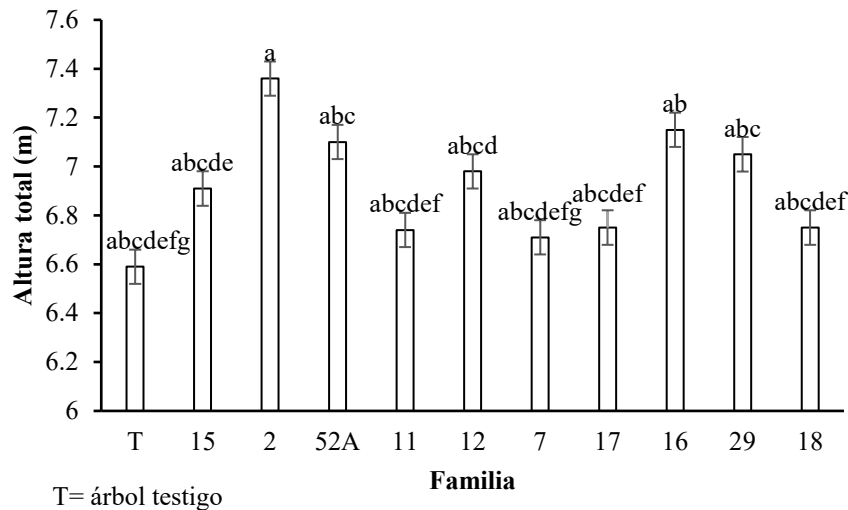


Figura 1. Crecimiento en a) diámetro a la altura del pecho y b) altura de las mejores familias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Las líneas verticales sobre las barras indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05).

En cuanto al IMA para el V (Figura 2), el AB y el diámetro a la altura del pecho (Tabla 2), la familia 15 presentó los valores más altos, con $12.41 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, $3.14 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ y $1.49 \text{ cm} \cdot \text{año}^{-1}$ respectivamente.

Respecto al IMA de la altura total, la familia 2 presentó valores más altos, con $1.05 \text{ m} \cdot \text{año}^{-1}$ (Tabla 2). De igual manera, las familias 52A, 29 y 7 estuvieron por encima del T en estas variables. Las familias 15 y 52A presentaron el mayor valor por encima del testigo para todas las variables evaluadas, *i.e.*, reportaron un mayor crecimiento e incremento diferencial.

A siete años de establecido el ensayo, se observó un crecimiento diferencial en el IMA del V entre familias. La familia 15 mostró un incremento del $12.41 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ a los siete años de edad, una ganancia del 52.3 % con respecto al T, seguida de las familias 52A (40.6 %), 29 (39 %) y 2 (31.7 %) (Figura 2). Por otro lado, el IMA del volumen presentó una estrecha relación con las variables DAP y AT. En este contexto, la familia 52A presentó los mayores incrementos en las tres variables evaluadas, *i.e.*, es la familia que sobresale en cuanto a velocidad de crecimiento promedio.

Tabla 2. Características de las mejores familias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. respecto al T

F	Volumen ($\text{m}^3 \cdot \text{árbol}^{-1}$)	Área basal ($\text{m}^2 \cdot \text{árbol}^{-1}$)	IMA del área basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$)	IMA del diámetro a la altura del pecho ($\text{cm} \cdot \text{año}^{-1}$)	IMA de la altura total ($\text{m} \cdot \text{año}^{-1}$)
28	0.03 ± 0.002 ab	0.008 ± 0.0005 abc	2.66 ± 0.26 abcd	1.47 ± 0.04 ab	0.95 ± 0.03 abcdefg
15	0.03 ± 0.002 a	0.008 ± 0.0006 a	3.14 ± 0.25 a	1.49 ± 0.05 a	0.98 ± 0.02 abcde
2	0.03 ± 0.003 abc	0.007 ± 0.0005 abcde	2.51 ± 0.23 abcde	1.39 ± 0.05 abcde	1.05 ± 0.03 a
52A	0.03 ± 0.002 a	0.008 ± 0.0006 ab	2.79 ± 0.25 ab	1.47 ± 0.05 ab	1.01 ± 0.03 abc
11	0.02 ± 0.002 abcde	0.007 ± 0.0006 abcdef	2.47 ± 0.25 abcde	1.35 ± 0.06 abcdef	0.96 ± 0.03 abcdef
12	0.03 ± 0.002 abc	0.008 ± 0.0003 abcd	2.58 ± 0.15 abcde	1.44 ± 0.03 abc	0.99 ± 0.03 abcd
49	0.02 ± 0.002 abcde	0.007 ± 0.0006 abcdef	2.36 ± 0.25 bcdef	1.38 ± 0.06 abcdef	0.93 ± 0.02 abcdefgh
7	0.02 ± 0.003 abcd	0.007 ± 0.0008 abcde	2.67 ± 0.30 abc	1.37 ± 0.08 abcdef	0.95 ± 0.03 abcdefg
17	0.02 ± 0.002 abcde	0.007 ± 0.0004 abcdefg	2.18 ± 0.181 bcdefgh	1.37 ± 0.04 abcdef	0.96 ± 0.03 abcdef
16	0.02 ± 0.001 abcdef	0.006 ± 0.0003 bcdefgh	2.15 ± 0.14 bcdefgh	1.30 ± 0.03 abcdefg	1.02 ± 0.02 ab
29	0.03 ± 0.003 abc	0.008 ± 0.0006 abcd	2.78 ± 0.23 ab	1.42 ± 0.06 abcd	1 ± 0.03 abc
1	0.02 ± 0.002 abcdef	0.007 ± 0.0006 abcdefg	2.17 ± 0.18 bcdefgh	1.32 ± 0.07 abcdef	0.94 ± 0.02 abcdefg
6	0.02 ± 0.002 abcdef	0.006 ± 0.0006 bcdefgh	2.23 ± 0.22 bcdefgh	1.27 ± 0.06 abcdefgh	0.95 ± 0.03 abcdefg
19	0.02 ± 0.002 abcdef	0.007 ± 0.0005 abcdefg	2.59 ± 0.17 abcde	1.35 ± 0.04 abcdef	0.92 ± 0.02 bcdefgh
34	0.02 ± 0.003 abcdef	0.006 ± 0.0008 abcdefgh	2.18 ± 0.32 bcdefgh	1.27 ± 0.08 abcdefgh	0.93 ± 0.03 abcdefgh
T	0.02 ± 0.002 abcdef	0.006 ± 0.0005 abcdefgh	2.14 ± 0.16 bcdefgh	1.31 ± 0.04 abcdefg	0.94 ± 0.02 abcdefg

F= familia, IMA= incremento medio anual, T = testigo. Letras distintas en la misma columna representan diferencias significativas (Duncan, 0.05). La media se incluye \pm el error estándar.

Variables de calidad del arbolado

Se encontraron diferencias significativas entre familias ($p < 0.05$) para las variables cualitativas, excepto la forma y el sesgo de la copa y la rectitud del fuste, las cuales mostraron un comportamiento uniforme, con copas más regulares y vigorosas (Tabla 3). De igual manera, los valores del coeficiente de variación para la bifurcación son de carácter altamente variable ($CV > 150\%$), seguidos de los del ángulo de las ramas ($CV = 45.7\%$). Por otro lado, la forma y el sesgo de la copa presentaron menor heterogeneidad ($CV = 14.7\%$) (Tabla 3).

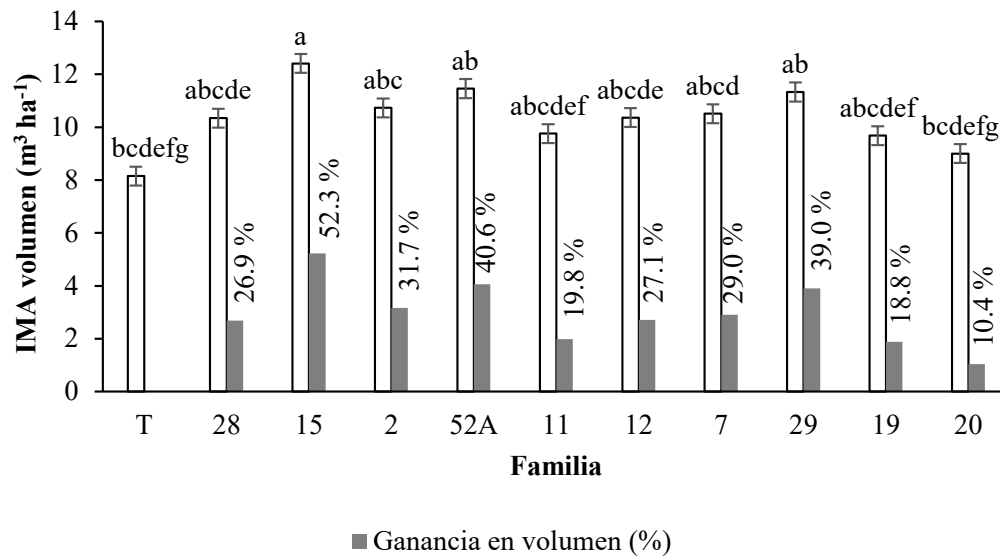


Figura 2. Incremento medio anual (IMA) por familia de *Pinus pseudostrobus* Lindl. a siete años de establecidas.

T = testigo. Las líneas verticales sobre las barras indican el error estándar.

Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05).

Tabla 3. Comportamiento de variables cualitativas de fenotipos selectos de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Variable	Media	Error	CV (%)
Rectitud del fuste	0.623 ^{ns}	0.557	16.5
Ángulo de la rama	0.784 ^{**}	0.386	45.7
Forma y sesgo de la copa	0.416 ^{ns}	0.449	14.7
Posición sociológica	0.754 ^{**}	0.372	39.6
Bifurcación	1.226 [*]	0.817	154.3

CV = coeficiente de variación, ** = altamente significativo ($p \leq 0.01$), * = significativo ($p \leq 0.05$), ns = no significativo ($p > 0.05$); prueba de Kruskal-Wallis: $\alpha = 0.05$

DISCUSIÓN

Variables de crecimiento

Los incrementos en los árboles, principalmente en términos de altura, DC, diámetro a la altura del pecho y número de bifurcaciones, son diferentes entre familias ($p \leq 0.01$), similar a lo reportado por [Hernández-Hernández et al. \(2019\)](#) para el DB, el DC y el número de bifurcaciones en las localidades de Valdeflores y Pinotepa de Don Luis, Oaxaca. Por otro lado, [Velázquez-Castro et al. \(2021\)](#) encontraron un efecto significativo en la interacción entre la fertilización y las familias para el DB en un ensayo de progenies de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. de cuatro años en el ejido Peñuelas Pueblo Nuevo, Chignahuapan, Puebla, lo cual no se observó en la altura del fuste limpio, similar a lo reportado por [Gutiérrez et al. \(2012\)](#), quienes encontraron igualdad estadística entre altura y familia en procedencias de *Pinus greggii* Engelm. de dos años en Villa Aldama, Veracruz, México.

Algo importante que ocurrió en el diseño experimental fue la diferenciación de los bloques (repeticiones dentro de familias) ($p \leq 0.01$), similar a lo reportado por [Salaya-Domínguez et al. \(2012\)](#), quienes encontraron diferencias significativas en las variables de crecimiento para los factores grupo y familia en dos ensayos de progenie de *Pinus patula* de cinco y seis años en los estados de Hidalgo, Veracruz y Puebla.

El AC y el IMA del V tienen un carácter altamente variable, *i.e.*, la mayor heterogeneidad entre familias se debió a la densidad del ensayo. [Cambrón-Sandoval et al. \(2014\)](#) reportan que el factor de mayor impacto es la reducción del espacio, por lo cual, en un ensayo de *Pinus pseudostrobus* en tres ambientes de competencia en jardín común, se observaron valores más elevados para los individuos dentro del ambiente de crecimiento libre.

El crecimiento en altura y diámetro aumentan en los primeros años de la plantación. [Barrera et al. \(2018\)](#) concuerdan con que las condiciones meteorológicas de la localidad en la fecha de la plantación favorecen el desarrollo de *Pinus pseudostrobus*, principalmente en términos de altura y diámetro. Asimismo, [Graciano-Ávila et al. \(2017\)](#) reportaron un crecimiento acelerado durante los primeros años de la plantación de estudio. [Quiñonez et al. \(2015\)](#) y [Ramos et al. \(2017\)](#) encontraron que, a lo largo de los diez primeros años, se logra el incremento máximo de la altura dominante, en correlación con la densidad de la parcela.

El DAP es un carácter de respuesta en los primeros años en campo. En este aspecto, la familia 15 se destacó con un mayor número de árboles cuyo DAP estaba por encima de la media, similar a lo reportado por [Gutiérrez et al. \(2012\)](#), quienes encontraron seis familias con el 50 % de sus árboles por encima del promedio general en un ensayo de progenie de *Pinus greggii* Engelm. establecido en Veracruz, México. Según [Castellanos-Acuña et al. \(2013\)](#), las poblaciones originales de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus devoiana* Lindl. no muestran diferencias significativas en vivero a lo largo de un gradiente altitudinal. Sin embargo, en edades posteriores sí muestran diferencias significativas en sus variables de crecimiento y características de resistencia. Por otro lado, [Alba-Landa et al. \(2016\)](#) reportaron que las condiciones climáticas sí tienen efecto en el crecimiento temprano y la adaptabilidad en campo de *Pinus greggii*. Por lo anterior, lo reportado por la familia 15, cuyo incremento del DAP superó en un 13.3 % al T de este experimento, pudo deberse a una buena selección de fenotipos para la colecta de germoplasma y a la buena adaptabilidad de las plántulas a las condiciones ambientales del sitio de plantación.

En la fase de vivero y establecimiento en campo del ensayo evaluado, [Villegas-Jiménez et al. \(2016\)](#) reportaron que la familia 2 presentó mayor velocidad en altura con respecto a las demás, coincidiendo con los resultados de este trabajo a siete años del establecimiento. Esta familia presentó alturas de 7.36 m, una relación cercana con la dominancia y un incremento de más del 10 % con respecto al T. Este incremento en altura puede predecir la capacidad de la planta para competir en campo contra otras especies herbáceas y arbustivas ([Chávez-García et al., 2022](#)).

Se observó gran variación entre familias en el incremento en V, lo que pudo deberse a una mejor adaptación por parte de algunas familias en las condiciones del sitio de plantación. Al evaluar el crecimiento y el rendimiento maderable en plantaciones de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen en Tlatlauquitepec, México, [Fierros-Mateo et al. \(2017\)](#) encontraron un potencial productivo evidente, pues estaban tratando con plantaciones jóvenes, de las que se esperan turnos absolutos en tiempos cortos, si bien esto también es variable, pues depende de la calidad del sitio. Por su parte, [Santiago-García et al. \(2015\)](#) sugieren que, para *Pinus pseudostrobus* Lindl., la edad óptima de cosecha maximiza el IMA del V, ocurre alrededor de los 20 años. Por tanto, se puede inferir que, bajo las condiciones del sitio de plantación, la familia 52A podría alcanzar ese máximo.

Variables de calidad del arbolado

Las familias evidenciaron gran variabilidad en las características de calidad de los individuos. Se han registrado diferencias entre árboles, regiones, procedencias y sus interacciones para *Pinus pseudostrobus*, lo que indica que están influenciados por el ambiente, además de una probable diferenciación genética inter-poblacional, lo que dificulta la separación entre el efecto ambiental y el genético ([Aragón et al., 2020](#)). Por el contrario, [Domínguez et al. \(2016\)](#), al evaluar la producción de conos y semillas en *Pinus pseudostrobus*, y [Reyes-Esteves et al. \(2021\)](#), al evaluar los parámetros genéticos de un ensayo de progenies de *Pinus greggii*, encontraron una fuerte competencia por cobertura con copas más regulares y vigorosas, pero sin relación con el número de semillas por árbol y su viabilidad, *i.e.*, entre más frondosas sean las copas de los árboles, el número de semillas por árbol y su viabilidad serán menores, y su crecimiento en altura será lento. Asimismo, [Domínguez et al. \(2016\)](#) mencionan que estos árboles dedican parte de su energía al mantenimiento de su follaje y ramas, y poca energía al crecimiento y la producción de conos y semillas. De igual manera, los árboles con copas poco frondosas no producen la suficiente energía a través de la fotosíntesis para la producción de semillas.

La bifurcación presentó un carácter altamente variable. Esto pudo deberse a que, al momento de establecer el ensayo en campo, se colocaron etiquetas metálicas de identificación en cada una de las plántulas ([Villegas-Jiménez et al. 2016](#)). Por lo anterior, se piensa que, con el paso del tiempo y el olvido del ensayo, estas etiquetas metálicas dañaron las yemas apicales de las plántulas.

La forma y el sesgo de la copa presentan menor heterogeneidad, *i.e.*, una mayor similitud de copas entre familias. Por el contrario, [Muñoz et al. \(2011b\)](#) y [Muñoz et al. \(2013\)](#) mencionan que las diferencias de copas dependen de las condiciones de densidad en las que se encuentra el ensayo.

CONCLUSIONES

El crecimiento inicial a siete años del establecimiento del ensayo de progenies superiores de *Pinus pseudostrobus* permite una diferenciación entre familias con respecto al testigo genético; los bloques establecidos permitieron una reducción del error experimental. La familia 15 presentó el mayor incremento medio anual en volumen ($12.41 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), generando un diferencial de 52.3 % con respecto al testigo genético. Incluir variables cualitativas que definen la calidad morfológica de los árboles permite percibir que la dominancia de copas, el ángulo de inserción de las ramas y la bifurcación tienen caracteres heterogéneos. De esta forma, se corrobora la hipótesis de este estudio, haciendo promisoría la selección de fenotipos superiores y la evaluación de las familias bajo las mismas condiciones naturales de distribución. Por lo anterior, se recomienda seguir evaluando el crecimiento del ensayo y utilizar el germoplasma de estos árboles para posteriores plantaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la comunidad y al técnico forestal de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, por facilitar los medios para el levantamiento de datos en campo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de interés en relación con el documento y están de acuerdo con su publicación.

CONTRIBUCIÓN POR AUTOR

M. M. C.-M. y M. E. R.-V. llevaron a cabo el levantamiento de información de campo, el análisis estadístico y la redacción del manuscrito. G. R.-O. formuló la idea de investigación, realizó el análisis estadístico y revisó el manuscrito. D. M.-S. revisó el manuscrito y realizó aportes propios a su versión final. Todos los autores contribuyeron a la discusión y revisión de los borradores.

REFERENCIAS

Alba-Landa, J., Mendizábal-Hernández, L. del C., Ramírez-García, E. O., Márquez, R. J., & Cruz-Jiménez, H. (2016). Establecimiento y evaluación temprana de una prueba de procedencias/progenie de *Pinus greggii* Engelm. en el Progreso, Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 18(1), 45-54.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49746888005>

- Aragón-Peralta, R. D., Rodríguez-Ortiz, G., Vargas-Hernández, J. J., Enríquez-del Valle, J. R., Hernández-Hernández, A., & Campos-Ángeles, G. V. (2020). Selección fenotípica y características reproductivas de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov) S. G. Harrison. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59), 118-140.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.700>
- Barrera-Ramírez, R., López-Aguillón, R., & Muñoz-Flores, H. J. (2018). Supervivencia y crecimiento de *Pinus pseudostrobus* Lindl., y *Pinus montezumae* Lamb. en diferentes fechas de plantación. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 323-341.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.245>
- Cambrón-Sandoval, V. H., Suzán-Azpíri, H., Sáenz, C. C., & Sánchez-Vargas, N. M. (2014). Desarrollo de *Pinus pseudostrobus* bajo distintos ambientes de crecimiento en jardín común. *Madera y Bosques*, 20(1), 45-57.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v20n1/v20n1a5.pdf>
- Castellanos-Acuña, D., Sáenz-Romero, C., Linding-Cisneros, R. A., Sánchez-Vargas, N. M., Lobbit, P., & Montero-Castro, J. C. (2013). Variación altitudinal entre especies y procedencias de *Pinus pseudostrobus*, *P. devoniana* y *P. leiophylla*. ensayo de vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(3), 399-411.
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.01.002>
- Chávez-García, A. S., Hernández-Ramos, J., Muñoz-Flores, H. J., García-Magaña, J. J., Gómez-Cardenas, M., & Gutiérrez-Contreras, M. (2022). Plasticidad fenotípica de progenies de árboles de *Pinus pseudostrobus* Lindl. superiores en producción de resina en vivero. *Madera y Bosques*, 28(1), e2812381.
<https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812381>
- Domínguez-Calleros, P. A., Navar-Chaidez, J. J., Pompa-García, M., & Treviño-Garza, E. J. (2016). Producción de conos y semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Nuevo León, México. *Foresta Veracruzana*, 18(2), 29-36.
<https://www.redalyc.org/journal/497/49748829004/html/>
- Fierros-Mateo, R., de los Santos-Posadas, H. M., Fierros-González, M. A., & Cruz-Cobos, F. (2017). Crecimiento y rendimiento maderable en plantaciones de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. *Agrociencia*, 51, 201-214.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n2/1405-3195-agro-51-02-00201-en.pdf>
- Graciano-Ávila, G., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, Ó. A., González-Tagle, M. A., Treviño-Garza, E. J., & Mora-Olivo, A. (2017). Caracterización estructural del arbolado en un ejido forestal del noreste de México. *Madera y Bosques*, 23(3), 137-146.
<https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331480>
- Gutiérrez, V. M., Mendizábal-Hernández, L. L., Alba-Landa, J., Márquez, R. J., & Cruz-Jiménez, H. (2012). Evaluación de una prueba de procedencias/progenie de *Pinus greggii* Engelm. establecida en Villa Aldama, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 14(2), 25-30.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49728290004>

- Hernández-Hernández, M. L., Velasco-García, M. V., López-Upton, J., Galán-Larrea, R., Ramírez-Herrera, C., & Viveros-Viveros, H. (2019). Crecimiento y supervivencia de procedencias de *Enterolobium cyclocarpum* en la costa de Oaxaca, México. *Bosque*, 40(2), 173-183.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002019000200173>
- Ledo, A., Condés, S., & Montes, F. (2012). Revisión de índices de distribución espacial usados en inventarios forestales y su aplicación en bosques tropicales. *Revista Peruana de Biología*, 19(1), 113-124.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v19n1/a17v19n1>
- Morales-González, E., López-Upton, J., Vargas-Hernández, J. J., Ramírez-Herrera, C., & Gil-Muñoz, A. (2013). Parámetros genéticos de *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36, 155-162.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36n2/v36n2a8.pdf>
- Muñoz-Flores, H. J., Orozco-Gutierrez, G., Coria-Avalos, V. M., García-Sánchez, J. J., Muñoz-Vega, Y. Y., & Cruz, G. S. (2011a). Evaluación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus greggii* Engelm. con dos densidades de plantación en Michoacán, México. *Foresta Veracruzana*, 13(1), 29-35.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49719786005>
- Muñoz-Flores, H. J., Orozco-Gutierrez, G., Coria-Avalos, V. M., Muñoz-Vega, Y. Y., & García-Magaña, J. (2011b). Manejo de un área semillera de *Pinus pseudostrobus* Lind. Y *Abies religiosa* (H. B. K.) Schltdl. et Cham. y selección de árboles superiores en Michoacán, México. *Foresta Veracruzana*, 13(2), 29-36.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49721457005>
- Muñoz-Flores, H. J., Prieto-Ruiz, J. Á., Flores-García, A., Pineda-Ojeda, T., & Morales-González, E. (2013). Selección de árboles superiores del género *Pinus*. *Folleto técnico*.
https://www.researchgate.net/publication/325578946_Seleccion_de_arboles_superiores_del_genero_pinus
- Parra-Santiago, G., Cruz-Jiménez, H., Márquez-Ramírez, J., Aparicio-Rentería, A., & Pedraza-Pérez, R. A. (2016). Producción de semillas de *Pinus patula* Schl. et Cham. en una prueba de progenie de nueve años en Tlacolulan, Veracruz. *Foresta Veracruzana*, 18(2), 11 p.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49748829006>
- Pastrana-Vargas, I. J., Espítia-Camacho, M., & Murillo-Gamboa, O. (2012). Evaluación del potencial de mejoramiento genético en el crecimiento en altura de *Acacia mangium* Willd. *Acta Agronómica*, 61(2), 143-150.
- Quiñonez-Barraza, G., de los Santos-Posadas, H. M., Cruz-Cobos, F., Velázquez-Martínez, A., Ángeles-Pérez, G., & Ramírez-Valverde, G. (2015). Índice de sitio con polimorfismo complejo para masas forestales de Durango, México. *Agrociencia*, 49(4), 439-454.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v49n4/v49n4a7.pdf>

- Ramírez-García, E. O., Sánchez-Reyes, J. C., Márquez-Ramírez, J., & Cruz-Jiménez, H.** (2013). Características de estructuras reproductivas en progenitores seleccionados de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Foresta Veracruzana*, 15(1), 37-44.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49728291005>
- Ramos-Reyes, J. C., Treviño-Garza, E. J., Buendía-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O. A., & López-Martínez, J. I.** (2017). Productividad y estructura vertical de un bosque templado con incidencia de incendios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(43), 64-88.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i43.66>
- Reyes-Esteves, G. I., López-Upton, J., Velasco-García, M. V., & Jiménez-Casas, M.** (2021). Genetic parameters of a progeny trial of *Pinus greggii* Engelmann ex Parlatores var. *australis* Donahue & López in the Mixteca Alta of Oaxaca, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 28(1), 75-88.
<http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.10.067>
- Salaya-Domínguez, J. M., López-Upton, J., & Vargas-Hernández, J. J.** (2012). Variación genética y ambiental en dos ensayos de progenie de *Pinus patula*. *Agrociencia*, 46, 519-534.
<https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/973>
- Santiago-García, W., de los Santos-Posadas, H. M., Ángeles-Pérez, G., Valdez-Lazalde, J. R., Corral-Rivas, J. J., Rodríguez-Ortiz, G., & Santiago-García, E.** (2015). Modelos de crecimiento y rendimiento de totalidad del rodal para *Pinus patula*. *Madera y Bosques*, 21(3), 95-110.
<https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/459>
- SAS Institute** (2022). The SAS system for Windows user's guide. Release 9.4 SAS Institute. Cary, NC. USA. Disponible en <https://support.sas.com/en/documentation/install-center/94/installation-guide-for-windows.html>
- Vargas-Larreta, B., Corral-Rivas, J. J., Aguirre-Calderón, O. A., López-Martínez, J. O., Santos-Posadas, H. M., Zamudio-Sánchez, F. J., Treviño-Garza, E. J., Martínez-Salvador, M., & Aguirre-Calderón, C. G.** (2017). SiBiFor: Forest biometric system for forest management in Mexico. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(3), 437-455.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62952582003>
- Velázquez-Castro, I. J., Aldrete, A., López-Upton, J., López-López, M. Á., & Etchevers-Barra, J. D.** (2021). Fertilization of two genetic groups of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. in a four-year progeny trial. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 28(1), 21-36.
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.08.049>
- Villegas-Jiménez, D. E., Rodríguez-Ortiz, G., Chávez-Servia, J. L., Enríquez-Del-Valle, J. R., & Carrillo-Rodríguez, J. C.** (2016). Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Gayana Botánica*, 73(1), 113-123.
<https://gayanabotanica.cl/index.php/gb/article/view/335>

Zapata-Valenzuela, J., & Hasbun, Z. R. (2011). Mejoramiento genético forestal acelerado mediante selección genómica. *Bosque*, 32(3), 209-213.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002011000300001>

