



Plasticidad fenotípica de progenies de árboles de *Pinus pseudostrobus* Lindl. superiores en producción de resina en vivero

Phenotypic plasticity of tree progenies of *Pinus pseudostrobus* Lindl. superiors in resin production in nursery

Alicia Sagrario Chávez-García¹, Jonathan Hernández-Ramos^{2*}, Hipólito Jesús Muñoz-Flores³, J. Jesús García-Magaña¹, Martín Gómez-Cardenas³ y Maribel Gutiérrez-Contreras¹

¹ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez". Uruapan, Michoacán, México.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Chetumal. Othón P. Blanco, Quintana Roo, México.

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias -Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México.

* Autor de correspondencia.
forestjonathanhdez@gmail.com

RESUMEN

La plasticidad es la variabilidad fenotípica de una especie sin alteración genética y este estudio tuvo como objetivos: *i*) evaluar en planta de vivero variables morfométricas de familias selectas de árboles de *Pinus pseudostrobus* superiores en producción de resina; *ii*) determinar el índice de plasticidad fenotípica y coeficiente de variación de variables morfológicas; y *iii*) correlacionar las variables morfométricas, biomasa e índices de calidad con su plasticidad promedio. Para este fin, en áreas productoras de resina en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, el intervalo altitudinal de 2500 m a 2800 m s.n.m. se dividió en tres gradientes donde se seleccionaron 27 árboles superiores y se recolectó semilla para propagar 405 plantas en vivero. Bajo un diseño experimental de bloques incompletos de tipo *a*-Lattice, se analizaron las variables diámetro basal, altura total, biomasa área y biomasa radicular; además, se calcularon y correlacionaron los índices de calidad de Dickson, esbeltez, lignificación, plasticidad y relación de biomasa. Se detectaron diferencias entre las variables morfométricas entre las familias de medios hermanos. El gradiente medio mostró la mejor calidad de planta y plasticidad, mientras que en los gradientes extremos las plantas tienen menores características de adaptación. La correlación indica una asociación positiva entre la plasticidad y el diámetro basal que es un indicador indirecto de lignificación. La caracterización de cada familia es una herramienta indirecta para la selección de germoplasma que muestra las diferencias en adaptación y constitución genética de los progenitores.

PALABRAS CLAVE: fenotipo, genotipo, germoplasma, hábitat, heredabilidad, índice de Dickson.

ABSTRACT

Plasticity is the phenotypic variability of a species without genetic alteration. The objectives of the study were: *i*) to evaluate morphometric variables in nursery plants of selected families of *Pinus pseudostrobus* superior trees in resin production; *ii*) determine the phenotypic plasticity index and the coefficient of variation of morphological variables; and *iii*) correlate the morphometric variables biomass and quality indices with their average plasticity. In resin-producing areas in the Indigenous Community of Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacan, the altitudinal range (2500 m to 2800 m a.s.l.) was divided into three gradients where 27 superior trees were selected, and seed was collected to propagate 405 plants in a nursery. The variables basal diameter, total height, and aerial and root biomass were analyzed under an experimental design of incomplete blocks of the *a*-Lattice type; furthermore, Dickson quality index, slenderness, lignification, plasticity, and biomass ratio were calculated and correlated. Differences between the morphometric variables in the half-sib families were detected. The middle gradient showed the best plant quality and plasticity, while in the extreme gradients, plants have less adaptation characteristics. The correlation indicates a positive association between plasticity and basal diameter, which is an indirect indicator of lignification. The characterization of each family is an indirect tool for the selection of germplasm that shows the differences in adaptation and genetic constitution of progenitors.

KEYWORDS: phenotype, genotype, germplasm, habitat, heritability, Dickson quality index.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad fenotípica es el conjunto de características visibles en una especie como resultado de la interacción entre su construcción genética y el ambiente (Pedroso et al., 2010). Se denomina plasticidad fenotípica a la variación en las formas, dimensiones o características de una planta con respecto a otra de la misma especie sin existir alteraciones genéticas (Falconer, 1989; Pedroso et al., 2010). Los cambios epigenéticos heredables son los responsables de que un mismo genotipo tenga una respuesta fenotípica alternativa en distintas condiciones de crecimiento, evolución y herencia (Schlichting y Levin, 1986; Parejo-Farnés et al., 2019).

La plasticidad fenotípica de las especies es fundamental en los procesos de adaptación, supervivencia, desarrollo, reproducción y evolución en ecosistemas cambiantes (Hernández et al., 2008; Parejo-Farnés et al., 2019), además, propicia que las especies generen rasgos de baja heredabilidad como respuesta a la demanda específica del hábitat y el ambiente (Mal y Lovett-Doust, 2005; Pedroso et al., 2010).

La determinación del índice de plasticidad fenotípica (IPF) en las especies es útil para evaluar la tolerancia a los cambios ambientales (Levin, 2009; Pedroso et al., 2010), caracterizar la variabilidad fenotípica dentro de poblaciones (Hernández et al., 2008), y para precisar la dinámica en las dimensiones morfométricas de un individuo con respecto a las condiciones ambientales donde habita (Gutiérrez et al., 2013).

Los programas de mejoramiento genético forestal, así como los proyectos de establecimiento y manejo de plantaciones forestales se basan en seleccionar, evaluar y propagar germoplasma de árboles con características superiores al resto de la población de acuerdo con los rasgos fenotípicos de interés (Balcorta y Hernández, 2004; Vallejos et al., 2010; Muñoz et al., 2012).

En México, la resina se extrae principalmente de árboles del género *Pinus* y es una actividad económica importante; para 2018, representó 20.1% de la producción nacional no maderable con 41 546 toneladas. De esta cifra,

en Michoacán se cosecharon alrededor de 35 945 t que significan 86.52 % de la producción no maderable del estado; sin embargo, a escala nacional, la demanda está lejos de ser satisfecha (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2013; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2021). El *Pinus pseudostrabus* Lindl. es una especie de alto potencial para la producción de resina (Conafor, 2013); en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (cinsjp) es una especie importante para las actividades de resinación, aserrío, industria de muebles y artesanías (González et al., 2014) y se tiene el interés de establecer plantaciones comerciales para la extracción de resina. Considerando este fin y para lograr el mayor rendimiento posible, se requiere de planta de alta calidad morfológica y fisiológica, selecta desde la etapa temprana, proveniente de individuos con alto rendimiento resinero, que vegetan en ambientes variados para que, al evaluar las progenies, sea posible identificar la magnitud de plasticidad fenotípica y así estar en condición de definir el mejor sitio para su establecimiento en campo.

OBJETIVOS

i) evaluar en planta de vivero variables morfométricas de familias selectas de árboles de *Pinus pseudostrabus* superiores en producción de resina; ii) determinar el índice de plasticidad fenotípica y coeficiente de variación de variables morfológicas; y iii) correlacionar las variables morfométricas biomasa e índices de calidad con su plasticidad promedio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el área arbolada de la cinsjp, ubicada entre los 19° 17' y 19° 30' N y 102° 06' y 102° 17' O. La región está comprendida en la subprovincia fisiográfica Neovolcánica Tarasca, la geología es del tipo ígnea extrusiva y el suelo es de origen volcánico de la unidad Andosol. El clima es del tipo *Cw* templado con lluvias en verano con precipitación y temperatura media anual de 1500 mm y 15 °C, respectivamente (Inegi, 2009; 2017).

Se definieron tres intervalos altitudinales en seis áreas de resinación, identificados por los productores como



diferentes en su rendimiento: 2200 m a 2400 m (1: Pascuala, cinco individuos), 2401 m a 2600 m (2: Gómez 7 individuos, Hijo Lucas 1 individuo, El Llano dos individuos y Tacarido 8 individuos) y 2601 m a 2800 m (3: Pario cuatro individuos). En las áreas productivas se seleccionaron 27 árboles superiores (Tabla 1), sobresalientes en producción de resina, dominantes, sin considerar la rectitud del fuste, ni malformaciones de la copa. La distancia entre ellos fue mayor a 120 m para reducir la probabilidad de seleccionar material genético emparentado y disminuir el riesgo de endogamia (Vallejo et al., 2010; Muñoz et al., 2012).

Los conos fueron colectados de la parte media de la copa de los árboles y expuestos al sol por 8 días-10 días para facilitar la apertura de las escamas y la liberación de las semillas; las que quedaban atrapadas se extrajeron manualmente. A continuación, la semilla dejó sin impurezas y se puso en remojo por 24 horas en agua y Captan® 50% PH con 2 g L⁻¹. La propagación de plantas se realizó en el vivero Pukantzico, a una altitud de 2290 m, con clima templado subhúmedo con lluvias en verano (*Cw₂*). Las semillas se sembraron directamente en bolsas negras de polietileno, de 16 cm × 30 cm (6.03 dm³), el sustrato empleado consistió en una mezcla de suelo Andosol (60%) y tierra de monte (40%). El germoplasma individual de los 27 árboles selectos formó igual número de familias de medios hermanos. Se propagaron a cielo abierto 15 plantas por familia, con un total de 405 individuos a los cuales se les aplicó un riego 2 a 3 veces por semana, con fungicidas para prevenir daños por hongos, así como una aplicación periódica por semana de fertilizante (urea-nitrogeno 3 g L⁻¹ de agua y dap-fosfato diamonico 1 g L⁻¹ de agua). Además, se realizaron deshierbes manuales 1 vez cada 15 días.

Se empleó el diseño experimental de bloques incompletos de tipo *a*-Lattice para reducir el error experimental, elevar la precisión de las estimaciones y propiciar condiciones más homogéneas en la comparación de los tratamientos (familias de medios hermanos) (Barreto et al., 1994; Khan et al., 2015; Singh y Dharminder, 2017). Para establecer el diseño en el vivero, se construyeron plantabandas de 0.5 m de ancho y 5 m de longitud para cada bloque incompleto. Se aleatorizaron las 27 familias

evaluadas (*t*: tratamientos), 9 unidades (familias de medios hermanos) por bloque incompleto (*k*), 45 bloques incompletos (*b*), 15 réplicas (*r*), 3 bloques incompletos dentro de cada replica (*s*) para tener 405 plantas totales.

A 15 meses del trasplante, a cada planta, con un vernier digital se le midió el diámetro basal (*Db*, mm) y con un flexómetro la altura total (*A*, cm). Además, se obtuvo el peso verde de la parte aérea (*Bfv*: follaje y *Btv*: tallo) y radicular (*Brv*: raíz); la suma de los pesos constituyó la biomasa total en peso verde (*BTv*). En laboratorio, las muestras se deshidrataron en un horno de secado a 72 °C hasta alcanzar el peso constante y obtener la biomasa seca por componente estructural (*Bfs*: follaje, *Bts*: tallo y *Brs*: raíz) y total (*BTs*) (Rueda et al., 2012; Muñoz et al., 2015).

A partir de los datos, se calcularon el índice de esbeltez, la relación de biomasa, el índice de calidad de Dickson y el de lignificación (ecuaciones 1, 2, 3 y 4, respectivamente; Orozco et al., 2010; Rueda-Sánchez et al., 2014; Sáenz et al., 2014).

$$IE = \frac{A}{Db} \quad (1)$$

$$RB = \frac{BTs}{BTv} \quad (2)$$

$$ICD = \frac{BTs}{\left(\frac{A}{Db}\right) + \left(\frac{Bfs+Bts}{Brs}\right)} \quad (3)$$

$$IL = \left[\frac{BTs}{BTv}\right] * 100 \quad (4)$$

donde:

IE = índice de esbeltez (cm/mm)

A = altura total (cm)

Db = diámetro en la base (mm)

RB = relación de biomasa g/g

BTs = peso de la biomasa total seca (a 72 °C; g)

BTv = peso de la biomasa total verde (g)

ICD = índice de calidad de Dickson

Bfs = peso de la biomasa de follaje (g)

Bts = peso de la biomasa de tallo (g)

Brs = peso de la biomasa de raíces (g)

IL = índice de lignificación (%)

TABLA 1. Identificadores, coordenadas y altitud de las familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* (ID) distribuidas en las áreas de extracción de resina.

ID	Progenie	ID	Progenie	ID	Progenie	ID	Progenie
	Latitud Norte		Latitud Norte		Latitud Norte		Latitud Norte
	Longitud Oeste		Longitud Oeste		Longitud Oeste		Longitud Oeste
	Altitud (m)		Altitud (m)		Altitud (m)		Altitud (m)
1	Gómez 11 19° 29' 28.2" 102° 11' 18.5" 2487	8	Hijo Lucas 19° 27' 40.1" 102° 11' 25.6" 2671	15	Pario 6 19°27' 52.5 102° 10' 58.5 2671	22	Pario 3 19° 27' 58.9 102° 10' 52.8 Altitud:2638
2	Gómez 8 19° 29' 30.7" 102° 11' 14.9" 2490	9	Gómez 10 19° 29' 31.0" 102° 11' 24.7" 2485	16	Pascuala 16 19° 26' 42.3" 102° 10' 23.7" 2279	23	Pascuala 9 19° 26' 46.7 102° 10' 14.4 2315
3	Gómez 9 19° 29' 30.9" 102° 11' 21.2" 2472	10	Tacarido 11 19° 27' 40.1" 102° 11' 25.6" 2337	17	Gómez 13 19° 29' 25.5" 102° 11' 14.3" 2481	24	Tacarido 27 19° 26' 39.4" 102° 10' 21.4" 2288
4	Gómez 3 19° 29' 27.8" 102° 11' 07.6" 2469	11	Tacarido 29 19° 26' 50.2" 102° 10' 24" 2312	18	Tacarido 5 19° 28' 33.4 102° 11' 50.8 2560	25	Pascuala 7 19° 26' 49.2" 102° 10' 15.0" Altitud:2276
5	Gómez 1 19° 29' 25.4" 102° 11' 12.0" 2476	12	Tacarido 16 19° 26' 51.4" 102° 10' 16.5" Altitud. 2324	19	Pario 2 19° 27' 46.1 102° 10' 52.4 2638	26	Pario 5 19° 27' 53.1 102° 10' 52.4 Altitud:2662
6	Tacarido 4 19°28' 30.9 102° 11' 59.2" 2548	13	Llano 3 19° 27' 18.4 102° 11' 31.5 2515	20	Pascuala 8 19°26' 37.1 102° 10' 14.7 2269	27	Llano 2 19° 27' 17.1 102° 11' 36.3 2515
7	Tacarido 14 19° 26' 51.4" 102° 10' 16.5" 2324	14	Tacarido 22 19° 26' 50.2" 102° 10' 24" 2312	21	Pascuala 15 19° 26' 50.2" 102° 10' 24" 2264		

Se practicó la estadística descriptiva para todas las variables e índices propuestos, los valores de referencia de la curtosis y asimetría para considerar como normal la distribución de los datos, fueron de 3 y -3 (Martínez-González et al., 2006).

El modelo lineal para el diseño experimental establecido *a*-Lattice fue el expresado en la ecuación 5

(Barreto et al., 1994; Khan et al., 2015; Singh y Dharminder, 2017); se realizó un análisis de varianza (anova) para cada variable en el programa *RStudio* Version 1.3.1093 (RStudio Team, 2020).

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \rho_{k(j)} + \varepsilon_{ijk} \quad (5)$$



donde:

Y_{ijk} = respuesta de la variable dependiente del fenotipo en el i -ésimo tratamiento (familia de medios hermanos) de la j -ésima réplica y k -ésimo bloque

μ = media general

τ_i = efecto del tratamiento; $i = 1, 2, \dots, 27$ (k)

j = efecto de réplica; $j = 1, 2, \dots, 15$ (r)

$\rho_{k(j)}$ = bloque dentro del efecto replicado; $k = 1, 2$ y 3 (s)

ε_{ijk} = error aleatorio

La prueba de hipótesis en el anova consideró una confiabilidad de 95 % y en la prueba de *Tukey* se usó con $p = 0.05$ (Martínez-González et al., 2006). La hipótesis nula (H_0) plantea que las medias de las variables determinadas por familia son iguales entre sí, mientras que la hipótesis alternativa (H_a) señala que por lo menos una de las familias es distinta a las demás.

El IPF se determinó para las variables morfológicas Db y A, IE, BT_v y BT_s, empleando la expresión propuesta por Valladares et al. (2000; ecuación 6), Valladares et al. (2006) y Luis et al. (2008):

$$IPF = \frac{(\text{Valor máximo de } x - \text{Valor mínimo de } x)}{\text{Valor máximo de } x} \quad (6)$$

donde x se refiere a cada variable utilizada (Db, A, IE, BT_v, BT_s).

El valor del IPF varía de 0 a 1: valores cercanos a la unidad señalan mayor plasticidad o características de adaptación en las especies o individuos a los cambios ambientales o de hábitat (Luis et al., 2008; Parejo-Farnés et al., 2019). Además, se calculó el valor promedio del coeficiente de variación como medida de dispersión relativa con la finalidad de identificar y comparar la variabilidad del IPF del conjunto de datos entre las familias de medios hermanos (Hernández-Verdugo et al., 2015).

Para conocer y cuantificar la interacción dinámica en la respuesta cuantitativa de las variables morfométricas, biomasa y parámetros de calidad calculados, se realizó un análisis de coeficientes de correlación de *Pearson* (r) entre los

valores medios por variable de cada familia de medios hermanos a un nivel significativo de 0.05 (Schlichting y Levin, 1986; Hernández-Verdugo et al., 2015). Los valores de $r = 0$ indican nula correlación entre las variables, valores de $r < 0.30$ corresponden a una asociación débil, mientras que, valores de $0.30 \leq |r| \leq 0.70$ representan una asociación moderada y valores de $r > 0.70$ denotan una correlación fuerte (Martínez-González et al., 2006).

RESULTADOS

Los estadísticos descriptivos en las variables Db, A, biomasa e IE, muestran intervalos amplios de variación a nivel de todo el estudio, lo cual queda expresado por valores máximos y mínimos distantes entre sí. En contraste, los índices de calidad de Dickson (ID) y de lignificación (IL) fueron más estables. La curtosis y asimetría calculada en todos los casos resultó dentro del intervalo estadístico para ser considerada como de distribución normal (-3 y 3), por lo tanto, los procedimientos de anova y estimación de los valores de plasticidad a partir de esta base de datos pueden considerarse válidos (Tabla 2).

El análisis de varianza mostró coeficientes de variación menores a 26% y diferencias significativas entre las familias evaluadas ($p = 0.05$), por lo que, para todas las variables en estudio se rechaza hipótesis nula (Tabla 3).

La agrupación de tratamientos por *Tukey* muestra distintos patrones para las familias analizadas, esto resultó en una respuesta generalizada diversa y compleja, por ejemplo, Gómez 3 (ID - "4") fue la que mostró menores dimensiones en Db y A, pero es la que tiene mejor índice de esbeltez (5.36); sin embargo, al evaluar de manera conjunta el tamaño de las plantas y su biomasa se obtuvo un ICD bajo, por lo que se podría considerar una familia no equilibrada (Tabla 4). En tanto que Pascuala 9 (ID - "23") fue la que registró mayores valores para Db, RB e ICD, pero se agrupó con familias ubicadas en categorías medias en A, IE e IL, por lo que se podría considerar de buena calidad y proporción, pero con un crecimiento en altura intermedio (Tabla 4).

TABLA 2. Estadística descriptiva para plantas propagadas en vivero de 27 familias de medios hermanos *Pinus pseudostrabus* superiores en la producción de resina ($n = 405$).

Estadístico /Variable	Db	A	BTv	Brv	Btv	Bfv	Brs	Bts	Bfs	BTs	IE	RB	ICD	IL
Media	9.9	37.7	92.7	38.0	26.0	28.7	12.1	11.5	15.0	38.2	3.8	2.2	6.5	44.5
Mínimo	2.1	3.5	28.0	9.0	8.0	7.0	5.9	4.9	5.0	6.8	0.9	1.8	4.4	33.3
Máximo	30.8	81.8	260.0	100.0	78.0	115.0	25.4	26.0	37.4	85.7	9.2	3.3	8.1	48.8
Mediana	9.8	35.9	88.5	36.5	24.5	25.0	11.8	10.7	14.4	37.4	3.8	2.1	6.3	42.0
Ee	3.2	14.6	40.5	17.0	10.8	15.7	3.1	3.8	5.2	11.5	1.1	0.3	1.0	4.0
Varianza	10.3	213.1	1638.5	289.5	116.0	247.4	9.9	14.3	26.7	132.6	1.2	0.1	1.0	16.1
IC	2.9	-0.5	0.6	0.2	1.9	2.6	0.8	0.4	0.5	0.3	2.6	2.9	-0.4	-0.3
CA	0.8	0.3	0.7	0.6	1.0	1.3	0.7	0.8	0.6	0.4	0.6	1.5	-0.1	-0.5

IC: Índice de curtosis. CA: Coeficiente de asimetría. Ee: Error estándar. Db: Diámetro basal (mm). A: Altura (cm). IE: Índice de esbeltez (cm mm^{-1}). BTv, Brv, Btv y Bfv: Biomasa total, raíz, tallo y follaje en verde (g). BTs, Brs, Bts y Bfs: Biomasa total, raíz, tallo y follaje seca (g). RB: Relación entre BTs y BTv. ICD: Índice de calidad de Dickson. IL: Índice de lignificación.

TABLA 3. Resultados del análisis de varianza para plantas de 27 familias de medios hermanos *Pinus pseudostrabus* superiores en la producción de resina.

Variable	Componente	SC	CM	Valor de F	Pr >F	CV%	\bar{X}
Db	Familia	695.06	26.73	6.286	<0.001	20.8	9.9
	Residual	1399.18	4.25				
A	Familia	10097.00	388.35	7.965	<0.001	18.5	37.7
	Residual	16042.00	48.76				
IE	Familia	131.00	5.04	6.472	<0.001	23.0	3.8
	Residual	256.14	0.78				
BTv	Familia	73001.00	2807.75	5.213	<0.001	25.0	92.7
	Residual	177211.00	538.64				
BTs	Familia	6238.30	239.94	5.532	<0.001	17.3	38.2
	Residual	14270.10	43.37				
RB	Familia	31.571	1.21428	12.950	<0.001	14.0	2.2
	Residual	30.844	0.09375				
ICD	Familia	290.42	11.1698	4.958	<0.001	23.1	6.5
	Residual	741.15	2.2527				
IL	Familia	9790.1	376.54	7.980	<0.001	15.4	44.5
	Residual	15524.2	47.19				

Db: Diámetro basal (mm). A: Altura (cm). IE: Índice de esbeltez (cm mm^{-1}). BTv: Biomasa total verde (g). BTs: Biomasa total seca (g). RB: Relación entre BTs y BTv. ICD: Índice de calidad de Dickson. IL: Índice de lignificación. SC: Suma de cuadrados. CM: Cuadrado medio. Pr>F: Probabilidad al 95% de confiabilidad ($\alpha=0.05$). CV%: Coeficiente de variación en porcentaje. \bar{X} : Media general.



TABLA 4. Valor y agrupación de medias de *Tukey* para plantas de 27 familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* superiores en producción de resina.

Db		A		IE		BTv		BTs		RB		ICD		IL	
Fam	\bar{X}	Fam	\bar{X}	Fam	\bar{X}	Fam	\bar{X}	Fam	\bar{X}	Fam	\bar{X}	Fam	\bar{X}	Fam	\bar{X}
1	14.52 a	25	50.20 a	4	5.36 a	22	119.80 a	23	47.54 a	25	2.88 a	6	8.24 a	4	55.41 a
22	11.18 ab	14	44.69 ab	25	4.80 ab	25	118.87 a	22	45.83 ab	24	2.69 ab	23	8.11 a	5	51.42 ab
26	11.12 ab	12	43.40 abc	14	4.69 ab	23	113.21 ab	17	42.19 abc	7	2.48 abc	22	8.05 a	10	50.28 abc
23	10.83 ab	1	42.90 abcd	12	4.50 abc	26	110.40 ab	12	41.35 abc	10	2.47 abc	2	7.52 ab	6	48.46 abcd
16	10.71 ab	24	42.72 abcd	8	4.38 abc	17	106.62 abc	16	41.27 abc	1	2.47 abc	5	7.28 ab	3	48.40 abcd
20	10.59 ab	26	42.50 abcd	18	4.30 abc	24	106.27 abc	25	41.10 abc	20	2.42 abcd	20	7.06 ab	16	48.13 abcd
6	10.54 b	18	40.78 abcd	19	4.17 abc	12	103.20 abc	13	40.82 abc	23	2.40 abcd	3	6.94 ab	9	48.01 abcd
25	10.45 b	13	40.59 abcd	13	4.15 abc	20	98.90 abc	2	40.42 abc	17	2.37 abcd	16	6.94 ab	7	47.95 abcd
17	10.41 b	22	40.49 abcd	24	4.05 abc	13	98.00 abc	14	40.21 abc	18	2.30 abcd	15	6.81 ab	19	47.14 abcd
24	10.36 b	17	40.35 abcd	17	3.89 abc	14	97.20 abc	20	39.60 abc	26	2.25 bcd	13	6.78 ab	2	47.02 abcd
15	9.96 bc	16	39.40 abcd	26	3.88 abc	2	95.93 abc	7	39.39 abc	16	2.22 bcd	17	6.77 ab	8	46.96 abcd
27	9.96 bc	8	39.33 abcd	7	3.85 abc	18	91.73 abc	15	39.14 abc	9	2.18 bcd	21	6.64 ab	15	46.75 abcd
5	9.92 bc	7	38.57 abcd	15	3.84 abc	1	91.26 abc	26	38.99 abc	27	2.17 bcd	26	6.50 ab	1	44.67 abcde
3	9.89 bc	23	38.31 abcd	11	3.76 abc	16	90.99 abc	18	38.19 abc	21	2.15 bcd	11	6.44 ab	21	44.33 abcde
13	9.74 bc	15	37.76 abcd	22	3.68 abc	7	90.44 abc	6	38.16 abc	8	2.13 bcd	9	6.31 ab	18	44.24 abcde
21	9.72 bc	19	37.62 abcd	16	3.67 abc	15	89.67 abc	24	38.11 abc	12	2.13 bcd	1	6.25 ab	14	44.11 abcde
2	9.69 bc	11	35.24 bcd	3	3.66 abc	11	88.53 abc	8	37.67 abc	19	2.09 cde	12	6.24 ab	13	43.53 abcde
12	9.62 bc	27	34.97 bcd	9	3.61 bc	3	87.07 abc	3	36.86 abc	22	2.06 cde	7	6.23 ab	23	42.45 abcde
7	9.60 bc	3	34.91 bcd	23	3.54 bc	6	84.73 abc	9	36.70 abc	14	2.04 cde	14	5.97 ab	27	42.04 abcde
11	9.57 bc	20	34.15 bcd	10	3.53 bc	8	83.93 abc	5	36.02 abc	15	2.01 cde	27	5.91 ab	12	41.58 bcde
18	9.49 bc	2	33.57 bcd	2	3.50 bc	9	82.07 abc	19	35.46 abc	4	1.97 cde	8	5.88 ab	20	41.40 bcde
14	9.30 bc	9	32.97 bcd	27	3.47 bc	21	82.00 abc	21	35.44 abc	2	1.97 cde	18	5.76 ab	17	41.25 bcde
9	8.93 bc	21	32.13 bcd	20	3.29 bc	27	81.07 abc	27	33.35 bc	13	1.94 cde	10	5.65 ab	22	40.46 bcde
8	8.86 bc	10	31.05 cd	21	3.28 bc	19	80.20 abc	10	33.15 c	6	1.90 cde	19	5.61 ab	24	37.36 cde
19	8.80 bc	5	30.23 cd	5	3.21 bc	5	76.67 abc	1	33.14 c	3	1.88 de	24	5.61 ab	26	37.01 de
10	8.64 bc	6	29.94 cd	1	2.84 c	10	71.39 bc	4	32.07 c	5	1.83 de	25	5.38 ab	25	36.17 de
4	6.28 c	4	29.92 d	6	2.80 c	4	65.67 c	11	29.48 c	11	1.53 e	4	4.64 b	11	33.12 e

Db: Diámetro basal (mm). A: Altura (cm). IE: Índice de esbeltez (cm mm⁻¹). BTv: Biomasa total verde (g). BTs: Biomasa total seca (g). RB: Relación entre BTs y BTv. ICD: Índice de calidad de Dickson. IL: Índice de lignificación. Fam: familia. \bar{X} : valores promedio dentro de cada factor seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

Las familias Pascuala 16 (ID - "16") y Gómez 13 (ID - "17") se ubicaron en una posición intermedia en el intervalo de Db, A, biomasa, IE, RB e ICD; sin embargo, la lignificación fue mayor para Pascuala 16 (48.13) que para Gómez 13

(41.25), por lo que la primera puede considerarse como más resistente a los cambios ambientales, mientras que, las plántulas de la familia Gómez tienen mayor probabilidad de éxito de supervivencia y desarrollo posterior al

establecimiento en campo (Tabla 4). Los valores de plasticidad promedio mostraron que las familias Pascuala 9 (ID - "23"), Llano 2 (ID - "27") y Pascuala 15 (ID - "21") son las que tienen menores posibilidades de adaptación (por sus valores bajos en IPF) a cambios ambientales, fenómenos adversos o de alteraciones en el hábitat, mientras que, Gómez 3 (ID - "4"), Gómez 9 (ID - "3") y Gómez 1 (ID - "5") son, en contraste, las de mayor índice (Tabla 5). Las familias Pascuala 9 (ID - "23"), Tacarido 16 (ID - "12") y Pario 3 (ID - "22") son las que menores coeficientes de variación mostraron y sus características fenotípicas son más homogéneas que las demás (Tabla 5).

El análisis de correlación señala una asociación negativa moderada entre los valores promedio del IPF con respecto al incremento de la Brv (-0.473 , $\alpha < 0.05$), por lo que el sistema radicular de la planta muestra ser fundamental en la respuesta adaptativa de las progenies a un ambiente de crecimiento distinto. La asociación entre Db de las plantas con la cantidad de biomasa es positiva (> 0.515 y < 0.662) por lo cual incrementa su peso a medida que las dimensiones del diámetro crecen, sin embargo, es negativa con respecto al IL (-0.557), mientras que, el IE se correlaciona con el ICD (0.519), por lo que son indicadores indirectos de las diferentes estructuras de la planta (Fig. 1).

DISCUSIÓN

La caracterización de los parámetros morfológicos de la planta producida en vivero de las 27 familias evaluadas es determinante como herramienta de apoyo para los tomadores de decisiones en la implementación de actividades de restauración (Ureta et al., 2018) y establecimiento de plantaciones (Balcorta y Hernández, 2004). También es de utilidad en la creación de indicadores fenotípicos para la selección de material sobresaliente que garantice alto crecimiento y rendimiento en plantaciones (Muñoz et al., 2013), o que asegure potencial adaptativo de las especies (Sáenz-Romero et al., 2012).

Aun cuando se encontraron diferencias significativas en la altura que varió de 29.92 cm (ID - "4") a 50.20 cm (ID

- "25"), esta, por sí sola, no es suficiente para predecir la probabilidad de supervivencia y desarrollo satisfactorio en campo (Ureta et al., 2018); sin embargo, sí es un indicativo cercano de la capacidad de la planta para competir en el campo contra especies herbáceas o arbustivas (Sáenz et al., 2010).

La altura y el diámetro del cuello de la raíz de las plantas ayudan a explicar la estabilidad mecánica o resistencia a vientos o déficit hídrico a través del índice de esbeltez (Muñoz et al., 2015; Vargas, 2017). Por tal razón, las plantas correspondientes a las familias Gómez 1 (ID - "5"), Gómez 11 (ID - "1") y Tacarido 4 (ID - "6") pueden considerarse como las más resistentes y propicias para programas de recuperación de áreas degradadas o de condiciones no tan favorables para la especie, mientras que, por el valor en su IE las familias Gómez 3 (ID - "4"), Pascuala 7 (ID - "25") y Tacarido 22 (ID - "14") son las más susceptibles a presentar daños mecánicos (quebrarse) o deshidratarse por temperaturas elevadas o déficit hídricos.

La dimensión del diámetro en la base está estrechamente relacionada con el grado de lignificación de las plantas, este a su vez está asociado con el índice de esbeltez de cada individuo; por lo anterior, estas características suelen ser determinantes en la capacidad de resistir altas temperaturas y en la correlación directa de la biomasa aérea y la radicular al ser evaluadas en vivero, en términos de calidad de planta (Rueda et al., 2012; Vargas, 2017; Ureta et al., 2018). Pario 3 (ID - "22") y Pascuala 9 (ID - "23") fueron las familias que mantuvieron en forma consistente los mayores valores de dimensión (Db) y proporción de biomasa (BTv y BTs); además, por su estabilidad en el ICD, pueden clasificarse como las de mejor calidad de planta en vivero, por lo que de manera preliminar podrían ser ideales para establecerse en sitios óptimos y en general favorables para la especie; sin vientos extremos, sequías prolongadas u otras condiciones adversas de crecimiento, aun cuando en la agrupación por índice de lignificación se encuentren en un término medio.



TABLA 5. Índices de plasticidad fenotípica y coeficiente de variación a 15 meses de edad de 27 familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrabus* superiores en la producción de resina.

Familia	Índice de plasticidad fenotípica (IPF)						Coeficiente de variación (CV %)					
	Db	A	IE	BTv	BTs	\bar{X}	Db	A	IE	BTv	BTs	\bar{X}
1	0.38	0.65	0.45	0.73	0.39	0.52	22.13	44.82	28.39	55.13	24.86	35.06
2	0.49	0.68	0.24	0.72	0.54	0.53	36.02	49.90	32.46	63.53	40.71	44.52
3	0.72	0.77	0.31	0.70	0.46	0.59	67.03	52.37	36.04	47.81	25.98	45.84
4	0.68	0.58	0.46	0.74	0.58	0.61	56.60	43.04	35.39	67.21	42.43	48.93
5	0.6	0.61	0.48	0.71	0.56	0.59	45.40	43.43	22.29	53.16	37.86	40.43
6	0.46	0.67	0.32	0.60	0.43	0.50	32.62	49.01	28.57	41.44	26.66	35.66
7	0.43	0.69	0.48	0.70	0.47	0.55	28.61	47.79	30.92	56.22	32.43	39.19
8	0.36	0.56	0.30	0.50	0.36	0.42	23.62	37.92	24.74	35.44	23.16	28.97
9	0.45	0.55	0.21	0.60	0.43	0.45	28.29	36.76	20.56	42.21	27.34	31.03
10	0.4	0.64	0.35	0.52	0.40	0.46	28.53	47.85	31.04	38.87	24.67	34.19
11	0.52	0.62	0.12	0.62	0.78	0.53	33.67	43.60	35.77	41.90	58.50	42.69
12	0.32	0.45	0.19	0.46	0.33	0.35	19.81	26.22	15.36	31.15	20.77	22.66
13	0.39	0.52	0.19	0.55	0.42	0.41	24.50	31.00	19.30	34.64	25.00	26.89
14	0.42	0.58	0.28	0.59	0.43	0.46	26.41	38.57	19.85	48.60	28.51	32.39
15	0.97	0.6	0.09	0.55	0.43	0.53	344.33	38.50	38.09	39.73	28.22	97.78
16	0.38	0.55	0.26	0.56	0.44	0.44	30.00	38.24	20.42	43.09	28.53	32.05
17	0.33	0.41	0.13	0.59	0.38	0.37	23.81	26.82	15.74	46.00	24.71	27.42
18	0.43	0.5	0.11	0.59	0.45	0.42	28.25	32.14	15.23	41.15	27.86	28.92
19	0.42	0.56	0.24	0.60	0.46	0.46	26.24	37.66	17.27	45.67	30.02	31.37
20	0.37	0.4	0.06	0.50	0.38	0.34	25.21	27.20	24.56	37.12	25.61	27.94
21	0.25	0.52	0.33	0.29	0.21	0.32	21.58	42.23	30.67	26.80	16.69	27.59
22	0.38	0.37	0.12	0.51	0.35	0.34	25.94	28.83	20.67	33.92	21.41	26.15
23	0.15	0.43	0.31	0.18	0.19	0.25	13.94	26.59	21.61	19.78	17.69	19.92
24	0.42	0.53	0.21	0.56	0.43	0.43	25.10	35.23	15.98	39.44	28.14	28.78
25	0.4	0.51	0.16	0.60	0.49	0.43	25.17	31.68	17.11	42.44	32.30	29.74
26	0.39	0.41	0.06	0.60	0.46	0.38	26.58	25.21	19.89	42.56	31.89	29.23
27	0.13	0.1	0.14	0.28	0.21	0.17	12.17	13.96	13.25	42.11	55.90	27.48

\bar{X} : promedio. Db: Diámetro basal (mm). A: Altura (cm). IE: Índice de esbeltez (cm mm^{-1}). BTv, Brv, Btv y Bfv: Biomasa total, raíz, tallo y follaje en verde (g). BTs, Brs, Bts y Bfs: Biomasa total, raíz, tallo y follaje seca (g).

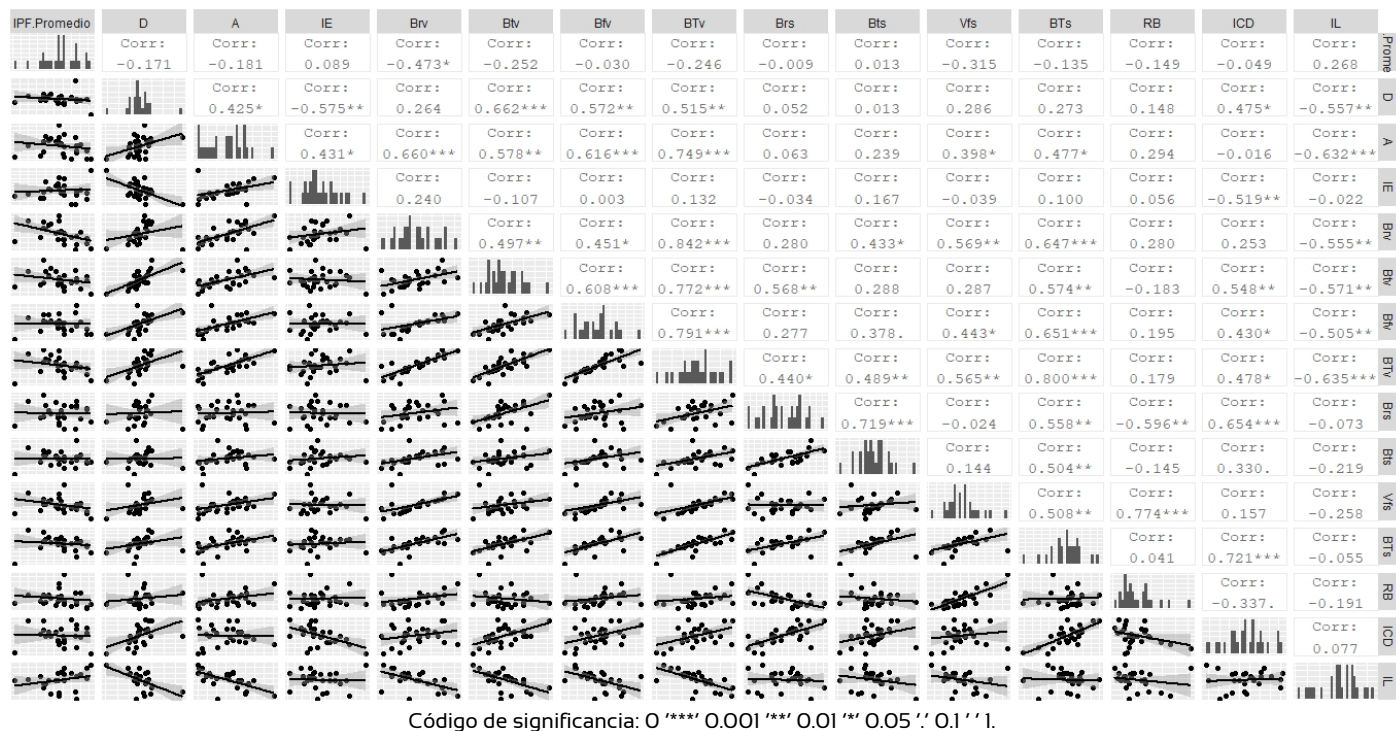


FIGURA 1. Análisis de correlación entre el índice de plasticidad fenotípica promedio y las características fenotípicas estudiadas en plantas de familias de medios hermanos *Pinus pseudostrobus* superiores en producción de resina.

Db: Diámetro basal (mm). A: Altura (cm). IE: Índice de esbeltez (cm mm⁻¹). BTV, Brv, Btv y Bfv: Biomasa total, raíz, tallo y follaje en verde (g). BTs, Brs, Bts y Bfs: Biomasa total, raíz, tallo y follaje seca (g). IPF: Índice de plasticidad fenotípica. RB: Relación entre BTs y BTV. ICD: Índice de calidad de Dickson. IL: Índice de lignificación.

La heterogeneidad de los valores de plasticidad obtenidos para cada una de las variables fenotípicas analizadas coincide con lo observado por Sultan (2000), el cual refiere que este valor es específico para cada una de ellas y depende del ambiente o características específicas del sitio. Acorde al valor promedio del IPF para cada familia y al considerar que los valores más cercanos a la unidad son un indicativo de mayores probabilidades de adaptación a variaciones de clima y hábitat de las especies (Hernández-Verdugo et al., 2015; Parejo-Farnés et al., 2019), las progenies Gómez 3 (ID - "4") y Gómez 1 (ID - "5") son las que podrían tener mayor capacidad de resistencia al cambio de sitio o de ambiente en general, lo que es consistente con valores altos de lignificación. Este aspecto debe probarse en campo creciendo por varios años en diferentes condiciones.

Las familias Tacarido 16 (ID - "12"), Pascuala 9 (ID - "23") y Llano 2 (ID - "27") son las que menores capacidades

plásticas presentan, lo que es consistente con los valores obtenidos en el coeficiente de variación (CV), que muestran poca diferencia (Tabla 5). Sin embargo, la familia Pario 6 (ID - "15") mostró el coeficiente de variación más alto (97.97) por lo que presumiblemente tendría una capacidad de adaptabilidad amplia, seguida de Gómez 8 (ID - "2"), Gómez 9 (ID - "3"), Gómez 3 (ID - "4"), Gómez 1 (ID - "5") y Tacarido 29 (ID - "11") con un CV promedio de 42.49. En consecuencia, estas cuatro familias pueden ser empleadas para ser introducidas en hábitats espaciales y temporalmente heterogéneos (Hernández-Verdugo et al., 2015). Se puede asumir, de manera preliminar, que las familias con menor IPF y CV tienen una baja probabilidad de adaptación y desarrollo en ambientes distintos a aquellos donde vegeta su progenitor. Esta situación puede ser atribuible a la respuesta plástica de la selección natural y a la variación genética de cada fuente de germoplasma o



especie, características que son responsables de la variabilidad fenotípica y evolución genética a lo largo del tiempo (Pigliucci y Kolodynska, 2002; Pigliucci, 2005.) Los resultados de este estudio pueden ser la base para un futuro establecimiento de este material y para la evaluación de la evolución a largo plazo mediante ensayos de distintas familias en diferentes condiciones ambientales.

La correlación de las variables morfológicas e índices de plasticidad, de Dickson y de lignificación de las plantas son una respuesta indirecta de las características de adaptación de las plantas. La interacción entre las variables analizadas, los índices y su proporción de biomasa pueden ser la pauta para iniciar nuevas investigaciones o explicar, a través de estudios más sofisticados, la plasticidad observada en procesos fisiológicos tales como la velocidad de transpiración de las especies en respuesta a las fluctuaciones ambientales o al estrés hídrico (Velasco et al., 2017; Landete-Tormo et al., 2017), la dinámica de crecimiento de distintas poblaciones de una misma especie (Hernández-Verdugo et al., 2015) o la interacción entre las estructuras de un individuo (raíz, tallo y follaje) con su volumen, área foliar, capacidad fotosintética y productividad de distintas especies en un ecosistema (Ureta et al., 2018). Además, en términos de calidad de planta, las correlaciones contribuyen a explicar las diferencias en el germoplasma evaluado (Orozco et al., 2010; Sáenz et al., 2010; Rueda et al., 2012; Rueda-Sánchez et al., 2014; Muñoz et al., 2015).

La combinación de los resultados obtenidos es útil para la selección de planta de familias superiores y como pauta preliminar de la condición de sitio en donde probablemente tenga mayores oportunidades de supervivencia y desarrollo (Rodríguez-Ortiz et al., 2020). Además, los resultados constituyen información básica para ser tomada como referencia y para planear acciones de mitigación ambiental o migración asistida de especies forestales (Sáenz-Romero et al., 2012). De manera análoga, se debe considerar que los patrones o características morfométricas en las especies forestales varían de acuerdo con altitud, distribución geográfica (población) y progenie-familia (Viveros-Viveros et al., 2012; Ortiz-Bibian et al., 2019); y que para evaluar las variaciones fenotípicas, en

ocasiones se recurre a una metodología eficiente y de bajo costo, la cual forma parte de la base en la selección de árboles fenotípicamente superiores dentro de rodales naturales a través de variables dasométricas fáciles de medir con fines de mejoramiento productivo (Cornejo, Bucio, Gutiérrez, Valencia y Flores, 2009).

CONCLUSIONES

Los valores obtenidos de las características morfométricas evaluadas en plantas de 27 progenies de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* propagadas en vivero mostraron diferencias significativas en todas las características evaluadas en vivero. Por la variabilidad genética y ocupación de un alto intervalo altitudinal, las familias generaron una respuesta heterogénea en las características fenotípicas de la progenie resultante bajo las condiciones de vivero, ambiente benigno de desarrollo.

El índice de plasticidad fenotípica para cada familia fue distinto por lo que de manera indirecta muestra las diferencias en adaptación y constitución genética de los progenitores; por lo tanto, el valor medio de plasticidad entre los parámetros evaluados puede relacionarse con la adaptación y posibilidad de supervivencia de las plantas en diferentes condiciones de crecimiento. Además, con los valores de correlación de *Pearson* entre variables morfométricas, biomasa e índices de calidad de planta con los niveles de plasticidad de las familias, es posible explicar de manera indirecta las interacciones positivas o negativas de las variables con la dinámica fisiológica de crecimiento de los individuos.

REFERENCIAS

- Balcorta M., H. C., & Vargas H., J. J. (2004). Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb.) de tres años de edad. *Revista Chapingo, Serie ciencias forestales y del ambiente*, 10(1), 13-19.
- Barreto, H., Edmeades, G., Chapman, S., & Crossa, I. (1994). El diseño Alfa-Látice en fitomejoramiento y agronomía: generación y análisis. *Síntesis de resultados experimentales del Programa Regional de Maíz*, 4, 273-283.

- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2013). *La producción de resina de pino en México*. Comisión Nacional Forestal- Gerencia de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales.
- Falconer, D. S. (1989). *Introduction to Quantitative Genetics*. Longman Science and Technology (3a ed.). Longman Scientific & Technical.
- González C., E., Gasca M., E., & Heredia D., P. (2014). Cultura organizacional del sistema empresarial de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro: un manejo sustentable forestal. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 35(2), 1023-1034.
- Gutiérrez V., B. N., Gómez C., M., Gutiérrez V., M. H., & Mallén R., C. (2013). Variación fenotípica de poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(19), 46-60. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i19.378>
- Hernández-Verdugo, S., González-Sánchez, R. A., Porras, F., Parra-Terraza, S., Valdez-Ortiz, A., Pacheco-Olvera, A., & López-España, R. G. (2015). Plasticidad fenotípica de poblaciones de chile silvestre (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) en respuesta a disponibilidad de luz. *Botanical Sciences*, 93(2), 231-240. <https://doi.org/10.17129/botsci.237>
- Hernández V., S., López E., R. G., Sánchez P., P., Villarreal R., M., Parra T., S., Porras, F. & Corrales M., J. L. (2008). Variación fenotípica entre y dentro de poblaciones silvestres de chile del Noroeste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(4), 323-330.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Nuevo Parangaricutiro, Michoacán de Ocampo: Clave geoestadística 16058. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/16/16058.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2017). *Annuario estadístico y geográfico de Michoacán de Ocampo 2017*. Inegi Aguascalientes.
- Khan, M. I., Ali S., S. A., Khan, M., Ullah, K., Ullah, R., & Khatak, S. I. (2015). Comparative efficiency of alpha lattice design and complete randomized block design in wheat, maize and potato field trials. *Journal of Resources Development and Management*, 11, 115-117.
- Landete-Tormo, M. B., Sesmero, R., & Quesada, M. A. (2017). Relaciones hídricas y plasticidad fenotípica en cultivares de *Fragaria x ananassa* como estrategia frente a un escenario de limitación hídrica y cambio climático. En VII Congreso Latinoamericano de Agroecología. Guayaquil, Ecuador.
- Levin, D. A. (2009). Flowering-time plasticity facilitates niche shifts in adjacent populations. *New Phytologist*, 183, 661-666. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02889.x>
- Luis D., V. C., Vilagrosa C., A., Llorca C., M, Hernández L., E., & Vallejo C., E. (2008). Plasticidad morfológica y fisiológica en plantones de alcornoque, lentisco y pino canario inducidos por tratamientos de fertilización y sombreo. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 28, 213-218.
- Mal, T. K., & Lovett-Doust, J. (2005). Phenotypic plasticity in vegetative and reproductive traits in an invasive weed, *Lythrum salicaria* (Lythraceae), in response to soil moisture. *American Journal of Botany*, 92, 819-825. <https://doi.org/10.3732/ajb.92.5.819>
- Martínez-González, M. A., Sánchez-Villegas A., & Faulin-Fajardo, J. (2006). *Bioestadística Amigable* (2a ed.). Editorial Díaz de Santos.
- Muñoz F., H. J., Orozco G., G., Coria A., V. M., Muñoz V., Y.Y., & García M., J. J. (2012). Comparación de dos métodos de selección de árboles superiores en un área semillera de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schltdl. et Cham. en Michoacán, México. *Foresta Veracruzana*, 14(1), 1-8.
- Muñoz F., H. J., Prieto R., J. A., Flores G., A., Pineda O., T., & Morales G., E. (2013). Técnicas de injertado “enchapado lateral” y “fisura terminal” en *Pinus pseudostrobus* Lindl. Folleto Técnico 68. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional Norte Centro-Campo Experimental Valle del Guadiana.
- Muñoz F., H. J., Sáenz R., J. T., Coria A., V. M., García M., J.J., Hernández R., J., & Manzanilla Q., G. E. (2015). Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 72-89. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.282>
- Orozco G., G., Muñoz F., H. J., Villaseñor R., F. J., Rueda S., A., Sigala R., J. A. & Prieto R., J. A. (2010). *Diagnóstico de calidad de planta en los viveros forestales del estado de Colima*. Folleto Técnico Núm. 1. Sagarpa. Inifap. Cirpac.
- Ortiz-Bibian, M. A., Castellanos-Acuña, D., Gómez-Romero, M., Lindig-Cisneros, R., Silva-Farías, M. A., & Sáenz-Romero, C. (2019). Variación entre poblaciones de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham., a lo largo de un gradiente altitudinal. I. capacidad germinativa de la semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(3), 301-308.
- Parejo-Farnés, C., Aparicio, A., & Albaladejo, R. G. (2019). Una aproximación a la ecología epigenética en plantas. *Ecosistemas*, 28(1), 69-74. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1605>



- Pedroso, H. L., Rocha-Filho, L. C., & Lomónaco, C. (2010). Variación fenotípica de plantas del Cerrado (*Sabana brasileña*) frente a la heterogeneidad ambiental. *Ecosistemas*, 19(1), 24-36.
- Pigliucci, M. (2005). Evolution of phenotypic plasticity: where are going now?. *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 481-486. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.06.001>
- Pigliucci, M., & Kolodynska, A. (2002). Phenotypic plasticity to light intensity in *Arabidopsis thaliana*: invariance of reaction norms and phenotypic integration. *Evolutionary Ecology*, 16, 27-47.
- RStudio Team (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, <http://www.rstudio.com/>
- Rodríguez-Ortiz, G., Aragón-Peralta, R. D., Enríquez-del Valle, J. R., Hernández-Hernández, A., Santiago-García, W., & Campos-Ángeles, G. V. (2020). Calidad de plántula de progenies selectas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* del sur de México. *INTERCIENCIA*, 45(2), 96-101.
- Rueda S., A., Benavides S., J. D., Prieto-Ruiz, J. A., Sáenz R., J. T., Orozco-Gutiérrez, G., & Molina C., A. (2012). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(14), 69-82. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i14.475>
- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J. D., Sáenz-Reyes, J. T., Muñoz F., H. J., Prieto-Ruiz, J. A., & Orozco G., G. (2014). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(22), 58-73. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i22.350>
- Sáenz R., J. T., Muñoz F., H. J., Pérez D., C. M. A., Rueda S., A., & Hernández R., J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 98-111. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i26.293>
- Sáenz, R., J. T., Muñoz F., H. J., Villaseñor R., F., Prieto R., J. A., & Rueda S., A. (2010). Calidad de Planta en Viveros Forestales de Clima Templado en Michoacán. Folleto Técnico. Sagarpa-Inifap-Cirpac.
- Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G. E., Soto-Correa, J. C., Aguilar-Aguilar, S., Zamarrípa-Morales, V., & López-Upton, J. (2012). Altitudinal genetic variation among *Pinus pseudostrobus* populations from Michoacán, México. Two location shadehouse test results. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(2), 111-120
- Schlichting, C. D., & Levin, D. A. (1986). Phenotypic plasticity: an evolving plant character. *Biological Journal of the Linnean Society*, 29, 37-47. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1986.tb01769.x>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2021). *Anuario estadístico de la producción forestal 2018*. Semarnat.
- Singh, P., & Dharminder, B. (2017). Incomplete block designs for plant breeding experiments. *Agricultural Research Journal*, 54(4), 607-611. <https://doi.org/10.5958/2395-146X.2017.00119.3>
- Sultan, S. E. (2000). Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in Plant Science*, 5, 537-542. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01797-0](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01797-0)
- Ureta L., D. A., García Q., Y., Arteaga C., Y., Morales M., A., Lazo P., Y., & Jalca, I. (2018). Método de clasificación a partir del diagnóstico de calidad morfológica en vivero para la selección de especies forestales promisorias en programas de restauración. *Revista Amazónica y Ciencia y Tecnología*, 7(3), 142-150.
- Vallejos, J., Badilla, Y., Picado, F., & Murillo, O. (2010). Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense*, 34(1), 105-119.
- Valladares, F., Sánchez-Gómez D., & Zavala, M. A. (2006). Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. *Journal of Ecology*, 94, 1103-1116. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01176.x>
- Valladares, F., Wright, S. J., Lasso, E., Kitajima, K., & Pearcy, R. W. (2000). Plasticity phenotypic responses to light of 16 congeneric shrub from a Panamanian Rainforest. *Ecology*, 81, 1925-1936. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[1925:PPRTLO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[1925:PPRTLO]2.0.CO;2)
- Vargas, G. (2017). Estrategias mecánicas de las plantas arborescentes: enseñanzas estructurales de los árboles. *Revista chilena de ingeniería*, 25(3), 510-523.
- Velasco, V., J. L., Sin Casas, E., Vericat G., P., Serrano E., L., Piqué N., M., Notivol P., E., & Ferrio D., J. P. (2017). Plasticidad fenotípica y variación genética en eficiencia en uso del agua en *Pinus sylvestris*. En 7º Congreso Forestal Español. Placencia, España.
- Viveros-Viveros, H., Camarillo-Luna, A. R., Sáenz-Romero, C., & Aparicio-Rentería, A. (2013). Variación altitudinal en caracteres morfológicos de *Pinus patula* en el estado de Oaxaca (México) y su uso en la zonificación. *Bosque*, 34(2), 173-179. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002013000200006>

Manuscrito recibido el 28 de mayo de 2021

Aceptado el 13 de diciembre de 2021

Publicado el 22 de julio de 2022

Este documento se debe citar como:

Chávez-García, A. S., Hernández-Ramos, J., Muñoz-Flores, H. J., García-Magaña, J. J., Gómez-Cárdenas, M. y 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>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.