

# CALIDAD DE PLÁNTULA DE PROGENIES SELECTAS DE *Pinus pseudostrobus*

## Lindl. var. *oaxacana* DEL SUR DE MÉXICO

Gerardo Rodríguez-Ortiz, Rey David Aragón-Peralta, José Raymundo Enríquez-del Valle, Adán Hernández-Hernández, Wenceslao Santiago-García y Gisela Virginia Campos-Angeles

### RESUMEN

Se evaluó la calidad de la progenie de 34 árboles de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* selectos como superiores en cuatro poblaciones del sur de México, relacionándolas con las características del sitio de colecta y de los progenitores. En 2018 se realizó un muestreo destructivo a plantas de siete meses de edad, determinando índices morfológicos de calidad de plántula. Procedencias (localidades de colecta) y progenies se diferenciaron mediante análisis de varianza y pruebas de medias en modelo lineal, anidando progenies en procedencias. Las progenies y procedencias resultaron, para la mayoría de las

variables, estadísticamente distintas ( $P \leq 0,05$ ). Las plantas originadas con semilla de árboles selectos como superiores en las localidades de Ixtepeji y Jaltianguis se clasificaron como plántulas de alta calidad, mientras que las de Yolox y Teococuilco se clasificaron de calidad media. Al recibir las mismas labores culturales es probable que la mejor calidad obtenida en esas localidades se deba a la calidad genética que heredaron de sus progenitores; sería factible dar seguimiento a los ensayos de progenie que se establecieron y determinar si esta ganancia genética se obtiene en edades posteriores.

### Introducción

Las plantas descendientes de cada árbol seleccionado constituyen una familia (progenie), y las plantas de las diversas familias se establecen en un ensayo de progenies, en varios sitios (ambientes), para evaluar su crecimiento (White *et al.*, 2007; Espitia *et al.*, 2010). Debido a la longevidad y tasa de crecimiento de los árboles se requieren muchos años para la evaluación, y para acelerar el proceso se usa la selección temprana (Farfán *et al.*, 2002; Salaya-Domínguez *et al.*, 2012). Determinar la calidad genética de los progenitores mediante la evaluación morfológica de sus progenies en vivero podría ser muy apresurado, pero se podrían correlacionar estas características con patrones de

desarrollo tardío y de esta manera hacer selección temprana, lo cual reduciría tiempo y costos (Ramírez-García *et al.*, 2001).

Evaluar la calidad de planta permite conocer la capacidad que tienen para adaptarse y desarrollar en las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación, y depende de las características genéticas del germoplasma y de las técnicas utilizadas para su reproducción en vivero (Prieto *et al.*, 2009). Emplear planta de calidad, asegura en mayor medida el éxito de las plantaciones o reforestaciones. La calidad viene definida por una serie de parámetros morfológicos y fisiológicos, y para lograr plantas de mejores características es necesario desarrollar labores culturales adecuadas desde la calidad genética

de la semilla y, en el vivero, el tipo de sustrato, el contenedor a utilizar, y la correcta nutrición de las plantas (Gomes *et al.*, 2002; Rodríguez, 2008).

*Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* es una especie endémica de México con alta variación genética altitudinal, con potencial para reforestación, agroforestería y plantaciones comerciales maderables por la calidad de su madera y su rápido crecimiento; tiene una alta diversidad genética y una amplia distribución altitudinal entre 1600 y 3250m; prospera en climas templados a templados cálidos con temperaturas que oscilan de -9,0 a 40°C (Viveros-Viveros *et al.*, 2005; Delgado *et al.*, 2007; Sáenz *et al.*, 2011; Sáenz-Romero *et al.*, 2012; Cambrón *et al.*, 2013; Castellanos-Acuña *et al.*, 2013).

La presencia de alta diversidad genética y su amplia distribución son elementos que ayudan a sustentar un programa de mejoramiento genético de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* a largo plazo, pero se requiere incrementar el conocimiento sobre la biología de la especie, dinámicas poblacionales y caracteres heredables con fines de explotación maderable (Villegas-Jiménez *et al.*, 2016). En el sur de México (Oaxaca) se inician actividades de mejoramiento genético de especies de *Pinus* comerciales de interés maderable mediante el desarrollo de proyectos que incluye la selección de fenotipos sobresalientes en bosques naturales, colecta y manejo de su germoplasma y propagación en vivero. El objetivo del estudio fue

### PALABRAS CLAVE / Área Foliar / Características Morfológicas / Pino / Procedencia /

Recibido: 21/01/2020. Aceptado: 13/02/2020.

**Gerardo Rodríguez-Ortiz** (Autor de correspondencia). Doctor en ciencias en Productividad Forestal. Colegio de Postgraduados (COLPOS). México. Profesor-investigador, Tecnológico Nacional de México (TecNM), Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Dirección: Ex hacienda de

Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71233. e-mail: gerardo.rodriguez@voaxaca.tecnm.mx.

**Rey David Aragón-Peralta**. Ingeniero Forestal y M.C. en Productividad de Agroecosistemas, TecNM-ITVO, México.

**José Raymundo Enríquez-del Valle**. Doctor en Genética

Vegetal, COLPOS, México. Profesor-Investigador, TecNM-ITVO, México.

**Adán Hernández-Hernández**. M.C. en Manejo de Recursos Naturales, University of New Hampshire, EEUU. Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México.

**Wenceslao Santiago-García**. Doctor en Ciencias Forestales, COLPOS, México. Profesor-Investigador, Universidad de la Sierra Juárez, México.

**Gisela Virginia Campos-Angeles**. Doctora en Ciencias en Fisiología Vegetal, COLPOS, México. Profesora-Investigadora, TecNM-ITVO, México.

## PLANT QUALITY OF SELECTED PROGENIES OF *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* FROM SOUTHERN MEXICO

Gerardo Rodríguez-Ortiz, Rey David Aragón-Peralta, José Raymundo Enriquez-del Valle, Adán Hernández-Hernández, Wenceslao Santiago-García and Gisela Virginia Campos-Angeles

### SUMMARY

The progeny quality of 34 *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* trees selected as superior was evaluated in four localities in southern Mexico, relating them to the characteristics of the collection site and the parents. In 2018, destructive sampling was carried out on plants that were seven months old, determining morphological indexes of seedling quality. Provenance (collection locations) and progenies were differentiated by analysis of variance and means tests in a linear model, nesting progenies in provenances. The progenies and provenances were, for most

of the variables, statistically different ( $P \leq 0.05$ ). Plants originating with selected tree seed as superior in the localities of Ixtepeji and Jaltianguis were classified as high quality seedlings, while those of Yolox and Teococuilco were classified as medium quality. Upon receiving the same cultural treatment, it is likely that the best quality obtained in these locations is due to the genetic quality that they inherited from their parents; it would be feasible to follow up on the progeny trials that were established and determine if this genetic gain is obtained at later ages.

## QUALIDADE DE PLÁNTULA DAS PROGÊNIES SELECTAS DE *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* DO SUL DO MÉXICO

Gerardo Rodríguez-Ortiz, Rey David Aragón-Peralta, José Raymundo Enriquez-del Valle, Adán Hernández-Hernández, Wenceslao Santiago-García e Gisela Virginia Campos-Angeles

### RESUMO

A qualidade da progênie de 34 árvores de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* selecionado como superior em quatro populações no sul do México, foi avaliada relacionando as características do local de coleta e dos pais. Em 2018, foram realizadas amostragens destrutivas em plantas com sete meses de idade, determinando índices morfológicos da qualidade das plantas. A procedência (locais de coleta) e progênies foram diferenciadas por análise de variância e testes de médias em um modelo linear, aninhando progênies em procedências. As progênies e procedências foram, para a maioria das variáveis,

estatisticamente diferentes ( $P \leq 0,05$ ). As plantas originárias de sementes selecionadas de árvores como superiores nas localidades de Ixtepeji e Jaltianguis foram classificadas como mudas de alta qualidade, enquanto as de Yolox e Teococuilco foram classificadas como de qualidade média. Ao receber o mesmo trabalho cultural, é provável que a melhor qualidade obtida nesses locais se deva à qualidade genética que eles herdaram de seus pais; seria possível acompanhar os testes de progênie que foram estabelecidos e determinar se esse ganho genético é obtido em idades posteriores.

evaluar la calidad de la progénie de árboles de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* selectos como superiores en distintas poblaciones del estado de Oaxaca, México, así como relacionar la calidad de la progénie con las características de sus progenitores y variables del sitio de colecta.

### Materiales y Métodos

#### Obtención de plántulas

El estudio se realizó con plantas obtenidas de semillas de árboles selectos como superiores en cuatro localidades del estado de Oaxaca, México. La reproducción de la plántula se realizó en marzo del 2018 en el vivero forestal del Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca del Instituto

Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Las semillas se germinaron en charolas con 53 cavidades de 143cm<sup>3</sup> llenadas con sustrato de peat moss (50%), agrolita (25%) y vermiculita (25%), más 7kg de Osmocote®. En la siembra, la semilla proveniente de los fenotipos sobresalientes se identificó estrictamente con número de semilla, número de árbol, procedencia y fecha de la siembra. Se sembró un total de 90 semillas de cada familia y durante el periodo de producción todas las plántulas recibieron las mismas labores culturales.

#### Indicadores de calidad de planta

El muestreo destructivo y la toma de datos se realizaron a

finales del ciclo de producción, cuando las plantas tenían siete meses de edad, previo a la salida de las plantas a campo, entre octubre y noviembre de 2018. Se utilizaron cinco plantas por árbol, seleccionadas al azar; esta intensidad se definió de acuerdo a las plantas excedentes de las que se utilizarían para el ensayo de progénies. La información registrada fue: clorofila en hojas ( $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) determinada con SPAD marca Konica Minolta 502, convirtiendo las unidades mediante la metodología de Coste *et al.* (2010); altura de planta (cm) y longitud de la raíz (cm) obtenidas con regla graduada; diámetro del cuello de la raíz (mm), medido con un vernier digital Titan® con precisión  $\pm 0,2\text{mm}$ . Utilizando una balanza analítica Shimadzu modelo ATY224

con precisión de  $\pm 0,1\text{mg}$  se obtuvo la biomasa (g) en seco de la parte aérea y de la raíz, para lo que se deshidrataron las plantas a 70°C hasta peso constante en una estufa de secado marca Memmert modelo 100-800.

Con las variables anteriores se determinaron los siguientes índices de calidad de planta (Haase, 2008; Touhami *et al.*, 2017): índice de esbeltez (IE), que relaciona la altura de planta (A; cm) con el diámetro cuello de raíz (D; mm); relación A/longitud de raíz (RAR), que predice el éxito de la plantación y debe existir equilibrio y proporción entre la parte aérea y el sistema radical de las plantas; y relación biomasa seca área (g)/biomasa seca raíz (g) (RAS), que refleja el desarrollo de la planta en vivero.

Además, se determinó el índice de calidad de Dickson (ID), que reúne varios atributos morfológicos en un solo valor (Kuan-Hung *et al.*, 2019) y donde valores mayores de ID reflejan una mejor calidad de planta, siendo ID= biomasa seca total de la planta (BT)/(IE+(biomasa seca parte área/biomasa seca raíz)); y finalmente el índice de lignificación (IL; %) que relaciona la BT/ peso fresco total de la planta.

Con las características evaluadas se calificó la calidad de planta (Tabla I) al comparar los resultados con valores de diversos estudios realizados en coníferas (Santiago *et al.*, 2007; CONAFOR, 2009; Sáenz-Romero *et al.*, 2010; Rueda-Sánchez *et al.*, 2013) (Tabla I).

#### Manejo y análisis de datos

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el paquete computacional *Statistical Analysis System*<sup>®</sup>, verificando los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett ( $\alpha=0,05$ ), respectivamente; algunas variables se transformaron a  $\ln(x)$  y raíz cuadrada. Para diferenciar progenies (p) y procedencias (P) se utilizó el método Tukey ( $\alpha=0,05$ ) y el modelo lineal con efecto anidado (Sahagún, 1998) con la ecuación  $Y_{ijk} = \mu + P_i + p_k(P_i) + \epsilon_{ijk}$ ; donde  $Y_{ijk}$ : variable dependiente (en i-ésima procedencia, j-ésima repetición y k-ésima progenie),  $\mu$ : media general,  $P_i$ : efecto de procedencias,  $p_k(P_i)$ : progenies anidadas en procedencias, y  $\epsilon_{ijk}$ : error experimental asociado.

Se realizó un análisis de correlación de Pearson ( $\alpha=0,05$ ) entre variables climáticas de los sitios de colecta de semilla (WorldClim, 2019), características dasométricas de progenitores y variables de calidad de plántula de las progenies. Además, un procedimiento Cluster sirvió para agrupar las relaciones entre índices morfológicos de calidad de plántula.

Las acículas de 30 plantas elegidas al azar se escanearon en una impresora EPSON

L380<sup>®</sup>, las imágenes de escáner se procesaron en el programa ImageJ<sup>®</sup> para obtener el área foliar (AF; cm<sup>2</sup>), y con el peso seco de las acículas (BA; g) se generó un modelo de regresión exponencial para estimar el AF de las plantas restantes como  $AF = 618,2e^{-0,9343(1/BA)}$ , con bondad de ajuste de  $R^2_{adj} = 0,91$ ;  $\beta_0 = 70,6$ ;  $\beta_1 = 0,24$  y  $F_c = 301,82^{**}$ , con alta significancia.

#### Resultados y Discusión

##### Índices de calidad de planta

En los análisis de varianza se encontraron diferencias significativas entre procedencias

( $P \leq 0,05$ ) en los contenidos de clorofila, longitud de raíz, biomasa radical, índice de esbeltez, índice de lignificación y las relaciones A/LR y BA/BR (Tabla II). Un aspecto relevante del análisis de varianza fue la inexistencia de diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en las repeticiones (en todas las variables) y entre progenies dentro de procedencias (progenies anidadas en procedencias) para el índice de esbeltez, mostrando que dentro de cada procedencia, las progenies presentaron un comportamiento uniforme, lo cual ayuda a obtener el efecto promedio de las procedencias. Por otro lado, en el resto de las

variables las plántulas se diferenciaron dentro de las procedencias ( $P \leq 0,05$ ), teniendo el mayor error experimental la altura de planta e índice de lignificación; el coeficiente de variación muestra alta heterogeneidad ( $CV > 33\%$ ) en todas las variables de biomasa, la relación BA/BR y el índice de Dickson.

La altura de planta de las diversas procedencias mostraron un promedio de 25,1cm a los siete meses, no diferenciando las progenies (Tabla III). A la edad de tres meses alcanzaron un crecimiento de 10,7cm, valor superior al reportado por Castellanos-Acuña *et al.* (2013), quienes encontraron una altura

TABLA I  
INTERVALOS DE CALIDAD DE PLÁNTULA DE *Pinus* PARA ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS

Variable	Calidad de plántula		
	B = Baja***	M = Media**	A = Alta*
Altura (A)	<12	(12-15)	>15
Diámetro (D)	<2,5	(2,5-4)	>4
Relación = A/longitud de raíz	>2,5	(2-2,5)	<2
Relación = biomasa aérea/biomasa de raíz	>2,5	(2-2,5)	<2
ID (índice de Dickson)	<0,2	(0,2-0,5)	>0,5
IE (índice de esbeltez)	$\geq 8,0$	(8,0 - 6,0)	<6,0

\*Alta: plantas con mínima presencia de características indeseables, y que puede aceptar hasta dos valores con calidad M, pero en ningún caso valores con calidad B. Calificación relativa (CR= 100).

\*\*Media: acepta hasta tres valores de calidad M y una variable con calificación de calidad B. (CR = 80).

\*\*\*Baja: plantas que presentan dos o más valores de calidad B, plantas que tendrán baja supervivencia y reducido desarrollo en los sitios de plantación (Sáenz-Romero *et al.*, 2014). (CR= 50).

TABLA II  
SIGNIFICANCIA DE CUADRADOS MEDIOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA EN VARIABLES MEDIDAS A PLÁNTULAS DE *Pinus pseudostrabus* var. *oaxacana*

Variable†	Fuente de variación				CV (%)
	Repetición	Procedencia	Proge(Proced)	Error	
Clorofila	16,4307 ns	26,196 *	13,840*	8,578	20,5
Diámetro (D)	0,0087 ns	0,590 ns	1,450**	0,674	18,7
Altura (A)	73,0429 ns	38,252 ns	48,065**	20,044	18,1
Longitud de raíz (LR)	0,6399 ns	13,998**	4,027**	1,335	8,8
Biomasa de tallo	0,2019 ns	0,175 ns	0,302**	0,108	36,0
Biomasa de hojas	0,8695 ns	0,374 ns	1,835**	0,761	38,4
Biomasa aérea (BA)	1,9095 ns	1,054 ns	3,330**	1,319	36,0
Biomasa de raíz (BR)	0,0004 ns	1,125**	0,451**	0,226	36,3
Biomasa total (BT)	1,8526 ns	2,517 ns	5,649**	2,409	34,5
Índice de esbeltez (A/D)	4,9553 ns	4,359*	1,754 ns	1,317	19,9
Relación A/LR	0,5067 ns	0,415*	0,359**	0,127	18,7
Relación BA/BR	1,0781 ns	5,888**	1,739**	0,755	33,4
Índice de Dickson	0,0037 ns	0,064 ns	0,096**	0,049	39,3
IL = BT/PFT	149,11 ns	393,532**	95,948**	37,049	18,6
Área foliar	1130,38 ns	3544,829 ns	12684,646**	6242,006	21,1

IL: índice de lignificación, PFT: peso fresco total de la planta, Proge(Proced): procedencia de colecta. \* $P \leq 0,05$ ; \*\*  $P \leq 0,01$ ; ns:  $P > 0,05$ .

de 8,8cm a esa edad. El diámetro al cuello de la raíz entre procedencias mostró el mismo comportamiento que la altura, teniendo un promedio de 4,4mm. Para la misma especie y la misma edad (siete meses), Rueda-Sánchez *et al.* (2012) reportaron promedios de 13,7cm de altura y 2,4mm de diámetro; Sáenz-Romero *et al.* (2010) hallaron un promedio de 22,3cm en altura y 4,3mm en diámetro en estudio realizado en viveros de clima templado en Michoacán; mientras que Villegas-Jiménez *et al.* (2016) a los 5,5 meses encontraron una altura de 16,6cm y un diámetro de 2,49mm.

No todas las progenies presentaron ramas al momento del muestreo destructivo, lo cual se refleja en la diferenciación del contenido de clorofila (Tabla III) entre procedencias; la clorofila, responsable de la captación de la radiación solar en el proceso de fotosíntesis (Zarco-Tejada *et al.*, 2004) mostró valor superior de 13,4 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ , que corresponde a las progenies procedentes de Ixtepeji, y que podrían ser las más aptas para soportar disturbios en el sitio de plantación (Haase, 2008). Esta condición también fue hallada por Villegas-Jiménez *et al.* (2016) en *P. pseudostrobus* a los 2,7 y 5,5 meses mediante la emisión de braquiblastos sobre las ramillas primarias y secundarias. Las diferencias pueden atribuirse a las variaciones entre procedencias, lo que puede tener un componente genético (Ramírez-García *et al.*, 2001) ya que las plantas se encontraron en condiciones homogéneas en el vivero.

La longitud del tallo limpio corresponde solo a las plántulas con ramas y esta variable ha sido utilizada exitosamente durante décadas para evaluar el incremento de árboles (Vargas-Larreta *et al.*, 2010); en datos no mostrados aquí, se obtuvieron valores de 6,7cm en los árboles procedentes de Yolox.

Una característica importante para el éxito en el establecimiento y supervivencia de las plantas es el crecimiento y desarrollo de la raíz, pues de ésta

TABLA III  
CARACTERÍSTICAS DE PLÁNTULAS DE *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* DE DIVERSAS PROCEDENCIAS A LOS SIETE MESES DE CRECIMIENTO EN VIVERO

Variable†	Procedencia del sur de México			
	Ixtepeji	Jaltianguis	Teococuilco	Yolox
Clorofila ( $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ )	13,4 $\pm$ 0,4 a	12,4 $\pm$ 0,28 ab	12,1 $\pm$ 0,30 ab	11,4 $\pm$ 0,52 b
Diámetro (D; mm)	4,3 $\pm$ 0,11 a	4,3 $\pm$ 0,11 a	4,5 $\pm$ 0,11 a	4,5 $\pm$ 0,23 a
Altura (A; cm)	25,8 $\pm$ 0,77 a	24,8 $\pm$ 0,60 a	24,0 $\pm$ 0,57 a	25,6 $\pm$ 1,04 a
Longitud de raíz (LR; cm)	13,0 $\pm$ 0,12 b	13,8 $\pm$ 0,24 a	12,8 $\pm$ 0,13 b	12,5 $\pm$ 0,34 b
Biomasa de tallo (g)	0,9 $\pm$ 0,06 a	0,8 $\pm$ 0,04 a	0,9 $\pm$ 0,05 a	1,0 $\pm$ 0,08 a
Biomasa de hojas (g)	2,3 $\pm$ 0,12 a	2,2 $\pm$ 0,12 a	2,3 $\pm$ 0,12 a	2,3 $\pm$ 0,20 a
Biomasa aérea (BA; g)	3,3 $\pm$ 0,17 a	3,0 $\pm$ 0,15 a	3,2 $\pm$ 0,16 a	3,3 $\pm$ 0,27 a
Biomasa de raíz (BR; g)	1,5 $\pm$ 0,09 a	1,3 $\pm$ 0,05 ab	1,2 $\pm$ 0,06 b	1,1 $\pm$ 0,11 b
Biomasa total (BT; g)	4,8 $\pm$ 0,26 a	4,3 $\pm$ 0,19 a	4,4 $\pm$ 0,20 a	4,5 $\pm$ 0,35 a
Índice de esbeltez (A/D)	6,1 $\pm$ 0,18 a	5,9 $\pm$ 0,17 ab	5,5 $\pm$ 0,13 b	5,9 $\pm$ 0,20 ab
Relación A/LR	2,0 $\pm$ 0,06 ab	1,8 $\pm$ 0,05 b	1,9 $\pm$ 0,04 b	2,1 $\pm$ 0,09 a
Relación BA/BR	2,3 $\pm$ 0,08 b	2,3 $\pm$ 0,09 b	2,8 $\pm$ 0,14 a	3,1 $\pm$ 0,22 a
Índice de Dickson	0,6 $\pm$ 0,04 a	0,5 $\pm$ 0,03 a	0,6 $\pm$ 0,03 a	0,5 $\pm$ 0,04 a
ÍL= BT/PFT†	35,0 $\pm$ 1,30 a	28,8 $\pm$ 0,70 b	33,4 $\pm$ 0,72 a	34,4 $\pm$ 1,18 a
Área foliar ( $\text{cm}^2$ )	384,7 $\pm$ 11,93 a	368,6 $\pm$ 10,92 a	371,2 $\pm$ 9,91 a	387,3 $\pm$ 17,55 a

ÍL: índice de lignificación, PFT: peso fresco total de la planta. Letras distintas en la misma fila representan diferencias significativas (Duncan 0,05). La media se incluye  $\pm$ error estándar (n=5 plantas por progenie).

depende en gran medida la absorción de agua y nutrientes esenciales para diversos procesos fisiológicos (Córdoba-Rodríguez *et al.*, 2011); la longitud de la raíz fue mayor en progenies de Jaltianguis (13,8cm), que al igual que las plántulas procedentes de Ixtepeji, mostraron los valores más elevados en biomasa radical (Tabla III).

Las variables peso seco de la parte aérea (tallos+hoja), biomasa total de la planta, índice de calidad de Dickson y área foliar mostraron promedios similares en cada una de las procedencias ( $P>0,05$ ). Aguilera *et al.* (2016) produjeron plantas de *P. pseudostrobus* de 10 meses de edad con 1,3g de peso seco de la raíz y 4,2g de peso seco de la parte aérea, valores que se encuentran por debajo de los hallados en este estudio. Muñoz *et al.* (2014) describieron que árboles de *P. michoacana* y *P. ayacahuite* producidos en vivero tuvieron a los 10 meses de edad 10,4g y 7,4g de biomasa aérea y 3,6g y 3,04g en raíz, respectivamente.

En el presente trabajo, el análisis de varianza arrojó diferencias significativas ( $P\leq 0,05$ ) para la relación altura/longitud de la raíz, obteniendo el promedio más alto (2,1) las plantas que proceden de

Yolox; mientras para la relación biomasa aérea/biomasa de raíz, las progenies de Teococuilco y Yolox mostraron mejores resultados ( $>2,8$ ). El índice de lignificación mostró valores menores (28,8%) en progenies de Jaltianguis que en el resto de las plántulas. Las progenies de Ixtepeji generan el mejor índice de esbeltez, ya que incrementan 6,1cm de altura por cada mm de crecimiento diametral. Incluyendo características de altura, diámetro de cuello, RAR, RAS, índice de esbeltez e índice de calidad de Dickson, las progenies mejor calificadas (Figura 1) fueron las procedentes de Jaltianguis (580) e Ixtepeji (560). El IE es un indicador de la resistencia de la planta a la desecación por viento, de su sobrevivencia y crecimiento en sitios secos. Valores más altos indican que la planta es delgada del tallo en relación a la altura que tiene (Prieto *et al.*, 2009).

En altura y diámetro de cuello las cuatro procedencias corresponden a planta de alta calidad, reflejo de una buena selección de fenotipos y adecuado manejo en vivero. En la misma especie, en altura de planta, Sáenz-Romero *et al.* (2010, 2014) reportaron calidad alta. La altura de planta es un buen predictor de la altura

futura en campo, y aunque no lo es para la supervivencia, influye en la competencia de la planta con la vegetación herbácea y arbustiva que la rodea (Prieto *et al.*, 2009; Sáenz-Romero *et al.*, 2010). El diámetro define la robustez del tallo y se asocia con el vigor y sobrevivencia de la planta (Prieto *et al.*, 2009).

En el índice de calidad de Dickson las plantas de árboles de tres procedencias fueron calificadas como de alta calidad, excepto las progenies de Yolox (Figura 1). El ID relaciona la biomasa total con el IE y RAS; en este caso, un aumento en el ID representa plantas de mejor calidad, con individuos más equilibrados con relación a la parte aérea y radical (Oliet, 2000).

La relación altura/longitud de raíz para progenies de Ixtepeji, Jaltianguis y Teococuilco se clasificó como de alta calidad, mientras para plántulas de Yolox de calidad media. La relación biomasa seca aérea y biomasa seca raíz, se cataloga para procedencias de Ixtepeji y Jaltianguis como de calidad media y de calidad baja para Teococuilco y Yolox (Figura 1), indicativo que existe una desproporción entre la parte aérea y la raíz. La biomasa ha

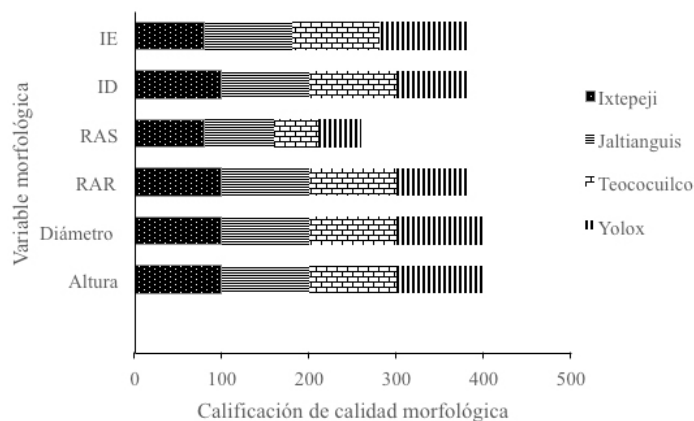


Figura 1. Calificación de calidad morfológica de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* de diversas procedencias del sur de México. RAR: relación altura/longitud de raíz, RAS: biomasa aérea/biomasa de raíz, ID: índice de calidad de Dickson, IE: índice de esbeltez; A: calidad alta (CR 100), M: calidad media (CR 80), B: calidad baja (CR 50) (Santiago *et al.*, 2007; CONAFOR 2009; Sáenz-Romero *et al.*, 2010; Rueda-Sánchez *et al.*, 2013; Sáenz-Romero *et al.*, 2014).

sido correlacionada con la supervivencia y crecimiento posterior de muchas especies (Rodríguez, 2008). En la misma especie Sáenz-Romero *et al.* (2014) encontraron en esta variable plantas de baja calidad.

De acuerdo con los intervalos de calidad de plántula de *Pinus* para atributos morfológicos (Santiago *et al.*, 2007; CONAFOR 2009; Sáenz-Romero *et al.*, 2010, 2014; Rueda-Sánchez *et al.*, 2013), las plántulas de Jaltianguis e Ixtepeji son de alta calidad (Figura 2). Sáenz-Romero *et al.* (2014) mencionan que es permisible dos valores con calidad media pero ningún valor con calidad baja. El análisis cluster permite observar a una distancia de 89,2 la separación de las progenies 31, 32, 35, 38 y 43 de Teococuilco, 19 y 22 de Jaltianguis y 9 de Ixtepeji (Figura 2).

La calidad alta de las plántulas de Ixtepeji y Jaltianguis, al recibir las mismas labores culturales se podría deber a la calidad genética que heredaron de sus progenitores. Sin embargo, esto no se puede asegurar porque las plantas al momento de la investigación estaban muy jóvenes; por ello, sería conveniente seguir con el monitoreo de los ensayos de progenie establecidos en campo

para corroborar esta información cuando las plantas tengan mayor edad y mediante esto tener caracteres genéticos de alta heredabilidad para hacer selección temprana de progenitores.

#### Correlación ambiente del sitio de colecta-progenitor-progenie

La variable longitud de tallo limpio de los progenitores estuvo mayormente asociada con las variables de las progenies, teniendo correlación negativa ( $P < 0,05$ ) con el volumen de acículas, raíz lignificada y no lignificada, peso fresco total y contenido de humedad del tallo, indicativo que fenotipos con mayor longitud de tallo limpio podrían generar menor valor en las variables antes mencionadas de las progenies; sin embargo, el tallo limpio de progenitores está positivamente relacionado con el índice de lignificación, o sea, con la proporción de materia seca respecto a la biomasa verde. La biomasa que puede generar una plántula se refleja en otros caracteres morfológicos, como el diámetro de cuello, el índice de esbeltez y el índice de Dickson, características de calidad que al asociarlas a sitios de plantación adecuados pueden generar fenotipos con mejor desempeño que sus

progenitores (Binotto *et al.*, 2010; Touhami *et al.*, 2017; Kuan-Hung *et al.*, 2019). La altura total del progenitor se relaciona ( $P < 0,05$ ) de forma negativa con el número de ramas y positiva con el índice de robustez, lo cual muestra que seleccionar árboles con mayor altura generará progenies resistentes a la desecación por el viento, con mayor supervivencia y crecimiento potencial en sitios secos (Sáenz-Romero *et al.*, 2010; Touhami *et al.*, 2017). En ensayos de progenies de *Pinus*, Farfán *et al.* (2002) encontraron correlación positiva significativa entre altura total y el diámetro normal, lo que permite utilizarla como un criterio de selección temprana. La edad de los progenitores se asocia de forma negativa con el peso fresco de la raíz no lignificada, el contenido de humedad de la raíz lignificada y la raíz no lignificada. Se obtienen progenies más lignificadas de árboles de mayor edad, por ello la edad del fenotipo selecto vs índice de lignificación mostró correlación significativa ( $r = 0,42$ ).

En cuanto a las variables climáticas de los sitios donde se seleccionaron los árboles superiores, la temperatura

media anual se asoció positivamente con el peso seco de raíz no lignificada y de forma negativa con el contenido de humedad de la raíz no lignificada de las progenies; esta misma variable se asoció de forma positiva con la precipitación media anual. El peso seco de raíz no lignificada se asocia de manera positiva ( $r = 0,35-0,39$ ) con la temperatura mínima media del mes más frío y temperatura media en los meses más cálidos. En *P. pinceana*, Baquedano y Castillo (2007) y Córdoba-Rodríguez *et al.* (2011) encontraron que las plantas procedentes de lugares donde existe una menor precipitación y un mayor índice de aridez produjeron un mayor número de raíces principales; esta característica puede ser un mecanismo adaptativo importante asociado a las condiciones de aridez, porque las raíces principales pueden llegar a horizontes más profundos y confieren a las plantas una mayor capacidad de exploración de la humedad del suelo. Además, las progenies generaron mejor índice de esbeltez cuando el germoplasma del fenotipo se colectó a menor altitud ( $r = -0,29$ ).

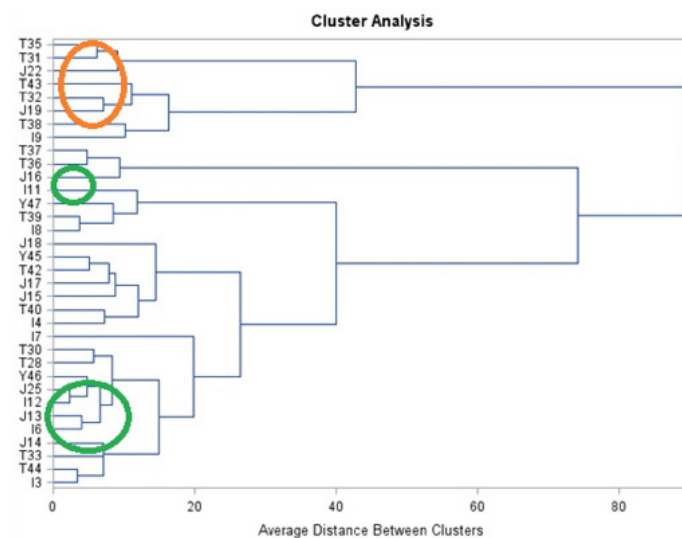


Figura 2. Progenies de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* con las mejores (círculo inferior) y peores (círculo superior) características morfológicas. La letra inicial de progenies indica la procedencia, I: Ixtepeji, T: Teococuilco, J: Jaltianguis, Y: Yolox; y el número de identificación del fenotipo.

## Conclusiones

Las plantas procedentes de semillas de árboles de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* seleccionados como superiores, de las procedencias de Ixtepeji y Jaltianguis, se clasificaron como de alta calidad morfológica, resaltando su excelente altura y diámetro de planta, relación altura/longitud de raíz, índice de Dickson e índice de robustez. En casi todas las variables evaluadas se diferenciaron las progenies y sus procedencias, mostrando desarrollo sobresaliente los fenotipos 22 y 19 de la localidad de Jaltianguis y 6, 11 y 12 de Ixtepeji. Es deseable realizar una evaluación temprana de dichas progenies en sitios de plantación. Algunas características del sitio de colecta del germoplasma, tales como la altitud, precipitación y temperatura media, así como características de los progenitores (altura, longitud de tallo limpio y edad), pueden influir en algunas características de las progenies, como son el índice de lignificación, índice de esbeltez y contenido de biomasa radical.

## REFERENCIAS

- Aguilera RM, Aldrete A, Martínez TT, Ordáz CVM (2016) Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Rev. Mex. Cienc. For.* 7(34): 7-19.
- Baquedano FJ, Castillo FJ (2007) Drought tolerance in the Mediterranean species *Quercus coccifera*, *Quercus ilex*, *Pinus halepensis* and *Juniperus phoenicea*. *Photosynthetica* 45: 229-238.
- Binotto AF, Lúcio AD, Lopes SJ (2010) Correlation between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. *CERNE* 16: 457-464. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602010000400005>
- Cambrón VH, Suzán H, Vargas JJ, Sánchez NM, Sáenz-Romero C (2013) Estrategias de crecimiento y distribución de biomasa en *Pinus pseudostrobus* bajo diferentes condiciones de competencia. *Rev. Fit. Mex.* 36: 71-79.
- Castellanos-Acuña D, Sáenz-Romero C, Linding-Cisneros RA, Sánchez-Vargas NM, Lobbit P, Montero-Castro JC (2013) Variación altitudinal entre especies y procedencias de *Pinus pseudostrobus*, *P. devoniana* y *P. leiophylla* ensayo de vivero. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Amb.* 19: 399-411.
- CONAFOR (2009) *Criterios Técnicos para la Producción de Especies Forestales de Ciclo Corto (Rápido Crecimiento), con Fines de Restauración*. Comisión Nacional Forestal. México. 9 pp.
- Córdoba-Rodríguez D, Vargas-Hernández JJ, López-Upton J, Muñoz-Orozco A (2011) Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia* 45: 493-506.
- Coste S, Baraloto C, Leroy C, Marcon E, Renaud A, Richardson AD, Roggy JC, Schimann H, Uddling J, Hérault J (2010) Assessing foliar chlorophyll contents with the SPAD-502 chlorophyll meter: a calibration test with thirteen tree species of tropical rainforest in French Guiana. *Annals of For. Sc.* 67(6): 1-5. DOI: 10.1051/forest/2010020
- Delgado P, Salas-Lizana R, Vázquez-Lobo A, Wegier A, Anzidei M, Alvares-Buylla ER, Vendramin GG, Piñeiro D (2007) Introgressive hybridization in *Pinus montezumae* Lamb and *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Pinaceae): morphological and molecular (cpSSR) evidence. *Intern. J. Plant Sci.* 168: 861-876.
- Espitia M, Murillo O, Castillo C, Arizmendi H, Paternina N (2010) Ganancia genética esperada en la selección de acacia (*Acacia mangium* Willd.) en Córdoba (Colombia). *Rev. U.D.C.A., Act. Divulg. Cient.* 13: 99-107.
- Farfán EG, Jasso J, López UJ, Vargas HJJ, Ramírez C (2002) Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* var. *ayacahuite* Ehren. *Rev. Fit. Mex.* 25: 239-246.
- Gomes JM, Couto L, Leite HG, Xavier A, García SLR (2002) Parámetros morfológicos en la evaluación de semilla de *Eucalyptus grandis*. *Arvore* 26: 655-664.
- Haase DL (2008) Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. *Tree Plant. Notes* 52: 24-30.
- Kuan-Hung L, Chun-Wei W, Yu-Sen C (2019) Applying Dickson quality index, chlorophyll fluorescence, and leaf area index for assessing plant quality of *Pentas lanceolata*. *Not. Bot. Hort. Agrobot.* 47: 169-176. DOI:10.15835/nbha47111312
- Muñoz FHJ, Sáenz RJT, Coria AVM, García MJJ, Hernández RJ, Manzanilla QGE (2014) Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Rev. Mex. Cienc. For.* 6(27): 72-89.
- Oliet J (2000) *La Calidad de la Postura Forestal en Vivero*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Córdoba. España. 93 pp.
- Prieto RJA, García RJL, Mejía BJM, Huchin AS, Aguilar VJL (2009) *Producción de Plántula del Genero Pinus en Vivero del Clima Templado Frio*. Publicación Especial N° 28. Campo Experimental Valle del Guadiana, INIFAP-SAGARPA. México. 48 pp.
- Ramírez-García EO, Alba-Landa J, Mendizábal-Hernández LC (2001) Evaluación en vivero de un ensayo de procedencias/progenie de *Pinus teocote* Schl. & Cham. *For. Veracruzana* 3: 27-34.
- Rodríguez TDA (2008) *Indicadores de Calidad de Planta Forestal*. Universidad Autónoma Chapingo. Mundi Prensa. México. 156 pp.
- Rueda-Sánchez A, Benavides-Solorio JD, Prieto-Ruiz J, Sáenz RJT, Orozco-Gutiérrez G, Molina CA (2012) Calidad de la planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Rev. Mex. Cienc. For.* 3(14): 70-82.
- Rueda-Sánchez A, Benavides-Solorio JD, Sáenz Reyes JT, Muñoz FHJ, Prieto-Ruiz JA, Orozco-Gutiérrez G (2013) Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Rev. Mex. Cienc. For.* 5(22): 58-73.
- Sáenz-Romero JT, Muñoz FHJ, Villaseñor RF, Prieto RJA, Rueda SA (2010) *Calidad de Planta en Viveros Forestales de Clima Templado en Michoacán*. Folleto Técnico. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. México. 50 pp.
- Sáenz JT, Muñoz HJ, Rueda A (2011) *Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán*. Libro Técnico N° 10. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. México. 213 pp.
- Sáenz-Romero C, Rehfeldt GE, Soto-Correa JC, Aguilar-Aguilar S, Zamarripa-Morales V, López-Upton J (2012) Altitudinal genetic variation among *Pinus pseudostrobus* populations from Michoacán, Mexico, two locations shadehouse test results. *Rev. Fit. Mex.* 35: 111-120.
- Sáenz-Romero JT, Muñoz FHJ, Ángel PCM, Rueda AS, Hernández RJ (2014) Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero Morelia, estado de Michoacán. *Rev. Mex. Cienc. For.* 5(26): 98-111.
- Sahagún CJ (1998) *Construcción de Análisis de los Modelos Fijos, Aleatorios y Mixtos*. Boletín Técnico N° 2. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. 64 pp.
- Salaya-Domínguez JM, López-Upton J, Vargas-Hernández JJ (2012) Variación genética y ambiental en dos ensayos de progenies de *Pinus patula*. *Agrociencia* 46: 519-534.
- Santiago OT, Sánchez VM, Monroy RC, García GS (2007) *Manual de Producción de Especies Forestales Tropicales en Contenedor*. Folleto Técnico N° 44. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental El Palmar. México. 73 pp.
- Touhami I, Khorchani A, Bougarradh M, Elaieb MT, Khaldi A (2017) Assessing the quality of seedlings in small-scale nurseries using morphological parameters and quality indicators to improve outplanting success. *Plant Sociology* 54: 29-32. DOI 10.7338/pls2017541S1/04
- Vargas-Larreta B, Corral-Rivas J, Aguirre-Calderón O, Nagel J (2010) Modelos de crecimiento de árbol individual: Aplicación del Simulador BWINPro7. *Madera Bosques* 16(4): 81-104.
- Villegas-Jiménez DE, Rodríguez-Ortiz G, Chávez-Servia JJ, Enríquez-del-Valle JR, Cruz-Carrillo JJ (2016) Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Gayana Bot.* 73: 113-123.
- Viveros-Viveros H, Sáenz-Romero C, López-Upton J, Vargas-Hernández JJ (2005) Variación genética altitudinal en el crecimiento de plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en campo. *Agrociencia* 39: 575-587.
- White TL, Adams WT, Neale DB (2007) *Forest Genetics*. CABI. Oxfordshire, RU. 682 pp.
- WorldClim (2019) <https://worldclim.org/bioclim> (Cons 15/11/2019).
- Zarco-Tejada P, Miller J, Harron J, Hu B, Noland T, Goel N, Mohammed G, Sampson P (2004) Needle chlorophyll content estimation through model inversion using hyperspectral data from boreal conifer forest canopies. *Rem. Sens. Environ.* 89: 189-199.