

FENOTIPOS SOBRESALIENTES DE *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* DE LA SIERRA NORTE DE OAXACA, MÉXICO

[OUTSTANDING PHENOTYPES OF *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* FROM THE SIERRA NORTE OF OAXACA, MEXICO]

Gerardo Rodríguez-Ortiz^{1§}, José Antonio De los Reyes-Flores¹, Adán Hernández-Hernández², José Raymundo Enríquez-del-Valle¹, Minerva Menes-Matías¹

¹Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. ²INIFAP Campo Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca.

[§]Autor para correspondencia (gerardo.ro@voaxaca.tecnm.mx).

RESUMEN

Las semillas de calidad obtenidas después de una rigurosa y estricta metodología de selección por comparación de árboles selectos con sus testigos, puede generar germoplasma de calidad para plantaciones y reforestaciones de la especie. El objetivo fue estimar la variación fenotípica de acuerdo al origen y tipo de árbol selecto de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en las comunidades de la Sierra Norte de Oaxaca. De las poblaciones seleccionadas en 2017 y 2018 se encontraron 191 árboles por el método de comparación con árboles testigos en rodales naturales, se tomaron datos morfológicos y de sitio. Para variables nominales y ordinales se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para diferenciar características entre orígenes y árboles. De acuerdo con su origen y la calificación del índice de sitio, se realizó un análisis de varianza paramétrico y prueba de medias (Duncan, 0.05). La rectitud de fuste no es similar en los testigos ($P=0.0001$), siendo heterogéneos los árboles; así también de acuerdo a su origen no son similares todos los árboles selectos y sus testigos ($P=0.0001$). La poda natural difiere con la calidad del índice de sitio entre los árboles selectos y sus testigos ($P=0.0018$), mismo comportamiento se encontró con la forma de copa ($P=0.0005$) y fuste recto ($P=0.3252$). Los fenotipos selectos con las mejores dimensiones en diámetro normal, altura y volumen fueron de la comunidad en Ixtlán, siendo los procedentes de Ixtepeji los más jóvenes. El uso estricto de la metodología de selección de árboles permite identificar individuos con características superiores en rodales naturales para suministrar semilla de calidad.

Palabras clave: Árboles testigo, características morfológicas, rectitud de fuste.

ABSTRACT

Quality seeds obtained after a rigorous and strict selection methodology by comparison of candidate trees with respect to their witnesses, generates quality germplasm for use in commercial forest plantations, restoration and reforestation of the species. The objective was to estimate the phenotypic variation according to the origin and type of select tree of *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* in the communities of the Sierra Norte of Oaxaca. From the selected populations in 2017 and 2018 and using witness tree comparison method, 191 trees were found in natural stands, registering morphological and site data. For nominal and ordinal variables, the non-parametric Kruskal-Wallis test was used to differentiate characteristics between origins and trees. According to its origin and the site index rating, a parametric analysis of variance and test of means (Duncan, 0.05) were performed. The stem straightness is not similar in the witness ($P=0.0001$), the trees being heterogeneous; likewise, according to their origin, all the selected trees and their witness are not similar ($P=0.0001$). The natural pruning differs with the quality of the site index between the selected trees and their witness ($P=0.0018$), the same behavior was found with the crown shape ($P=0.0005$) and

Recibido: 29-septiembre-2022

Aceptado: 30-noviembre-2022

straight stem ($P=0.3252$). The outstanding phenotypes with the best dimensions in diameter at breast height and volume were from the Ixtlán community, being those from Ixtepeji the youngest. The strict use of the selection methodology for trees has allowed to identify individuals with superior characteristics in natural stands in order to supply seed quality.

Index words: Witness trees, Schumacher model, site index, phenotypic variation.

INTRODUCCIÓN

Pinus pseudostrobus var. *apulcensis* es un árbol que tiene entre 25 y 40 m de alto y diámetro normal de hasta 1 m; esta especie es de crecimiento medio, corteza de color oscura, gruesa y agrietada de hojas perennes (Martínez, 1992). Los meses de floración van de febrero a mayo y los frutos se encuentran listos para colectarse de noviembre a febrero. La especie soporta heladas y crece en condiciones de clima templado y semiárido suhúmedo (CONAFOR, 2017).

Debido a la variabilidad que presenta este pino han sido descritas varias especies y variedades, de las cuales solamente una es digna de considerarse: *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* (Lindley) Shaw (sinónimos *P. oaxacana*, *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*). La diferencia consiste en que las escamas del cono tienen apófisis y umbos muy alargados, pero estos caracteres son muy variables y hasta llegan a un punto donde no se pueden distinguir de los conos de *P. pseudostrobus* “típica” (Farjón *et al.*, 1997).

En rodales coetáneos la selección individual tiene varias ventajas en relación a rodales mezclados: a) se tiene la certeza de que la edad no diferirá ampliamente entre árboles y que las expresiones relativas del crecimiento, forma, tolerancia a las enfermedades y adaptabilidad, no se confundirán con los efectos de la edad. b) Los árboles crecen en situaciones competitivas similares a las que se encuentran cuando se establecen en plantaciones comerciales (Mendizábal-Hernández *et al.*, 2009). Así mismo, en este tipo de rodales puede utilizarse el sistema de selección “árbol de comparación”, en el cual los árboles considerados para la selección se comparan con los mejores del rodal (Sotolongo-Sospedra *et al.*, 2017).

Los fenotipos sobresalientes normalmente se encuentran en rodales de buenas características, por lo mismo conviene concentrar la búsqueda en rodales superiores al promedio en cuanto a las características de interés. En rodales de características pobres, es poco frecuente encontrar algún árbol que justifique su selección (Paredes-Veloso *et al.*, 1997). La selección de árboles es un método de mejoramiento genético, utilizando caracteres que permiten separar genotipos en base a características fenotípicas (Cerón-Rojas y Sahagún-Castellanos, 2005).

En este estudio se empleó el método de selección de árboles por comparación o testigo. Este índice de selección es útil para la selección de genotipos con base en múltiples características fenotípicas simultáneamente, es decir, seleccionar los mejores árboles, aunque el criterio de lo que es mejor solo dependa de lo que se desea mejorar en relación a la identificación y selección de árboles de alto rendimiento, así será en concordancia la ganancia genética que se alcanzará (Vallejos *et al.*, 2010).

Con la selección de árboles superiores, después del mismo se recolecta material de germoplasma esto para obtener semillas de calidad, es posible garantizar el éxito de la especie y evitar su extinción, conservando sus mejores características; logrando de esta forma una eficiencia en el uso de recursos a largo plazo y obtener material de calidad, lo que representa un valor agregado en el uso del suelo y los recursos forestales a obtener (Ortiz-Muñoz *et al.*, 2016).

Tomando como uno de los criterios principales de la selección la resistencia a factores ambientales desfavorables o plagas, así como también en relación a la calidad de la madera y producción de semilla, así poder establecer rodales o plantaciones locales como fuentes de germoplasma para el establecimiento de plantaciones a nivel estatal. El estudio de investigación en ensayos de especies y procedencias han

demostrado que la fuente de germoplasma tiene un fuerte efecto en la supervivencia y en el subsecuente desarrollo de las especies cuando se basan en la aplicación correcta del mejoramiento genético (Alba-Landa, 2003).

De acuerdo a la demanda de germoplasma de calidad, dependiendo a su objetivo de uso, ya sea para madera aserrada, restauración o conservación, la especie será seleccionada a las características fenotípicas de la misma para llegar a los objetivos mencionados. La especie seleccionada fue *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* de la Sierra Norte, en las comunidades de Santa Catarina Íxtepeji, Ixtlán de Juárez, Santa María Jaltianguis, Teococuilco de Marcos Pérez y San Pedro Yolox; la especie tiene potencial para establecer plantaciones comerciales, cuyo objetivo sea la producción de madera aserrada en Oaxaca, Chiapas y Guerrero, donde tiene superficie potencial para el desarrollo (CONAFOR, 2015).

El verdadero propósito es la selección del patrón de desarrollo en altura que el rodal puede esperar seguir durante el resto de su vida como un medio para calificar la productividad del sitio (Hernández-Ramos *et al.*, 2014); en este sentido, pocos o nulos son los trabajos en Oaxaca que relacionan la calidad de sitio con características de los árboles selectos.

El objetivo de este estudio fue caracterizar árboles sobresalientes de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* por el método de selección por comparación de árboles candidatos respecto a sus testigos y su relación con las características de sitio de la Sierra Norte de Oaxaca. La hipótesis es que los mejores fenotipos de esta especie se asocian a los rodales naturales que se encuentran en condiciones saludables con densidades de población regulares; estos factores influyen directamente para que un árbol se considere fenotípicamente superior.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se desarrolló en el 2018 en la región de la Sierra Norte de Oaxaca en las comunidades de Santa Catarina Ixtepeji, Ixtlán de Juárez, Santa María Jaltianguis, Teococuilco de Marcos Pérez y San Pedro Yolox; en todas ellas se encontraron rodales naturales de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*.

Selección de árboles superiores

El contacto con las comunidades forestales fue mediante los asesores técnicos forestales, responsables de la asistencia técnica en el manejo forestal. Previo a la búsqueda de los ejemplares, se recorrieron los sitios potenciales para conocer el estado fitosanitario del rodal, se realizó el recorrido a los rodales mediante transectos. En el proceso de búsqueda, primero se ubicaron árboles candidatos y después los testigos.

Se registraron las características cualitativas importantes que son la identificación de la especie, su dominancia o codominancia en el rodal, el estado de sanidad del árbol seleccionado, rectitud de fuste del individuo, forma de copa, ángulo de ramas, poda natural y su estado físico. Las características dasométricas registradas en campo fueron: diámetro normal (cm) utilizando una cinta métrica, altura total y fuste limpio (m), mediante un clinómetro tipo Suunto Haglof®, diámetro de la copa (m), la edad (años) mediante el uso de taladro de Pressler, altitud (m) empleando el GPS®.

Se compararon los datos del árbol candidato contra los testigos de acuerdo a la metodología de Muñoz-Flores *et al.* (2013) para valorar si los árboles seleccionados serían tomados en cuenta para la colecta de las semillas en un futuro. Los datos a comparar entre fenotipos y orígenes fueron las variables cualitativas (rectitud de fuste, poda natural, forma de copa) y las variables cuantitativas (diámetro normal, altura, edad, volumen). Después de la evaluación, si los árboles candidatos resultaron con mayor valor respecto al promedio de los testigos pasaron a ser árboles superiores, por lo que se procedió al marqueo con pintura de agua, asignándole valores consecutivos.

Manejo y análisis de datos

La edad se determinó mediante el conteo visual de anillos de crecimiento en las virutas extraídas en cada uno de los árboles. El índice de sitio (IS) se calculó mediante el ajuste del modelo de Shumacher:

$$AT = \beta_0 e^{\beta_1 \left(\frac{1}{E}\right)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: AT = altura total (m), E= edad (años), β_0 = parámetro del valor asintótico, β_1 parámetro de la tasa de crecimiento, e = base de los logaritmos naturales (2.7182818).

Simplificando:

$$AT = IS e^{\beta_1 \left(\frac{1}{Eb} - \frac{1}{E}\right)} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde: Eb= edad base (años), IS= índice de sitio (m).

El ajuste mostró un coeficiente de determinación (R^2_{adj}) de 0.94; con el ajuste del modelo se estimó el IS utilizando la ecuación 2 generada, así como para la generación de curvas anamórficas para calificar a los árboles sobresalientes y para ello fueron distribuidas en cinco rangos; en cada rango se clasificaron árboles de acuerdo a sus características: E= excelente, B=buena, M=media, R= regular y P=pobre.

Los árboles ya clasificados por IS se les aplicó la prueba de Kruskal-Wallis ($P=0.05$) para diferenciar la calidad de sitio y origen para variables cualitativas de altitud, rectitud de fuste, forma de copa y poda natural a los árboles candidatos. En los árboles testigos se le aplicó el mismo método de IS, nada más que no se consideró la variable poda natural, ya que en la calificación de campo se les otorgaba un cero de forma automática.

Se aplicó una prueba no paramétrica a los testigos de cada árbol superior mediante el estadístico Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$), utilizando como repeticiones el número de testigos de cada árbol seleccionado. A las variables paramétricas como al diámetro normal, la altura, volumen, edad se les aplicó análisis de varianza y prueba de medias (Duncan, 0.05), siendo el origen la variable independiente. Todos los análisis fueron realizados en el programa Statistical Analysis System (SAS) (Institute SAS, 2017).

RESULTADOS

Selección de árboles superiores

Se seleccionaron 47 árboles: Ixtepeji (12), Jaltianguis (13), Ixtlán (2), Teococuilco (17) y Yolox (3); conteniendo cada uno entre tres a cinco árboles testigos. Los resultados mostraron similitud en rectitud de fuste en los árboles testigos, así como en forma de la copa ($P>0.05$); es importante aclarar que, en rectitud del fuste, cuando se calificaron con los árboles superiores recibieron una calificación menor. Por otro lado, la altitud fue distinta entre los testigos ($P=0.0001$).

Los árboles testigos mostraron un IS mínimo de 22 m y máximo de 46 m; los árboles testigos fueron agrupados en función de su altura total; resultando un total de 66 árboles clasificados con altura “media”, 36 de ellos con altura “buena”, nueve árboles con altura “excelente”, 28 árboles con altura “regular” y cinco de ellos con altura “pobre” (Figura 1).

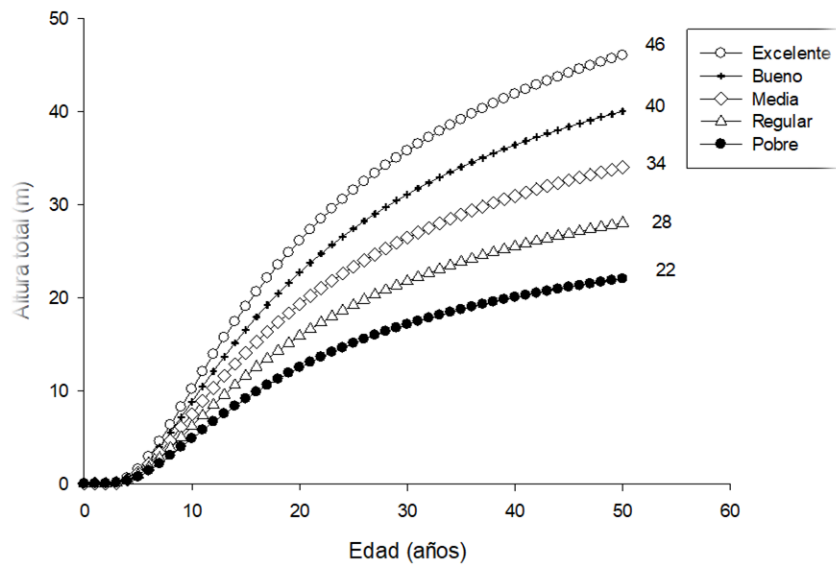


Figura 1. Curvas anamórficas de índice de sitio para *Pinus pseudostrabus* var. *apulcensis* en la Sierra Norte de Oaxaca.

Los árboles testigos calificados “excelente” presentaron un rango de altura total entre 43 y 49 m, localizados en las localidades de Ixtlán, Jaltianguis, Ixtepeji y Teococuilco. Las características de rectitud del fuste, forma de copa, así como la altitud de los sitios no mostraron diferencias ($P>0.05$) entre las calidades de índice de sitio.

Comparación de árboles selectos y testigos

Se calificaron 191 árboles (145 testigos y 46 superiores) en los rangos de IS. En el rango “bueno” fueron agrupados 53 de ellos, 83 árboles en el rango “medio”, 18 árboles se clasificaron en “regular”, 32 en excelente y 5 árboles en el IS pobre. Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis indicaron una variación marginal en altitud entre los índices de sitio ($P=0.03$), en rectitud del fuste se encontró diferencia altamente significativa ($P=0.006$), con variabilidad entre todos los árboles, recalcando que los testigos obtienen una calificación menor al árbol superior (Cuadro 1).

Cuadro 1. Variables no paramétricas de árboles selectos y testigos de acuerdo a su origen.

Origen	GL error	Altitud (m) ($P=0.0001$)		Rectitud de fuste ($P=0.2292$)		Poda natural ($P=0.7006$)		Forma de copa ($P=0.5188$)	
		SC	CM	SC	CM	SC	CM	SC	CM
Ixtepeji	49	4268	87.1	5338	109	4971	101.45	5133	104.7551
Jaltianguis	54	3112.5	57.63	5018.5	92.9	5081	94.092	5285	97.8703
Ixtlán	8	796	99.5	902.5	113	614	101.75	707	88.375
Teococuilco	68	8670	127.5	5985.5	88	6273	92.25	5985.5	88.022
Yolox	12	1490	124.2	1091.5	91	1197	99.75	1225.5	102.125

Prueba de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0.05$). SC = suma de cuadrados, CM = cuadrados medios, GL = grados de libertad.

En poda natural se encontró que no son similares los árboles testigos y selectos ($P=0.0018$) siendo heterogéneos los árboles en general, teniendo en cuenta que los árboles testigos reciben una calificación

menor que los aboles selectos; y en forma de copa no se encontraron similitud en los árboles testigos y selectos ($P=0.0005$) indicativo que los árboles son heterogéneos especificando que los árboles testigos en forma de copa reciben la calificación 0 por definición.

Los resultados indican que la rectitud del fuste es similar entre los árboles evaluados ($P=0.2292$) indicando que esta variable es homogénea en los testigos y árboles superiores; es importante aclarar que, en esta variable, cuando se califican los árboles testigos y superiores reciben una calificación menor. La forma de copa, por igual, fue similar entre árboles testigos ($P=0.5188$) debido a que se aplicó la misma metodología de selección y reciben una menor calificación en esta variable en comparación al árbol selecto. La altitud no es similar entre los árboles testigos y selectos ($P=0.0001$) siendo heterogénea y mostrando la variabilidad donde se encuentra la especie en rangos de altitud diferentes; la poda natural también fue similar en los testigos y árboles selectos ($P=0.7006$).

Al realizar la comparación de variables se encontró que los árboles de mayor AT y DN están en Ixtlán y los de menor AT como en DN se encuentran en Jaltianguis. Así mismo, se observó que en la comunidad de Ixtepeji se encuentran los árboles más longevos (58 años en promedio) y los de menor edad en Teococuilco. En DN, volumen, longitud de viruta con corteza, longitud de albura, área basal y área basal de duramen se encontraron diferencias significativas, donde la comunidad de Ixtlán observó valores altos. En las variables radio de viruta sin corteza y área basal de albura no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comportamiento de árboles seleccionados y testigos.

Variables	Origen				
	Ixtlán	Yolox	Ixtepeji	Teococuilco	Jaltianguis
AT (m)	37.87±3.18 ^a	37.41±4.96 ^a	35.9±3.89 ^{ab}	34.07±5.58 ^b	33.13±4.60 ^b
DN (cm)	57.05±5.64 ^a	51.33±9.37 ^{bc}	53.76±9.41 ^{ab}	47.24±7.20 ^c	50.88±8.40 ^c
Edad (años)	53.87±8.09 ^{ab}	46.16±4.66 ^c	58.4±8.29 ^a	50.29±7.75 ^{bc}	49.57±10.10 ^{bc}
Volumen (cm ³)	5.22±1.29 ^a	4.29±1.74 ^{abc}	4.53±1.94 ^{ab}	3.34±1.41 ^c	3.74±1.49 ^{bc}
RVSC (cm)	18.32±2.73 ^a	19.12±4.14 ^a	17.79±5.41 ^a	16.45±3.80 ^a	18.6±4.28 ^a
LCC (cm)	23.91±3.41 ^a	19.94±4.32 ^{bc}	21.56±4.59 ^{ab}	18.56±3.78 ^c	20.32±4.27 ^{bc}
LAB (cm)	26.23±3.68 ^a	21.59±4.15 ^c	24.92±4.29 ^{ab}	20.52±3.92 ^c	22.77±3.87 ^{bc}
AB (m ²)	0.257±0.05 ^a	0.213±0.074 ^{abc}	0.23±0.085 ^{ab}	0.179±0.055 ^c	0.208±0.067 ^{bc}
ABAL(cm ²)	1075.5±293.7 ^a	1198.7±482.68 ^a	1085.5±636.55 ^a	895.2±426.86 ^a	1143.6±509.0 ^a
ABD (cm ²)	1502.6±482.7 ^a	934.2±479.13 ^b	1253.1±590.9 ^{ab}	897.8±440.90 ^b	944.1±542.89 ^b

Letras distintas indican diferencias significativas entre variables respecto a su origen (Duncan, $\alpha=0.05$). Media \pm desviación estándar. Altura total (AT), diámetro normal (DN), radio de viruta con corteza (RVSC), longitud de viruta con corteza (LCC), longitud de área basal (LAB), área basal (AB), área basal de albura (ABAL) y área de duramen (ABD).

DISCUSIÓN

En otros trabajos se ha encontrado que las variables que cumplen con el método de comparación y con los criterios de selección previos a su establecimiento fueron: rectitud de fuste, calidad de copa y poda natural; circunstancia que ocurrió en esta investigación y que propicia la homogenización de los caracteres bajo selección, influyendo sobre la característica en estudio (Zamora-Campos y Mendizábal-Hernández, 2004). Otros trabajos coinciden con estas variables, pero depende de la especie, ya que algunos autores le dan más prioridad a ciertos factores que influyen en el proyecto a establecer; como en el caso de Núñez *et al.* (2017),

donde los criterios seguidos en los sitios de muestreo al seleccionar ocho árboles, todos cumplieron con los demás estándares de selección prefijados.

En este caso se valoró fuera un árbol sano, con una copa simétrica (rectitud = 1), la superficie de la copa > 80%, el volumen de la copa > 10 m³, la longitud de la copa superior a 3.5 m, con floración y producción de frutos > 60%. Sin embargo, dentro de ellos, la variable más importante para la selección fue la producción de frutos por árbol (kg/árbol). Espitia *et al.* (2009) presentan la relación y el código de los 15 mejores árboles plus, con sus valores de diferencial de selección y clasificados de acuerdo a su índice de selección. Se corrobora lo detectado anteriormente, para diferencial de selección, que los caracteres en los cuales se localizó la mayor ganancia genética esperada, son en su orden: volumen comercial, altura comercial, calidad de fuste y diámetro altura del pecho. Si se seleccionan únicamente los mejores 15 árboles plus de la lista se podría estimar una ganancia genética esperada de 64.9%, en volumen comercial; 31.1%, en altura comercial; 26.6%, en calidad de fuste y 4.6%, en diámetro a la altura de pecho, siendo también relevantes las variables cuantitativas también en este trabajo como en el volumen comercial de acuerdo a los fines del proyecto.

Balcorta-Martínez y Vargas-Hernández (2004) encontraron, en lo que respecta a la rectitud del fuste, un valor promedio en la población de 1.6, con una desviación estándar de 0.1 y un coeficiente de variación de 5%, con valores extremos de 1 y 4. Estos datos muestran que la variación en esta característica es muy baja, a diferencia de lo ocurrido con los datos de crecimiento de este estudio. El valor promedio tan bajo también indica que en general, la población base tiene fustes con torceduras y desbalanceados. De cualquier manera, al menos un 18% de los árboles en la muestra presentaron valores de rectitud entre 3 y 4, que corresponden a fustes relativamente rectos y sin torceduras, por lo que podrían ser seleccionados si además presentan otras características de importancia económica.

Vallejos *et al.* (2010) describen que una calidad de fuste extraordinaria supera en más de un 85% a sus vecinos, pero un crecimiento en volumen mediocre, que registra inclusive una inferioridad de poco más de un 20% con respecto a sus vecinos. Estos dos casos serían claramente eliminados de un programa convencional de mejoramiento genético. Sin embargo, uno de ellos exhibe un extraordinario vigor y en el otro, una sobresaliente calidad de fuste, ambos criterios de importancia capital y altamente deseables, como los encontrados en los árboles selectos con fustes con tres caras de rectitud; pero con las variables diámetro normal, altura y edad se encontraron con volúmenes aceptables para su aprovechamiento de aserrío de calidad, demostrando que estas variables no se deben de perder de vista en la selección de árboles plus. No debe olvidarse, que en la mayoría de los casos los caracteres de volumen y los cualitativos se segregan de manera independiente.

Muñoz-Flores *et al.* (2012) señalan que en los resultados de la caracterización dasométrica de los árboles seleccionados de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schltdl. et. Cham, como superiores, el DN presentó un rango de 56-77 cm, con un promedio de 64.6 cm. En lo que respecta a la altura total el rango fue de 27-38 m, con un promedio de 33.9 m. Los árboles superiores seleccionados en este estudio presentaron un rango de edad entre 50 y 62 años, dando un promedio general de 56.2 años. Comparados con este estudio realizado, el DN presentó un rango de 33-72 cm y media de 50 cm, mientras que la altura tuvo un rango entre 25 y 40 m, con un promedio de 34 m. Con respecto a la edad, el rango fue de 34 a 70 años dando un promedio de 52 años; de esta manera se cumplen los requisitos que se mencionan en la metodología de selección de árboles superiores.

Gutiérrez-Vázquez *et al.* (2016) en su análisis de componentes principales concluye que el DN, altura total y diámetro de copa conducen más atinadamente a la selección de árboles sobresalientes, al representar 79.4% de la varianza total con el primer componente principal (CP); además, aportaron una contribución relativa semejante para explicar la variación total y para los efectos buscados, los resultados son semejantes al análisis de Duncan ya que en las mismas variables que se menciona anteriormente se encuentra que son diferentes.

La procedencia de los árboles también es una variable que implica a la selección de árboles selectos, así como mencionan Mesén y Vásquez (2009), que aplicaron un ensayo de 7 procedencias y 49 familias de polinización abierta de *Vochysia guatemalensis*, de 18 años de edad, en Sarapiquí, Heredia, Costa Rica, los materiales fueron originados de árboles plus seleccionados en rodales naturales de Guatemala, Honduras y Costa Rica. El análisis incluyó información sobre altura total, diámetro a la altura del pecho (DN) y forma del fuste. Se encontró diferencias significativas entre procedencias y familias únicamente para DN. Lo mismo sucedió en este estudio con diferencias en esas mismas variables añadiendo el volumen, el área basal y la edad de los árboles selectos. Gálvez-López *et al.* (2018) describen que los caracteres de madera son rasgos fundamentales de la especie y que la presión selectiva sobre ellos no difiere entre poblaciones. Sin embargo, dado que la muestra por procedencia no fue al azar, si no sesgada por una selección por crecimiento, este hecho podría estar interfiriendo en la falta de control poblacional y baja diferenciación observada entre procedencias para calidad de madera, a diferencia del elevado control poblacional en las variables de crecimiento.

Bajo estas circunstancias y siempre que se haga una selección previa por crecimiento se sugiere que no es necesario incluir la calidad de madera en el primer paso de selección de procedencias, en el presente estudio la variación dentro de procedencias fue muy alta indicando una gran variabilidad dentro de la misma procedencia, demostrando que los árboles selectos pueden ser diferentes respecto a las otras procedencias de los árboles, ya que fueron seleccionadas una misma región. También mencionan Pavlotzky y Murillo (2014), la interacción genotipo-ambiente es un parámetro que registra el grado de adaptabilidad y comportamiento de los genotipos en varios ambientes. Por tanto, es esencial su análisis para reducir pérdidas en productividad cuando se busca plantar en todos los ambientes deseados, las colecciones de genotipos seleccionados y los valores de interacción genotipo-ambiente estimados en este estudio fueron casi nulos en los 8 caracteres investigados. Esto también se encontró en el proyecto ya que en el origen no fue similar, la altitud de la especie y en la estimación de las virtutas también se observó que son similares.

La distancia aplicada entre los árboles es adecuada ya que, Muñoz-Flores *et al.* (2011) mencionan el número de árboles superiores seleccionados corresponde a una intensidad de selección de 0.77%, que representan los seis árboles selectos en 12 ha. Estos resultados son similares a quienes afirman que solo debe aceptarse un árbol proveniente de cualquier rodal natural pequeño para reducir la posibilidad de obtener candidatos que sean parientes cercanos y con ello evitar la endogamia; señalan además que al elegir de 100 a 200 árboles de una población inicial de 100,000 (en 120 ha) la intensidad de selección es razonable, es decir se seleccionaron en promedio 1 árbol ha⁻¹, comparando con el presente proyecto es similar la cantidad de árboles encontrados por hectárea.

Salas-Rodríguez *et al.* (2016) mencionan que la altura total registró una correlación negativa significativa con la severidad del patógeno en todos los ensayos. Lo que sugiere que a mayor altura del árbol (vigor) menor severidad de la enfermedad de pudrición, con un valor promedio de significancia alta ($P < 0.55$). El DN no registró una correlación significativa con la severidad de la enfermedad, ya que estas variables cuantitativas son las principales que se evaluaron en el proyecto de selección; es este trabajo no se encontraron plagas en los árboles, y la importancia de la altura de los árboles selectos, la plaga puede darle un definís en su crecimiento a la altura (Espitia *et al.*, 2009).

Otros autores mencionan que las características que definen la selección de los árboles selectos se basan principalmente en características de heredabilidad como rectitud de fuste, media de DN, árbol libre de plagas y enfermedades y sin presencia de ramas gruesas a nivel de fuste. En el presente trabajo se aplicaron criterios técnicos para la selección de árboles superiores (DN, sanidad de árbol, rectitud de fuste otras medidas dasométricas), mismos que concuerdan con los ya mencionados por Oliva y Rimachi (2017). También lo describen Ramos-Huapaya y Domínguez-Torrejón (2016), los árboles seleccionados para el programa solo son candidatos a árbol plus hasta validar sus características mediante ensayos de progenie y/o ensayos clonales, lo cual haría falta en el presente estudio.

Por lo tanto, puede definirse a un árbol candidato como aquel individuo de apariencia sobresaliente (como sanidad y calidad de fuste), de características dasométricas no cuantificadas, pero calificadas como altas y/o por encima del promedio poblacional, es decir es aquel que muestra superioridad fenotípica comparada con sus vecinos más cercanos. Aguirre-Dianderas y Fassbender (2013) atribuyen que el factor de ponderación más alto (30%) es la característica forma de fuste, debido a que se la considera la más influyente en la calidad de una troza dentro la industria del aserrío. A las características bifurcación, posición sociológica y estado fitosanitario se les asignó un factor de ponderación del 20% a cada una.

Se consideró que la forma de copa debía tener un factor del 10% debido a que es menos influyente para los objetivos del estudio, Así mismo, el peso de ponderación asignado no debía ser tan gravitante como para que un candidato sea rechazado como árbol plus, si se tiene en cuenta que la forma de la copa en un árbol puede responder a aspectos de competencia por luz que no necesariamente son transmitidos a la descendencia. Sin embargo, la importancia de su inclusión se basó fundamentalmente en aspectos fisiológicos del árbol y por la magnitud de producción de semillas que una copa vigorosa ofrece en términos cuantitativos. En la búsqueda de un árbol selecto con estas variables fueron importantes en este trabajo teniendo más ponderación la forma de copa debido al germoplasma que se desea conseguir.

Ávila-Arias *et al.* (2016), señalan que el resultado es de vital importancia en el proceso de filtrar los genotipos de mayor valor genético y más importante aún, si coinciden tanto para severidad e incidencia y en el análisis fenotípico y genotípico; esto proporciona certeza en la selección para continuar en el programa de mejoramiento genético o para sacarlo del mismo, se sustenta en información científica validada en campo. En tal sentido, la información generada resulta de valor para apoyar la selección de los árboles que se incorporen a un programa de mejoramiento genético, por cuanto permite hacer otros ordenamientos en función de cada variable, para seleccionar líneas de mejora independientes para biomasa o producción de frutos, o implementar otros criterios de selección, esto en el estudio se calificó y determino de manera permanente a su evaluación ya que un futuro perjudicaría en la clonación de genotipos (Gutiérrez *et al.*, 2016).

El uso de la biotecnología para la propagación clonal de especies forestales constituye una estrategia de apoyo a la silvicultura con estructura familiar siendo importante los estudios presentados que tienen como objetivo mejorar las especies mencionadas siendo este una metodología severa, pero al final lleva a los resultados finales de los proyectos (Schuler *et al.*, 2005). Teniendo como resultado final semillas de genotipos para poder implementar clones de estos genotipos y tener un buen manejo de las masas forestales que se generaran manera de calidad en aserrío.

CONCLUSIONES

Los árboles de *P. pseudostrabus* var. *apulcensis* seleccionados como fenotipos sobresalientes de Ixtlán, Oaxaca presentaron mayor altura total, diámetro normal, volumen, longitud de viruta con corteza, longitud de área basal, área basal y área basal de duramen. Para fines de establecimiento de plantaciones forestales comerciales, de restauración y reforestación de la especie, se recomienda ampliamente el uso de semillas de los árboles superiores S-33 y S-34 (Teococuilco), S-3 y S-9 (Ixtepeji), S-26 (Ixtlán) y S-23 y S-25 (Jaltianguis) como fuente de germoplasma de material selecto. La selección de estos árboles es el inicio de un proyecto de mejoramiento genético de la especie y los resultados derivados del presente estudio resultan de alta importancia en la agrupación de los árboles selectos para conocer los árboles superiores mediante índice de sitio. Esto ayudará enfocarse solamente en aquellos árboles clasificados en la categoría de excelente y buena, como los mejores fenotipos para suministro de germoplasma para proyectos posteriores de plantaciones forestales comerciales, entre otros.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con el apoyo del Fondo Sectorial Para La Investigación, El Desarrollo Y La Innovación Tecnológica Forestal, CONAFOR-CONACYT, a través del proyecto CONAFOR-2016-4-277784 “Establecimiento de huertos semilleros asexuales regionales y ensayos de progenie de *Pinus pseudostrabus* para la evaluación genética de los progenitores”.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Dianderas, C.A. y D. Fassbender. 2013. Selección de árboles plus de siete especies forestales nativas de importancia ecológica y económica en la selva central del Perú. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. Proyecto de Conservación de Bosques Comunitarios, Lima, Perú. pp. 27-27.
- Alba-Landa, J., L. Mendizábal-Hernández y A. Aparicio-Rentería. 2003. Estudio de germinación y plántulas de tres poblaciones de *Pinus oaxacana* Mirov de México. *Foresta Veracruzana* 5 (1): 37-43.
- Ávila-Arias, C., A. Salas-Rodríguez y R. Murillo-Cruz. 2016. Selección de genotipos superiores de *Gmelina arborea* Roxb, por su heredabilidad genética a la tolerancia de la enfermedad de pudrición del tronco, Pacífico del Sur de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú Volumen especial*: 11-20.
- Balcorta-Martínez, H.C. y J.J. Vargas-Hernández. 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.
- Cerón-Rojas, J.J. y J. Sahagún-Castellanos. 2005. Un índice de selección basado en componentes principales. *Agrociencia* 39(6): 667-677.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2017. (Consultado 24/11/2017). Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/973Pinus%20oaxacana.pdf>. (Consultado: 28/11/2018).
- Comisión Nacional Forestal. (CONAFOR) 2015. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/1290Manual%20para%20la%20identificaci%C3%B3n%20y%20establecimiento%20de%20Unidades%20productoras%20de%20Germoplasma%20Forestal.pdf>. (Consultado: 22/11/2018).
- Espitia, M., O. Murillo, C. Castillo, H. Araméndiz y N. Paternina. 2009. Ganancia genética esperada en la selección de acacia (*Acacia mangium* Willd.) en Córdoba, Colombia. *Revista Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales Actualidad & Divulgación Científica* 13 (2): 99-107.
- Farjón, A., J.A. Pérez-de la Rosa y B. Styles. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. The Royal Botanic Gardens, Kew. pp. 150-151.
- Gálvez-López, L., J. Jasso-Mata, S. Espinosa-Zaragoza, M. Jiménez-Casas, B. Ramírez-Valverde y J.L. Rangel-Zaragoza. 2018. Calidad de semilla de árboles selectos de *Tabebuia rosea* (Bertol) DC. En el Soconusco, Chiapas, México. *Agroproductividad* 11(3): 90-97.
- Gutiérrez-Vázquez, B.N., E.H. Cornejo-Oviedo, B. Rodríguez-Santiago, J. López-Upton, M.H. Gutiérrez-Vázquez, M. Gómez-Cárdenas y A. Flores-Montaña. 2016. Selección de árboles sobresalientes de caoba (*Swietenia macrophylla* King.) en un rodal natural mediante métodos multivariados. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(37): 51-63.
- Hernández-Ramos, J., J.J. García-Magaña, X. García-Cuevas, A. Hernández-Ramos, H.J. Muñoz-Flores y M. Samperio-Jiménez. 2014. Índice de sitio para bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham. en el oriente del estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(27): 24-36.
- Institute SAS. 2017. Base SAS 9.4 procedures guide: statistical procedures.
- Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos en México. Tercera Ed. Botas. México. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/981Pinus%20pseudostrabus.pdf> (Consultado: 28/11/2018). pp. 1-7.

- Mendizábal-Hernández, L., H. Cruz-Jiménez, J. Márquez-Ramírez e Y. Jácome- Álvarez. 2009. Potencial productivo de un huerto semillero *Pinus patula* Schl. et. Cham. en Potrero de García, Veracruz. *Foresta Veracruzana* 4(2): 21-22.
- Mesén, F. y W. Vásquez. 2009. Variación genética de procedencias y familias de *Vochysia Guatemalensis* a los 18 años de edad en Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 33(2): 157-170.
- Muñoz-Flores, H.J., G. Orozco-Gutiérrez, V.M. Coria-Avalos, Y.Y. Muñoz-Vega y J. García-Magaña. 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-Flores, H.J., G. Orozco-Gutiérrez, V.M. Coria-Avalos, Y.Y. Muñoz-Vega y J. García-Magaña. 2011. Manejo de un área semillera de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Abies religiosa* (H.B.K.) Schltdl. et Cham. Y selección de árboles superiores en Michoacán, México. *Foresta Veracruzana* 13(2): 29-36.
- Muñoz-Flores, H.J., J.A. Prieto-Ruiz, A. Flores-García, M. Alarcón-Bustamante y J.T. Sáenz-Reyes. 2013. Selección de árboles superiores de *Pinus* sp. Folleto técnico 69. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, SAGARPA, Durango, Dgo. pp. 10-34.
- Núñez, J., E. Quiala, M. de Feria, S. Mestanza, R. Gómez-Kosky, F. Cuadrado, y M. Leiva-Mora. 2017. Establecimiento de un banco clonal de *Caesalpinia spinosa* (Mol.) O. Kuntz mediante selección de árboles plus e injerto. *Biotecnología Vegetal* 17(1): 41-49.
- Oliva, M. e Y. Rimachi. 2017. Selección fenotípica de árboles plus de tres especies forestales maderables en poblaciones naturales en el Distrito de Molinopampa (Amazonas). *Revista de Investigación Agroproducción Sustentable* 1(2): 36-43.
- Ortiz-Muñoz, E., C. Acosta-Hernández, P. Linares-Márquez, Z. Morales-Romero y B. Rebolledo-Camacho. 2016. Selección de árboles semilleros de *Juglans pyriformis* Liebm en poblaciones naturales de Cuatepec y Coacoatzintla, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(38): 43-58.
- Paredes-Veloso, G., A. López-Vega, S. Benedetti-Ruiz y S. Perret-Durant. 1997. Ciencia e Investigación Forestal 2(2): 29-34.
- Pavlotzky, B. y O. Murillo. 2014. Ganancia genética esperada e interacción genotipo-ambiente en *Acacia Mangium* en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 38(2): 7-17.
- Ramos-Huapaya, A.E. y G. Domínguez-Torrejón. 2016. Selección de árboles de Bolaina Blanca (*Guazuma Crinita* Mart.) como candidatos a árboles "Plus" para ensayos de rejuvenecimiento y brotación. *Ecología Aplicada* 15(2): 115-123.
- Salas-Rodríguez, A., O. Murillo-Gamboa, R. Murillo-Cruz y C. Ávila-Arias. 2016. Evidencia de tolerancia genética a la pudrición del tronco en clones de *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú Volumen especial*: 30-39.
- Schuler, I., S. Baquero-O, D. Gaona-T, E. Vega-G, J. Rodríguez-R, C. Ramírez-S, V. Nieto-R y E. Hodson-Jaramillo. 2005. Propagación *in vitro* de material seleccionado de *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. (Ocobo) y *Cordia Alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken (Nogal Cafetero). *Revista Colombiana de Biotecnología* 7(1): 39-50.
- Sotolongo-Sospedra, R., G. Geada-López y M. Cobas-López. 2017. Mejoramiento genético forestal Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/Mejoramiento%20Genetico%20Forestal.pdf. (Consultado 12/12/2017).
- Vallejos, J., Y. Badilla, F. Picado y O. Murillo. 2010. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense* 34(1): 105-119.
- Zamora-Campos, E.M. y L. del C. Mendizábal-Hernández. 2004. Variación del peso específico de una prueba de procedencias/progenie de *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. y Golf. En la región de los Tuxtla Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 6(2): 41-46.