

## SELECCIÓN DE FENOTIPOS DE *Pinus chiapensis* EN RODALES NATURALES BAJO MANEJO FORESTAL AL SUR DE MÉXICO<sup>1</sup>

### SELECTION OF *Pinus chiapensis* FENOTYPES IN NATURAL STANDS UNDER FOREST MANAGEMENT IN SOUTHERN MEXICO

María Luisa Pascual-López<sup>§</sup>, Gerardo Rodríguez-Ortiz, José Raymundo Enríquez-del Valle, Gisela Virginia Campos-Ángeles, José Cruz Carrillo-Rodríguez

Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), División de Estudios de Posgrado e Investigación. Ex-hacienda Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71233. Tel: 01(951)5270444. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (mltecforest@hotmail.com)

#### RESUMEN

*Pinus chiapensis* es una especie altamente vulnerable cuyas poblaciones y variabilidad genética se han reducido considerablemente; se encuentra en estatus de protección especial en la NOM-059-SEMARNAT-2010, México, por lo que su conservación es prioritaria. Uno de los métodos que pueden utilizarse para estos fines es implementar plantaciones y la selección de fenotipos que proporcionen germoplasma de calidad. El objetivo fue seleccionar árboles sobresalientes de *P. chiapensis*, con base en sus características fenotípicas en rodales naturales bajo manejo en el bosque de San Juan Lachao, Oaxaca, México. Durante 2014, en una superficie de 415 ha sujetas a aprovechamiento maderable se seleccionaron en campo 50 fenotipos sobresalientes. Mediante el método de regresión para las variables volumen, diámetro normal y altura total dependientes de la edad, quedaron selectos 31 individuos y por el método de comparación otros 19 individuos; la selección incluyó características importantes y heredables, como volumen DN, gravedad específica, rectitud de fuste y ángulo de ramas. Los fenotipos se calificaron con base en su índice de sitio, el cual fue obtenido en forma anamórfica con el modelo de Schumacher. Las pruebas de  $\chi^2$  mostraron que la presencia de los mejores fenotipos fue altamente dependiente de la calidad de sitio; además, éstos se asocian en conglomerados definidos en la clasificación Cluster. Los métodos utilizados son efectivos para seleccionar árboles sobresalientes de *P. chiapensis*, que pueden garantizar la producción de semilla y constituir una alternativa para iniciar un programa de mejoramiento genético forestal en la región estudiada.

**Palabras clave:** calidad de sitio, método de comparación, método de regresión.

#### ABSTRACT

*Pinus chiapensis* is a highly vulnerable species whose genetic variability and populations have been reduced considerably; it is located in special protection status in NOM-059-SEMARNAT-2010, Mexico, so their conservation is a priority. One of the methods that can be used for these purposes is to implement plantations and phenotypes selection in order to provide quality germplasm. The objective was to select outstanding *P. chiapensis* trees, according to their

---

<sup>1</sup> Recibido: 15-septiembre-2020  
Aceptado: 24-diciembre-2020

phenotypic characteristics in natural stands under management in the forest of San Juan Lachao, Oaxaca, Mexico. During 2014, in an area of 415 ha subject to timber harvesting, 50 outstanding phenotypes were selected. By regression method for variable volume, diameter at breast height and total height dependent on age, 31 trees were selected and using the comparison method other 19 individuals were selected; the selection includes important and heritable characteristics such as volume, specific gravity, stem straightness and angle of branches. Phenotypes are classified according to their site index, which was adjusted by anamorphic Schumacher model. Ji tests showed that the presence of the best phenotypes was highly dependent on the site quality; in addition, they are associated in defined clusters in the hierarchical classification. The methods used are effective to select outstanding *P. chiapensis* trees, which can ensure seed production and as an alternative to start a program of breeding tree in the region studied.

**Index words:** site index, comparison method, regression method.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente se observa que las poblaciones de diversas especies van reduciendo considerablemente su distribución y perdiendo su variabilidad genética, como en el caso de *Pinus chiapensis* (Mart.) Andressen (Vilela y Acosta, 2001). En este sentido, se considera conveniente establecer plantaciones, por lo que se debe asegurar el abastecimiento de semillas de calidad que se colecten en áreas y huertos semilleros. Las instancias gubernamentales relacionadas al desarrollo de la actividad forestal están incentivando el establecimiento de plantaciones a través del Programa Nacional de Reforestación (PRONARE) y el Programa Nacional del Desarrollo de Plantaciones (PRODEPLAN), por lo que, a nivel nacional se ha incrementado en gran medida la demanda de germoplasma forestal.

Bajo este contexto, es importante la implementación de programas de mejoramiento genético, para obtener árboles de crecimiento rápido, bien conformados, adaptados y resistentes a plagas. Éstos, tienen como objetivo producir, usar y conservar los individuos mejor adaptados y de mayor rendimiento productivo, para reforestar y establecer plantaciones comerciales (Celestino *et al.*, 2005). Además, que también es posible mejorar las propiedades de la madera, debido a que estas características son lo suficientemente heredables para obtener ganancias económicas rápidas. Si se requiere maximizar la calidad genética y tener germoplasma mejorado y adaptado al ambiente de la plantación que permita el abasto seguro y barato a largo plazo, se deben establecer huertos semilleros.

Todas las características que se expresan en un individuo se encuentran codificadas en su información genética y que son heredables a la progenie. Al cuantificar la expresión de alguna característica en individuos de edades similares, se reconoce que existe variabilidad en el nivel de expresión de dicha característica y esto es el acervo fundamental que debe dirigir el manejo del recurso genético. Entonces es posible seleccionar dentro de dicha variabilidad en las poblaciones a aquellos individuos que expresen la característica en el nivel más conveniente. Lo anterior permite obtener altas ganancias genéticas buscando su homogeneización al disminuir la variación, aunque por otro lado, se pueden proteger especies y poblaciones buscando la heterogeneización en poblaciones naturales o inducidas para mantener la variación que induzca diversidad para garantizar descendencias que aseguren esquemas nuevos de adaptación y fuerza evolutiva natural (Alba, 2007).

Desde los puntos de vista económico y ecológico se ha demostrado el efecto positivo de programas de mejoramiento genético forestal mediante la selección de árboles y rodales plus. Por lo que, se han realizado varios trabajos sobre selección de árboles superiores, en especies del género *Pinus* principalmente y utilizando diferentes métodos de selección (Muñoz *et al.*, 2008, 2014). Por un lado, representa una alternativa de producción de semillas de mejor calidad a corto plazo para la comercialización y utilización en proyectos productivos de manejo forestal, contribuyendo al desarrollo económico de la población rural y fortalecimiento del sector forestal. Por otro, representa la posibilidad de obtener ganancias en adaptabilidad y conservar *in situ* la diversidad genética de los bosques naturales reduciendo, a su vez, la presión antrópica sobre ellos y generando mejores condiciones ambientales para la vida (Aguirre y Fassbender, 2012).

En este estudio se aborda la problemática de la especie referida en la comunidad, ya que las poblaciones de *Pinus chiapensis* se encuentran dentro del área bajo manejo forestal y debido a las actividades silvícolas y agrícolas se han reducido sus espacios de distribución. También, ésta especie, representa un recurso de importancia económica por ser maderable, además de su importancia ecológica por estar en categoría de protección especial (Pr) de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010. Bajo esta premisa, el objetivo fue seleccionar árboles sobresalientes con base en sus características fenotípicas en rodales naturales de *P. chiapensis* (Mart). Andresen bajo aprovechamiento maderable de San Juan Lachao, Oaxaca, México.

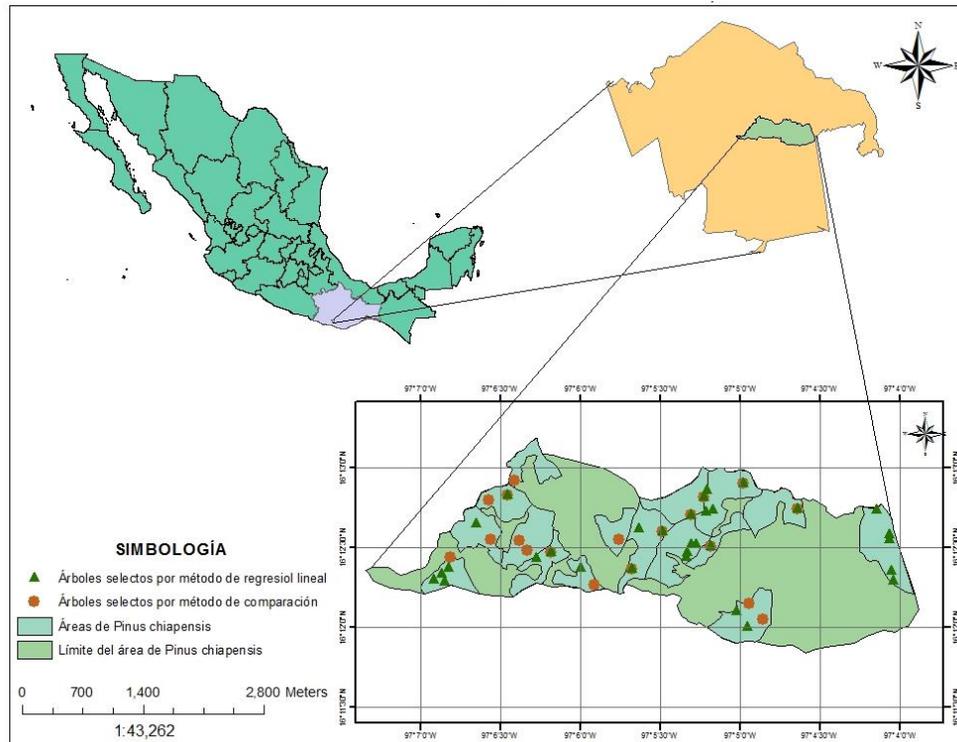
## MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La selección de los árboles superiores se realizó dentro de las áreas o rodales de los bosques comunales del municipio de San Juan Lachao en el estado de Oaxaca, México (Figura 1). Este municipio se localiza en las coordenadas: 16° 09' 30.26'' LN y 97° 07' 28.04'' LO, altitud de 1900 m con un total de 13,290 ha de superficie. Las áreas de distribución de *P. chiapensis* se localizan predominantemente en climas templados (A)C(W1), temperatura media anual entre 12 y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y temperatura del mes más caliente 22°C. El suelo predominante corresponde a regosol (R) que se encuentra en las laderas, estos suelos presentan capas distintas; son de color claro y se parecen a las rocas que los subyacen. Cuando no son profundos, muchas veces se acompañan de litosoles.

La vegetación en el área corresponde a bosque mesófilo de montaña, caracterizándose por una asociación de *P. chiapensis* (Mart.) Andresen, *P. douglasiana* Martínez, *P. devoniana* Lindle, *P. teocote*, Schltdl. et Cham., *P. oocarpa* Schiede., *Quercus* sp., *P. maximinoi* H.E. Moore., *P. pseudostrobus* Lindl, entre otras.

Selección de fenotipos por el método de regresión lineal. Mediante los planos del programa de manejo forestal, se localizaron durante el año 2014, las áreas con distribución de *P. chiapensis*. La búsqueda de los árboles candidatos y sus cinco testigos se realizó sistemáticamente en todas las condiciones del área con mayor presencia de *P. chiapensis* en una superficie total de 415 ha. Se tomaron en cuenta características cualitativas como: especie, dominancia o codominancia, rectitud de fuste, ángulo de ramas, copa, estado fenológico, daños físicos, plagas y enfermedades. Además de características dasométricas como: el diámetro normal (Dn, cm), medido con cinta diamétrica; la altura total y altura del fuste limpio (m), estimado con clinómetro marca Suunto, modelo Pms/360pc; la edad (años) se estimó, utilizando un taladro de Pressler (marca HAGLOF modelo BS013, 1000 mm/39"); el diámetro de copa (m), la distancia entre árboles candidatos (m) y la

distancia entre árboles superiores y testigos (m), se registraron con un longímetro. Cada individuo seleccionado se referenció geográficamente mediante GPS, marca Garmin modelo map76CSx.



**Figura 1.** Localización de las áreas de *Pinus chiapensis* en rodales naturales bajo manejo en San Juan Lachao.

La información obtenida en campo fue capturada en Microsoft Office Excel<sup>®</sup>, las variables calculadas fueron; volumen total con corteza ( $V_{tcc}$ ,  $m^3$ ), volumen comercial con corteza ( $V_{tcc}$ ,  $m^3$ ), edad (años), gravedad específica (GE,  $g\ cm^{-3}$ ) área de copa ( $A_c$ ,  $m^2$ ), desviación de copa ( $D_c$ , m) e índice de sitio (IS).

Para el cálculo del volumen se utilizaron los modelos propuestos por Chávez (2013), para elaboración de tablas de volumen para *Pinus chiapensis* en San Juan Tabaa. Los cuales se muestran a continuación.

$$V_{tcc} = 0.000227 \times (DN^2 \times AT)^{0.9105} \quad [1]$$

$$V_{tcc} = 0.000147 \times (DN^{2.1227}) \times (AT^{0.5684}) \quad [2]$$

Donde:  $V_{tcc}$ =Volumen total con corteza ( $m^3$ ),  $V_{tcc}$ =Volumen total con corteza ( $m^3$ ), DN= Diámetro normal (cm), AT= Altura total (m).

Mientras que la edad se estimó mediante el conteo de los anillos de crecimiento de las virutas extraídas de cada árbol seleccionado; la gravedad específica, dividiendo el peso seco y el volumen

de cada viruta por árbol, la desviación de copa se obtuvo con el promedio del radio de copa en direcciones N-S y E-O, el área de copa ( $A_c$ ,  $m^2$ ) con la fórmula:

$$AC = \frac{\pi}{4}(Dn^2) \quad [3]$$

El índice de sitio se calculó mediante el ajuste del modelo de Shumacher

$$HT = \beta_0 e^{\beta_1 \left[ \frac{1}{E} \right]} \quad [4]$$

Donde: HT = altura total, E= edad (años),  $\beta_0$  y  $\beta_1$  = parámetro de estimación, e= base de los logaritmos naturales (2.72). Con los datos obtenidos se procedió al análisis estadístico en el programa SAS<sup>®</sup>, solucionando el modelo de regresión:

$$\ln(\gamma) = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln(\chi) \quad [5]$$

Donde: Y= volumen total con corteza ( $V_{tcc}$ ,  $m^3$ ), diámetro normal (Dn, cm) y altura total (Ht, m). X= edad (años).  $\beta_0$  y  $\beta_1$ = parámetros por estimar.

Con la solución de este modelo se obtuvieron los estimadores para encontrar los modelos de volumen total con corteza, diámetro normal y altura total que fijaron el valor promedio de la línea de regresión, los cuales se trabajaron de manera linealizada, donde se sustituyeron los valores promedio de edad de los árboles selectos.

Una vez obtenido el valor de la línea de regresión los 50 árboles candidatos a clasificarse como superiores fueron graficados en el programa Microsoft Office Excel<sup>®</sup>, las variables volumen, diámetro normal y altura total en función de la edad (años). Evaluándose de acuerdo con los criterios del método que señala: “sí el árbol candidato cae en alguna distancia definida arriba de la línea de regresión se acepta, y cuanto más arriba quede colocado es más conveniente y cuando el valor de la característica queda abajo del nivel aceptable, el árbol se rechaza” (Plancarte, 1990).

La selección final se complementó con la calificación de IS asignando un valor de 0 = pobre, 1 = medio, 2 = bueno y 3 = excelente de acuerdo con la calidad correspondiente de cada árbol. De igual forma se evaluó la rectitud de fuste y el ángulo de ramas.

### **Selección de fenotipos por el método de comparación**

Mediante este método al árbol candidato se le asignaron puntos para cada característica mostrada en el formato de selección, con base en la importancia de la característica y la relación del árbol candidato con los cinco árboles testigo o de comparación. Los árboles de más de 10 años de diferencia con el promedio de los árboles testigos fueron rechazados. Ya que es necesario tener la certeza de que la edad no diferirá ampliamente entre los árboles y que las expresiones relativas de crecimiento, forma, tolerancia a las enfermedades y adaptabilidad no se confundirán con los efectos de edad. La evaluación de los caracteres de volumen, altura, copa, poda natural, rectitud de fuste y ángulo de ramas se realizó de acuerdo con los pasos que presenta el manual para el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal (CONAFOR, 2014). El primer criterio que se tomó en cuenta para la selección de individuos (árboles) superiores; fue que éstos estuvieran libres

de plagas y enfermedades, sin daños mecánicos, es decir árboles sanos, vigorosos. La superioridad en volumen para los árboles se calculó con la fórmula:

$$Volumen = \frac{Vc}{Vt}$$

Donde: Vc = volumen del candidato, Vt= Volumen promedio de los testigos.

Al igual que el candidato, los testigos deben ser dominantes y estar creciendo en condiciones similares. La distancia entre los testigos y el árbol candidato fue de un rango de 20 a 50 m, de la misma edad con una diferencia no mayor a 10 años. El puntaje que se le dio de acuerdo con la altura fue de la siguiente manera:

$$Altura = \left[ \left( \frac{Ac}{At} \times 100 \right) - 100 \right] \quad [6]$$

Donde: Ac = altura del candidato (m), At = altura promedio de los testigos.

La poda natural se evaluó comparando al candidato, visualmente con los testigos, considerando tanto ramas vivas como muertas, al promedio de los testigos se le asignó el valor de cero y a los restantes se otorgaron valores de 1 a 5 por la superioridad del candidato.

La rectitud del fuste se determinó con base en cuatro categorías de rectitud desarrolladas de 1 (menor calidad) a 4 (mayor calidad, fustes perfectamente rectos). Se observó desde los cuatro puntos cardinales (N, S, E, O).

## RESULTADOS

Selección de fenotipos por el método de regresión lineal. Mediante el método de regresión lineal aplicado a una población de *P. chiapensis* distribuido en un área de 415 ha, se identificaron 31 árboles selectos (Cuadro 1), con un promedio en volumen de 10.59 m<sup>3</sup>/árbol; un diámetro promedio de 61 cm; 34 m de altura y una edad promedio de 41 años.

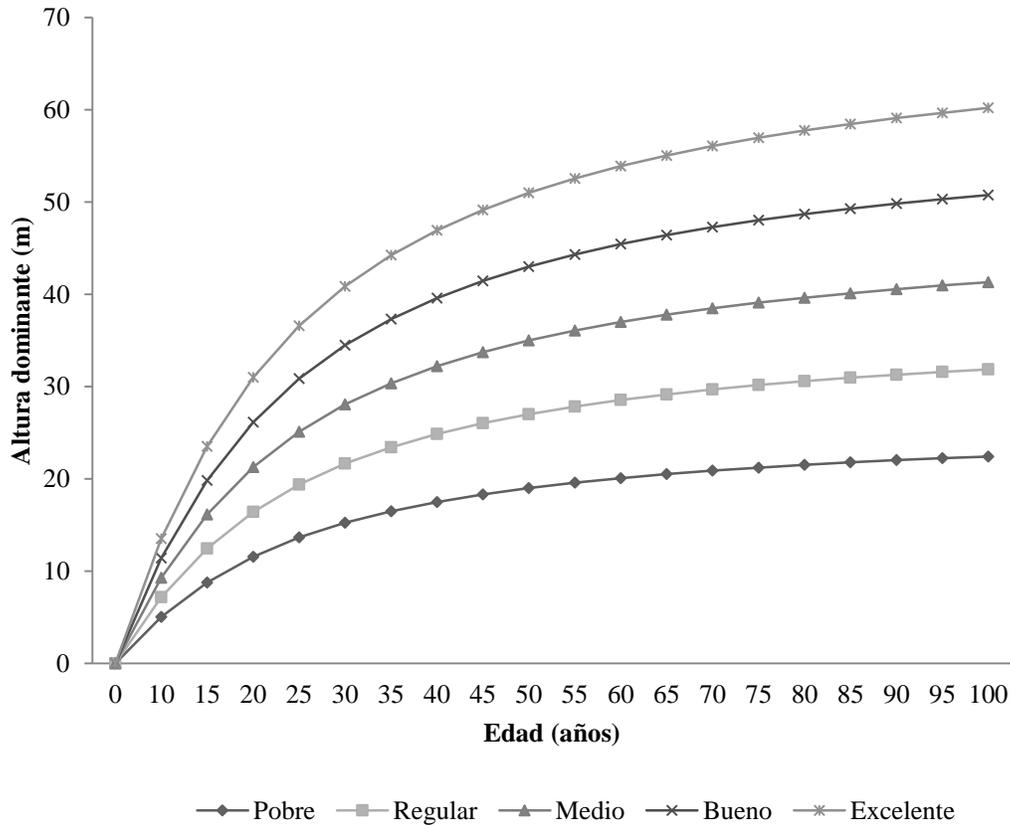
Con el fin de calificar la productividad de la masa forestal, indicada por la altura a una determinada edad, se calculó el índice de sitio mediante el modelo de Schumacher y se obtuvo una clasificación de calidades (excelente, bueno, medio, regular y pobre) (Figura 2); del índice de sitio en donde se localiza *P. chiapensis* dentro del área de estudio, que se complementó a la selección de los árboles.

Con base en las características de volumen, diámetro y altura, un 93% de los individuos selectos recibieron una calificación de excelente; por otro lado, cuando se clasificaron según el índice de sitio sólo el 9.7 % (3 de 31) de los árboles recibieron la calificación de excelente. De acuerdo con la rectitud de fuste del total de árboles seleccionados sólo 12 son perfectamente rectos y 17 rectos con una leve torcedura. Por otro lado, se observó que el 19.3 % (6 de 31) de los árboles tienen un ángulo de inserción de ramas perfecto.

**Cuadro 1.** Resumen de calificación otorgada a los árboles seleccionados de *Pinus chiapensis* usando el método de regresión en el bosque de San Juan Lachao.

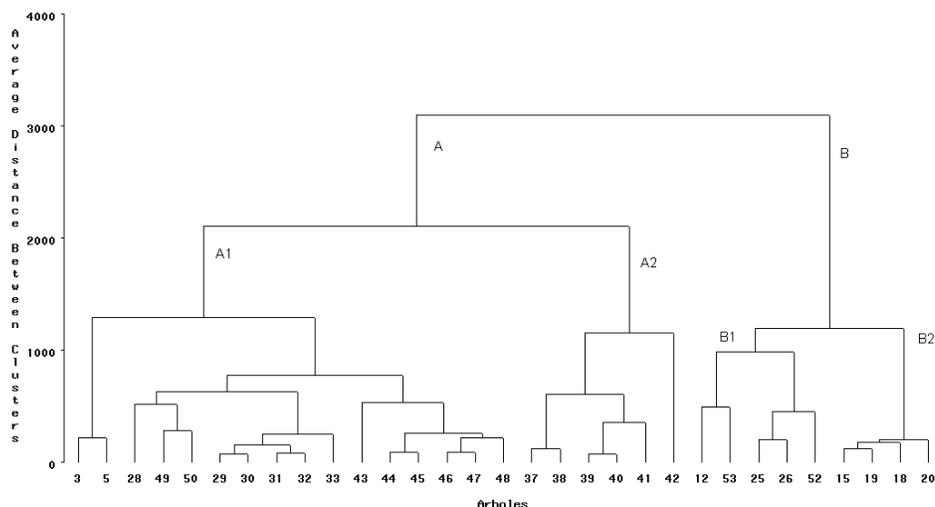
ID	Coordenadas		Altitud (m)	GE (g cm <sup>-3</sup> )	IS	DN (cm)	AT (m)	VT <sub>cc</sub> (m <sup>3</sup> )	RF	AR
	UTM X	UTM Y								
30	704293	1792878	1809	0.81	B	E	E	E	PR	AGU
32	704395	1792968	1811	0.90	B	E	E	E	PR	AGU
40	706550	1793107	1825	0.73	B	E	E	E	PR	ME
46	704578	1793373	1735	0.78	E	E	E	E	RLT	ME
48	704333	1793312	1757	0.74	E	E	E	E	RLT	ME
49	704021	1793112	1779	0.75	E	E	E	E	RLT	ME
18	701631	1792670	1905	0.84	M	E	E	E	PR	ME
26	702780	1792864	1789	0.66	M	E	E	E	PR	ME
28	703681	1792686	1719	0.80	B	E	E	E	RLT	ME
29	704288	1792819	1837	0.77	M	E	E	E	PR	ME
43	704918	1793681	1629	0.77	M	E	E	E	PR	ME
45	704479	1793520	1700	0.76	M	E	E	E	PR	ME
50	703748	1793150	1792	0.87	B	E	E	E	PR	REC
15	701470	1792537	1894	0.87	M	E	E	E	RLT	ME
19	701554	1792602	1924	0.99	M	E	E	E	RTL	ME
20	701591	1792512	1936	0.89	M	E	E	E	RLT	ME
25	702608	1792792	1832	0.79	M	E	E	E	RLT	ME
33	704556	1792952	1810	0.84	M	E	E	E	PR	REC
39	706545	1793046	1821	0.72	M	E	E	E	RLT	ME
41	706405	1793393	1756	0.76	M	E	E	E	RLT	ME
47	704496	1793352	1706	0.85	M	E	E	E	RLT	ME
52	703108	1792693	1804	0.80	M	E	E	E	RLT	REC
12	702281	1793528	1745	0.88	M	R	E	E	PR	ME
31	704331	1792973	1813	0.79	M	R	E	E	RLT	AGU
38	706570	1792683	1939	0.78	M	R	E	E	RLT	AGU
42	705516	1793399	1781	0.72	M	R	E	E	RLT	AGU
3	704845	1792204	1827	0.77	M	E	E	E	T	REC
5	704972	1792024	1861	0.99	R	E	E	E	T	ME
37	706598	1792573	1991	0.75	R	R	E	E	PR	ME
53	701932	1793184	1818	0.74	R	E	R	E	RLT	AGU
44	704507	1793603	1693	0.78	R	E	R	E	RLT	ME

ID = número identificador de árbol; GE = gravedad específica; IS = calificación de índice de sitio; DN = calificación por diámetro; AT = calificación por altura total, VT<sub>cc</sub> = calificación por volumen con corteza (E = excelente, B = bueno, M = medio, R = regular); RF = rectitud del fuste: PR = perfectamente recto, RLT = recto con ligera torcedura, T = torcedura que impide proyectarse a su ápice; AR = ángulo de ramas: REC= recto 90°, MED = medio <90 y >45°, AGU = agudo <45°.



**Figura 2.** Curvas anamórficas de índice de sitio para *Pinus chiapensis*.

Con los árboles selectos se integró el dendrograma (Figura 3) el cual formó dos grupos; A y B con una distancia de separación entre conglomerados de 3095.5; el primero formado por dos subgrupos con una distancia de 2108.1: A1 y A2, donde se agrupó la mayoría de los árboles. De igual forma el grupo B, se divide en un subgrupo B1 y B2 con una distancia de 1198.2. El subgrupo A1 se constituye por árboles, con diámetro que van de 59 a 91 cm. Su altura promedio es de 38.25 m con un volumen promedio de 15.46 m<sup>3</sup>. Con un promedio de 0.82 g cm<sup>-3</sup> de gravedad específica. Apartando al árbol 3 y 5 pues de acuerdo con la rectitud, presentan torceduras que impiden proyectarse a su ápice. La altitud a la que se encuentran es de 1629 a 1861 m. En el subgrupo A2 se asocian cinco árboles, sin incluir al árbol 42 por presentar diferencia en la característica de gravedad específica con un valor de 0.72 g cm<sup>-3</sup>, valor menor respecto al promedio. La altitud a la que se encuentran va de 1756 a 1991 m. Por otro lado, el subgrupo B1 se formó por otros cinco árboles (12, 53, 25, 26 y 52), con un promedio de 70 cm de diámetro, 35 m de altura, 13 m<sup>3</sup> de volumen y 0.99 g cm<sup>-3</sup> de gravedad específica. La altitud a la que se encuentran es entre 1745 y 1818 m. Dentro del subgrupo B2 se ubicaron cuatro árboles (15, 19, 18 y 20) con diámetro promedio de 73 cm, 36 m de altura promedio, y gravedad específica entre 0.84 y 0.99 g cm<sup>-3</sup>. Estos árboles se encuentran en altitud entre 1894 y 1936 m.



**Figura 3.** Dendrograma de 31 árboles selectos de *Pinus chiapensis* en rodales naturales bajo manejo en San Juan Lachao, Oaxaca.

**Cuadro 2.** Características de árboles selectos de *Pinus chiapensis* con el método de comparación en rodales naturales bajo manejo en San Juan Lachao.

No. árbol	Coordenadas UTM		Altitud (m)	DAP (cm)	A (m)	Lfl (m)	VTcc (m <sup>3</sup> )	Edad (años)
	X	Y						
13	702075	1793464	1776	48	26	14	5.08	29
27	703261	1792494	1848	31	19	4	1.72	28
24	702510	1792882	1885	45	27	16	4.67	32
23	702421	1792995	1830	60	32	9	9.21	33
45	704479	1793520	1700	72	33	14	13.21	49
49	704021	1793112	1779	83	46	17	23.15	52
21	701655	1792794	1940	44	26	7	4.33	34
28	703681	1792686	1719	61	42	32	12.16	48
48	704333	1793312	1757	67	42	28	14.43	67
16	702102	1793004	1855	51	32	13	6.85	35
11	702366	1793698	1717	58	30	12	8.16	32
33	704556	1792952	1810	68	36	16	12.88	45
42	705516	1793399	1781	57	41	26	10.52	45
43	704918	1793681	1629	82	34	10	17.2	49
9	705151	1792114	1833	48	28	14	5.43	30
7	704997	1792294	1804	38	30	17	3.78	26
12	702281	1793528	1745	57	35	19	9.1	46
26	702780	1792864	1789	68	39	17	13.86	54
51	703528	1793022	1838	46	25	10	4.537	37

Dap = diámetro a la altura del pecho; A = altura; Lfl = longitud de fuste limpio; VTcc = volumen total con corteza.

Además, se realizaron pruebas de independencia con  $\chi^2$  ( $\alpha = 0.05$ ) para las variables diámetro normal, altura total, rectitud de fuste y ángulo de ramas. Los resultados mostraron que únicamente la altura total es dependiente de la calidad de sitio ( $p = 0.0024$ ), por lo que las mejores alturas estarán presentes en índices de sitio clasificados de buenos a excelentes. De acuerdo con la altura de los árboles seleccionados la calidad de sitio media concentró la mayor parte (61.29%), mientras que el 9.68% se distribuye en calidad de sitio excelente; y 16.13% en calidad de sitio buena.

Selección de fenotipos por el método de comparación. Con base en el sistema de selección “árboles testigo o de comparación” y con las características fenotípicas cuantitativas y cualitativas observadas en el arbolado, este método seleccionó 19 árboles para ser considerados como candidatos para ser clasificados como superiores (Cuadro 2). Como resultado de la caracterización dasométrica los valores promedio alcanzados por los árboles seleccionados como los mejores fenotipos de *Pinus chiapensis* corresponden a individuos con: volumen de 9.48 m<sup>3</sup>/árbol; diámetro 57 cm; altura de 33 m; y edad promedio de 40 años. La distancia promedio a la cual se localizaron los cinco árboles testigo de los candidatos fue de 10.75 m, mientras que los árboles que quedaron como superiores se ubican a una distancia promedio de 150 m.

## DISCUSIÓN

De acuerdo con los métodos de evaluación y selección de árboles superiores establecidos por diversos autores (Salan, 2011; Meza, 2013), únicamente el 62% (31 de 50) de los árboles de *Pinus chiapensis* cumplen con las características requeridas. Resultado que difiere con los reportados por Muñoz *et al.* (2012) quienes obtuvieron una selección de 13 árboles por el método de regresión lineal ajustando un modelo de volumen-edad ( $R^2 = 0.45$ ). Mientras que en este estudio se obtuvo una selección de 31 árboles y un ajuste de  $R^2 = 0.97$  para volumen-edad y  $R^2 = 0.98$  para altura y diámetro-edad, esta última es una característica de alta heredabilidad e importancia.

Farfán (2002), encontró una fuerte correlación genética entre el diámetro y la altura, al estimar el control genético en el crecimiento en altura y diámetro en *Pinus ayacahuite* Ehren. var. *ayacahuite*. Por su parte, Arteaga (2007) demostró que, para las especies del género *Virola*, *Vismia* y *Juglans*, la variable diámetro tiene relación con la producción de semillas, ya que árboles con mayores diámetros producen más semilla; lo que también podría estar sucediendo en el caso de *P. chiapensis* en el área de selección de árboles semilleros. Variables que coinciden con las que identificaron Cornejo *et al.* (2009), quienes basaron la selección de árboles, en las variables diámetro normal, diámetro de copa, volumen, altura total y diámetro de ramas, con una selección final de 35 árboles.

Los árboles semilleros deben responder a las características propias de la especie y reunir características principales como, fustes rectos, fustes comerciales largos y cilíndricos, copa bien desarrollada y con fuste continuo, árboles sin bifurcación o de poca importancia, ángulo de inserción de ramas aceptable. Características que no poseen la mayoría de árboles selectos de *P. chiapensis* en este estudio. La rectitud de fuste es una característica con alta heredabilidad, considerando a esta heredabilidad como la proporción de la varianza fenotípica que es genética. La rectitud del fuste incrementa el rendimiento en volumen. Esta característica formó parte en la selección de los árboles estudiados. Y se encontró que el promedio de la gravedad específica (0.80 g cm<sup>-3</sup>) para *Pinus chiapensis* es una característica de alta heredabilidad. En este estudio, la altura de árboles dominantes resultó dependiente de la calidad de sitio ya que esta variable es indicadora

del índice de sitio, ya que los sitios más fértiles por lo general producen árboles de mayores dimensiones (Mendieta-López y Rocha-Molina, 2007). El criterio diámetro normal no se cumple en este estudio.

En el área de estudio se observó que *P. chiapensis* ha reducido su población considerablemente por prácticas agrícolas y de manejo inadecuadas, lo que repercute en la selección de árboles fenotípicamente superiores, pues el grado de fragmentación y disminución de sus poblaciones hace que presente baja diversidad genética (Del Castillo *et al.*, 2009). Mientras que Hernández *et al.* (2014), en su estudio de variación de conos de *Pinus chiapensis*, encontraron que existe variación no sólo entre conos de un árbol, sino también entre árboles lo cual indica que existe diversidad genética que puede manejarse en esquemas de uso y conservación de la población. Por tal motivo esta especie es un candidato potencial para programas de mejoramiento genético en el país.

Por otro lado, Thomas-Evert *et al.* (2014) proponen que la restauración de ecosistemas forestales se realice con especies nativas, lo cual requiere atención desde la selección de semillas y el abastecimiento, la creación de la conectividad de paisajes y la capacidad de adaptación para cambio de climas, así como indicadores efectivos de juego de procedencias y la diversidad genética presente en el sitio. Por lo cual, es de gran importancia que la selección de los árboles portadores de la información genética deseada sean los de mejor expresión fenotípica. Mediante el método de “comparación o vecino más cercano” se seleccionaron 19 árboles distribuidos en 415 ha, que alcanzaron los puntajes más altos en las características evaluadas. Se obtuvo 36.53% de árboles semilleros bajo este método, el resultado es inferior al de Aguirre y Fassbender (2013), que obtuvieron una selección de 55.76% de un total de 104 árboles plus de siete especies forestales nativas en la selva central de Perú. Mientras que Balcorta-Martínez *et al.* (2004), obtuvieron un 57.14% de selección en una plantación de *Gmelina arborea* Linn, con un total 35 árboles candidatos para clasificarse como superiores. Salan (2011), obtuvo 68.96% de selección de *Cedrela odorata* L. de un total de 29 árboles candidatos a semilleros.

Por otra parte, Muñoz *et al.* (2012), obtuvieron una selección del 16% de 36 árboles semilleros de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schltl. *et* Cham, por el mismo método y Muñoz *et al.* (2011) determinaron una selección del 1.02% de árboles superiores de *Pinus pseudostrobus* Lindl. De acuerdo con estos autores, la proporción de selección de árboles fenotípicamente superiores bajo este método, para la especie bajo estudio es adecuada, mientras la distancia entre árboles sea  $\leq 100$  m.

En este estudio, la distancia promedio entre árboles testigos y candidatos de *P. chiapensis* fue de 10.75 m, y se encuentra dentro del rango señalado, pues Mondino *et al.* (2002) utilizaron un radio de 20 m al seleccionar árboles superiores de *P. ponderosa* Dougl y *Pseudotsuga menziesi* Mirb; de igual forma, Espitia *et al.* (2010), utilizaron un radio de 20 m en una selección de árboles plus, para ganancia genética de *Acacia mangium* Willd. La distancia entre los mejores fenotipos seleccionados fue de 150 m, valor que coincide con Plancarte (1990), quien menciona que se deben elegir a una separación mínima de 100 m para reducir la posibilidad de consanguinidad o 200 m en masas no procedentes de plantaciones. El estudio presenta un valor promedio entre las distancias que mencionan ambos autores, por lo que se corrobora que los árboles selectos se encuentran a una distancia adecuada.

Existen otros métodos para selección de árboles semilleros que pudieran ser aplicados en la selección de fenotipos de la especie estudiada; estos se basan en la elaboración de criterios para seleccionar árboles superiores a partir de semillas de los padres en función del rendimiento en vivero y establecimiento en campo de sus plántulas (Pakkad-Greuk *et al.*, 2003). Estos criterios podrían ser: supervivencia de plántulas en campo, árbol joven de 1 m de altura después de la primera temporada de cultivo en campo, 40% o más de emergencia en el vivero y más de 70% de supervivencia de las plántulas en el vivero. Estos criterios podrían formar parte de una segunda fase para probar si los árboles de *P. chiapensis* seleccionados cumplen con estas características.

Las etapas y periodos del estado fenológico de *P. chiapensis* observados en el bosque de San Juan Lachao concuerdan con la floración que ocurre de marzo a abril, la fructificación o maduración de conos se presenta de julio a agosto, por lo tanto, la recolección de semillas debe realizarse entre agosto y septiembre, pues su dispersión inicia en septiembre, y la caída de los conos ya abiertos se presenta entre octubre y noviembre de cada año. Vilela y Acosta (2001) mencionan que en zonas medias y altas que van de 1300 a 2300 m de su distribución *P. chiapensis* se encuentra asociada al bosque mesófilo de montaña, los rangos altitudinales presentes en el área de estudio son similares y la especie bajo estudio se encuentra en asociación con *P. douglasiana* Martínez, y especies latifoliadas.

## CONCLUSIONES

De los 52 individuos de *Pinus chiapensis* seleccionados inicialmente, el método de regresión lineal seleccionó 31 árboles y el método de árboles testigos 19 individuos fenotípicamente superiores. Los árboles seleccionados por los dos métodos presentan características dasométricas deseables, que garantizan la producción de semilla de mejor calidad que un rodal sin selección y constituyen una alternativa para dar inicio a un programa de mejoramiento genético forestal. La distancia de separación de los árboles seleccionados es apropiada, quedando la mayoría a  $\geq 100$  m lo que permite que no se presente la endogamia entre los árboles selectos. Además, la ubicación de los árboles testigo fue adecuada pues estos se localizaron a una distancia  $< 20$  m indicativo que fueron elegidos dentro de las mismas condiciones que los candidatos. Tanto el método de regresión como el de comparación son buenos para la selección de árboles superiores, siempre y cuando se incluyan las características necesarias que reflejen la heredabilidad de los árboles madres a su progenie.

## LITERATURA CITADA

- Aguirre, D. 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. Proyecto de conservación de bosques comunitarios. Documento de trabajo. Perú. 18 p.
- Alba, L. J. 2007. Movimiento de especies forestales en el estado de Veracruz, México. Tesis Doctorado. Xalapa, Ver., México. Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana. 97 p.
- Arteaga, L. L. 2007. Fenología y producción de semillas de especies arbóreas maderables en un bosque húmedo montano de Bolivia (PN ANMI Cotapata). *Revista Boliviana* 21: 57-68.
- 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* 9(2): 13-19.

- Celestino, C., I. Hernández, E. Carneros, D. López-Vela y M. Toribio. 2005. La embriogénesis somática como elemento central de la biotecnología forestal. *Ciencia e Investigación Agraria* 14(3): 345-357.
- Chávez, P. E. Y. 2013. Factores de expansión de biomasa para *Pinus chiapensis* (Mart.) Andresen, de San Juan Tabaá, Villa Alta, Oaxaca. Tesis de ingeniería forestal. Oaxaca, México. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. 92 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2014. Manual para el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal. México. 86 p.
- Cornejo, O. E. H., E. Bucio Z., B. Gutiérrez V., S. Valencia M. y C. Flores L. 2009. Selección de árboles y conversión de un ensayo de procedencias a un rodal semillero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32(2): 87-92.
- Del Castillo, R. F., S. Trujillo A. and C. Sáenz-Romero. 2009. *Pinus chiapensis*, a keystone species: Genetics, ecology, and conservation. *Forest Ecology and Management* 257: 2201-2208.
- Espitia, M., O. Murillo, C. Castillo, H. Aramendiz H. y N. Paternina. 2010. Ganancia genética esperada en la selección de acacia (*Acacia mangium* Willd.) en Córdoba Colombia. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica* 13(2): 99-107.
- Farfán, V. E., J. Jasso M., J. López U., J. Vargas H. y C. Ramírez H. 2002. Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* Ehren. var. *ayacahuite*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(3): 239-246.
- García, F. G. 2002. El mejoramiento genético forestal y nuestra experiencia con *Pinus douglasiana* Martínez. Programa para el Desarrollo Forestal del estado de Jalisco (PRODEFOR). México. 7 p.
- Hernández, J. L., L. Mendizábal H., J. Alba L., E. O. Ramírez G. y H. Cruz J. 2014. Variación de conos de *Pinus chiapensis* (Mart.) Andresen Procedente de Atzalan, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 16(1): 35-40.
- Mendieta-López, M. y L. R. Rocha-Molina. 2007. Sistemas agroforestales. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 116 p.
- Meza, L. A. 2013. Monitoreo fenológico de árboles superiores de diez especies forestales nativas del bosque seco tropical, Estación Experimental Forestal Horizontes, Área de Conservación Guanacaste. Tesis de Licenciatura. Cartago, Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 61 p.
- Mondino, V., M. A. Martínez y L. Gallo. 2002. Mejoramiento genético en *Pinus ponderosa* y pino Oregón. *Patagonia Forestal* 1: 6-8.
- Muñoz, F. H. J., B. R. Toledo, R. T. Sáenz, F. J. Villaseñor y J. J. García S. 2008. Establecimiento y manejo de dos áreas semilleras de coníferas nativas en el estado de Michoacán. *Ciencia Forestal en México* 33(103): 79-102.
- Muñoz, F. H. J., G. Orozco G., H. Hernández A., J. García M., V. M. Coria A. y J. Hernández R. 2014. Caracterización dasométrica de tres rodales semilleros de especies del género *Pinus* en el estado de Guerrero, México. *Revista Foresta Veracruzana* 16(2): 23-30.
- Muñoz, F. H. J., G. Orozco G., V. M. Coria A., Y. Y. Muñoz V. y J. García M. 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, F. H. J., G. Orozco G., V. M. Coria A., Y. Y. Muñoz V. y J. García M. 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. *Revista Foresta Veracruzana* 14(1): 1-8.

- Pakkad, G., F. Torres, E. Stephen and D. Blakesley. 2003. Selecting seed trees for a forest restoration program: a case study using *Spondias axillaris* Roxb. (Anacardiaceae). *Forest Ecology and Management* 182: 363-370.
- Plancarte, B. A. 1990. Selección de árboles superiores: Mejoramiento genético y plantaciones forestales. Memoria Centro de Genética Forestal A.C. Universidad Autónoma Chapingo. México. 60 p.
- Salan, T. S. I. 2011. Inventariación de árboles de cedro, con características semilleras en los sectores: 51, el Pindo y el Mirador de los sectores de la provincia de Pastaza. Tesis de Licenciatura. Riobamba, Ecuador-Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 74 p.
- Thomas, E., R. Jalonen, J. Loo, D. Boshier, L. Gallo, S. Cavers, S. Bordacs, P. Smisth and M. Bozzano. 2014. Genetic consideration in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management* 333: 66-75.
- Vilela, A. E. y S. Acosta C. 2001. *Pinus chiapensis*: Un enfoque ecológico de su anatomía foliar. *Polibotánica* 11: 111-120.