

SELECCIÓN DE ÁRBOLES Y CONVERSIÓN DE UN ENSAYO DE PROCEDENCIAS A UN RODAL SEMILLERO

TREE SELECTION AND CONVERSION OF A PROVENANCE TEST TO A SEED PRODUCTION STAND

Eladio H. Cornejo Oviedo^{1*}, Enrique Bucio Zamudio², Benito Gutiérrez Vázquez³, Salvador Valencia Manzo¹ y Celestino Flores López¹

¹Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 25315, Buenavista, Saltillo, Coah. Tel. y Fax 01 (844) 411-0299 y 411-0396.

²Col. Antorcha Manzana #5 Lote #6. 61194, Cd Hidalgo, Mich. ³Programa de Postgrado en Ingeniería en Sistemas de Producción, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 25315, Buenavista, Saltillo, Coah.

*Autor para correspondencia (cor61@prodigy.net.mx)

RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo fueron seleccionar los mejores árboles semilleros y diseñar mediante simulación un rodal semillero, en una plantación establecida como un ensayo de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii*: Los Lirios y Jamé, Arteaga, Coah., y Cuauhtémoc, Saltillo, Coah. En 13 años las tres procedencias no mostraron diferencias significativas en las características dasométricas evaluadas, por lo que el ensayo se puede convertir a un rodal de producción de semilla. Actualmente el ensayo cuenta con una densidad de 1246 árboles ha^{-1} . Para la conversión a un rodal semillero se seleccionaron los árboles que producirían más semilla con base en un índice de selección que inicialmente se creó con 16 variables dasométricas, y cuyo análisis con procedimientos multivariados permitió reducirlas a siete, mismas que explicaron 84.8 % de la varianza. Mediante análisis de agrupamiento se determinaron tres grupos de árboles semilleros, grupos que se conformaron principalmente con base en datos de altura y diámetro. El diseño del rodal semillero se llevó a cabo mediante la simulación de dos fases de aclareos con el programa "Stand Visualization System" Versión 3.36. La primera fase consistió en simular la aplicación de un aclareo en el que se eliminan los árboles de menor altura y diámetro, y la última fase incluyó la aplicación de un segundo aclareo de tipo geométrico para proveer mayor espacio a los árboles semilleros residuales. Después de simular las dos fases de aclareos, la densidad del rodal semillero fue de 245 árboles ha^{-1} . Al final sólo se dejaron en pie 35 árboles en un área de 0.1428 ha de los 178 árboles existentes en la simulación. Las simulaciones se ajustarán con base en la respuesta de crecimiento de los árboles residuales después de los aclareos simulados.

Palabras clave: *Pinus greggii*, rodal semillero, índice de selección, simulación de aclareos.

SUMMARY

The objectives of this study were to select the best seed trees and to design, by thinning simulations, a seed tree stand in a plantation of three provenances test of *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii*: Los

Lirios and Jamé, Arteaga, Coah., and Cuauhtémoc, Saltillo, Coah., During 13 years, no significant differences were found among provenances on the evaluated, tree characteristics and the trees have reached the right size and age for converting the provenance test into a seed tree stand. Currently, the test plantation has a density of 1246 trees ha^{-1} . For this conversion it was necessary to select the best seed trees, which was done by means of a selection index developed using a data base of 16 tree variables. The data base was analyzed by multivariate procedures and was reduced to seven variables which explained 84.8 % of the variance. Three groups of trees were classified based on the grouping analyses. These groups of trees were used to design the seed tree stand, using a simulation of two thinning phases with the "Stand Visualization System" (SVS) program version 3.36. The first thinning phase eliminated the shortest and thinnest trees; the second phase was a geometrical thinning in order to assign more free space for the remaining seed trees. The thinning simulations allowed to reduce, the tree density to 245 trees ha^{-1} , so that only 35 seed trees were selected from 178 individuals, as the seed tree stand in an area of 0.1428 ha. The simulations will be adjusted based on the growth response of the residual trees after the thinning simulation.

Index words: *Pinus greggii*, seed tree stand, selection index, thinning simulation.

INTRODUCCIÓN

Un programa de mejoramiento genético forestal tiene como objetivo principal la producción de germoplasma genéticamente mejorado para el establecimiento de plantaciones forestales. Estas necesidades se cubren, principalmente, con el establecimiento de huertos semilleros; sin embargo, de manera inmediata se pueden establecer rodales semilleros o áreas semilleras para un uso temporal (Clausen, 1990a). En las áreas semilleras es obligatoria la inclusión de una superficie central (área de certificación) y una franja de protección, pero no en los rodales semilleros. El índice de selección es un método de

mejoramiento genético simultáneo de varios caracteres que permite separar genotipos con base en características fenotípicas como altura total, diámetro normal, ángulo de inserción de las ramas con respecto al fuste, rectitud del fuste, características de la copa, entre otras (Cerón y Sahagún, 2005).

Entre las ventajas de los rodales semilleros y áreas semilleras de algunas especies, se encuentra el corto periodo que se invierte en su establecimiento y la producción de semilla de alta calidad genética que puede ser certificada por su origen geográfico conocido (Patiño y Villarreal, 1976). En La Sabana, Oaxaca se estableció un área semillera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Séncl.) Barr. et Golf; a partir de plantaciones comerciales; para seleccionar el arbolado se utilizaron criterios como rectitud del fuste, características de la copa, número de ramas, dominancia en altura y diámetro, y que estuvieran libres de plagas y enfermedades (Galeote *et al.*, 1993).

En 1992 se estableció un ensayo de tres procedencias de *Pinus greggii* var. *greggii* en un campo experimental ubicado en Arteaga, Coah., México. El ensayo se evalúo anualmente hasta 1996, y después se evalúo en el 2002 y en el 2005. Despues de 13 años de establecido el ensayo, no se encontraron diferencias significativas entre las tres procedencias, con respecto a altura total y diámetro normal (Contreras, Com. personal)¹.

Pinus greggii Engelm. es una especie de rápido crecimiento y precoz en su floración (López *et al.*, 1993). En un estudio de variación isoenzimática en diez poblaciones naturales de *Pinus greggii*, seis del Norte, incluida la población de Los Lirios de Arteaga, Coah., Ramírez *et al.* (1997) encontraron que existe una reducción de la diversidad genética de esta especie y con grandes diferencias entre poblaciones, pero poca variación dentro de poblaciones. Estas características le favorecen para adaptarse a otras localidades para plantaciones de restauración.

El índice de selección es útil para seleccionar genotipos con base en múltiples características fenotípicas simultáneamente (Zobel y Talbert, 1988). Una forma de construir un índice de selección es a través de métodos multivariados como componentes principales (CP). En este caso el primer CP determina la proporción y vector característico de los valores fenotípicos de los caracteres objeto de estudio. Asimismo, los elementos del vector

característico del primer componente determinan la proporción con que los caracteres respectivos contribuyen al nuevo índice (Cerón y Sahagún, 2005).

Los objetivos del presente trabajo fueron seleccionar árboles semilleros con base en un índice de selección y diseñar virtualmente un rodal semillero, sin franja de protección, mediante la simulación de aclareos, en un ensayo de tres procedencias de *P. greggii* establecido en Arteaga, Coahuila.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área experimental se localiza a 25° 23' LN y 100° 36' LO, 2280 msnm, a 45 km de Saltillo, Coah.; su clima es templado con verano fresco y largo, con temperatura media anual de 13.6 °C y una lluvia media anual de 521.2 mm. Su fórmula climática es Cb(X')(Wo)(e)g (García, 1987). El ensayo de procedencias se estableció en 1992 con semilla a granel de tres procedencias, sin identificación de familias, mediante un diseño experimental de tres bloques completos al azar, perpendiculares a la pendiente en exposición sur, con 39 plantas por parcela como unidad experimental, 117 por procedencia y 351 plantas útiles en total; además se utilizaron 98 plantas de borde. La distribución de plantas se hizo en "tresbolillo" con espaciamiento de 1.8 m, de tres procedencias del Estado de Coahuila: a) Cañón de Jamé (25° 20' 40" LN y 100° 35' 25" LO, de 2500 a 2600 msnm); b) Los Lirios (25° 23' 15" LN y 100° 33' 00" LO, de 2300 a 2400 msnm); y c) Cuauhtémoc (25° 17' 00" LN y 100° 55' 20" LO, de 2400 a 2500 msnm).

Despues de una poda realizada en el invierno de 2005 hasta una altura de 1.20 m, se evaluaron 16 variables de todos los árboles presentes en la plantación para incluirlas en el índice de selección y en el modelo de simulación de aclareos: altura total, diámetro a la base del tallo, diámetro normal (a 1.3 m sobre el suelo), diámetro de copa, diámetro de las tres ramas más gruesas que se encontraban en los tres primeros verticilos por arriba del diámetro normal, ángulo de inclinación de las ramas con respecto al fuste, rectitud del fuste, número de verticilos, número de ramas por verticilos, número de conos, largo y ancho de conos, y el producto de las últimas dos variables. Se incluyeron tambien los crecimientos relativos en altura y diámetro para 1992-1994, y el volumen estimado de Pressler (Romahn, 1991): ($V = 2 / 3 (g \times p)$), donde: g = Área seccional a 1.3 m de altura (m^2); p = Altura de Pressler = $h + 1.30 + 0.65$ m; h = Distancia entre diámetro normal y la sección con diámetro igual a la mitad del diámetro normal, cuya medición se hizo de manera directa con el auxilio de una escalera.

¹ Contreras M R (2005) Ensayo de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm. establecido en el CAESA, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. Ingeniero Forestal. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah.

Complementariamente, a cada árbol se le extrajo un cilindro de madera a 30 cm de altura mediante un taladro Pressler. Cada muestra se identificó con un número progresivo y se guardó en un popote de plástico para su protección y traslado al laboratorio. En dicha muestra se determinó la densidad relativa (peso anhidro/volumen verde) de la madera, con el método empírico (Valencia y Vargas, 1997). Esta información se utiliza para llevar un control de algunas características de la madera de los árboles seleccionados como productores de semilla.

En la parte central del ensayo se encontraron los árboles más pequeños, cuyo resultado pudiera atribuirse a las condiciones edáficas desfavorables del micrositio. Debido a ello se hizo un ajuste por efecto de bloque, que consistió en que a cada observación se le restó la media del bloque y se le sumó la media general del ensayo lo cual se hizo así en todas las variables evaluadas; además, se evitó eliminar árboles pequeños por efecto ambiental que pudieran ser genéticamente aceptables para otros sitios.

Se estandarizaron todas las variables para cumplir con el procedimiento de los análisis multivariados, excepto por el ángulo de ramas para el cual se hizo una transformación angular.

Para el resto de las variables se utilizó la siguiente transformación:

$$Z_{ij} = X_{ij} / S_j$$

Donde: Z_{ij} = Nuevo valor estandarizado; X_{ij} = Valor con que se representa la observación i en la variable j ; S_j = Desviación típica o estándar de los valores de la variable j .

Se usaron dos análisis multivariados e iterativos, componentes principales (CP) y agrupamiento, con el PROC PRINCOMP y el PROC CLUSTER, respectivamente, del "Statistical Analysis System" versión 8.2. (SAS Institute, 1987). El análisis de CP permitió reducir de dieciséis a siete variables (diámetro basal, diámetro normal, diámetro de copa, volumen Pressler, altura total, diámetro de ramas y número de ramas). Despues, los árboles se agruparon, con el PROC CLUSTER de SAS, para lo cual se probaron los métodos: "Average, Twostage K=3, Ward Pseudo, Density K = 3, Single and Centroid". Para seleccionar el mejor método se buscó el grupo que presentara los valores más altos del criterio cúbico de agrupamiento (CCA) y de la pseudo F estadística. Cada árbol se identificó con un código para asignarlo al grupo que le corresponde.

Una vez obtenidos los grupos de árboles semilleros se hizo la validación de los árboles en campo, mediante la

identificación y verificación de las variables por las que se había integrado a cada grupo. En la validación de campo se observaron espacios sin árboles dentro del ensayo, producto de la mortalidad; además, muchos árboles aún no tienen un tallo fuerte, por lo que se consideró dejar árboles de protección en lugares donde los vientos ocurren con mayor frecuencia y velocidad.

Para la simulación de los dos aclareos se utilizó el sistema de visualización de rodales (SVS versión 3.36, McGaughey (sin fecha)), con el cual se diseñó tanto la imagen del ensayo de procedencias como la imagen al simular la aplicación de los aclareos. Los criterios que se consideraron en la simulación fueron el índice de selección y el espaciamiento.

RESULTADOS

Los dos primeros componentes principales (CP) explicaron 84.8% de la varianza. En el CP1 las variables que más se correlacionaron fueron diámetro basal y diámetro normal; con una correlación menor estuvieron las variables: diámetro de copa, volumen Pressler, altura total, diámetro de ramas y número de ramas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Coeficientes de correlación de siete variables con los dos primeros componentes principales que explicaron 84.8% de la varianza en el ensayo de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm., establecido en Arteaga, Coah.

Variables	Componentes principales (varianza explicada, %)	
	1 (75.20)	2 (9.62)
Número de ramas	0.32074	0.68549
Diámetro de ramas	0.34298	-0.60417
Diámetro de copa	0.35978	0.122083
Altura total	0.38248	0.29648
Volumen Pressler	0.39004	-0.17860
Diámetro basal	0.41479	-0.14825
Diámetro normal	0.42375	-0.09158

En el CP2 las variables que más se correlacionaron fueron número de ramas (correlación positiva) y diámetro de ramas (correlación negativa). El método que mejor agrupó los árboles semilleros fue el Ward pseudo con tres grupos, ya que obtuvo los valores más altos de CCA = -3.2 y de la pseudo F = 140. Por tanto el índice de selección se definió con base en: diámetro basal, diámetro normal, diámetro de copa, volumen Pressler, altura total, diámetro de ramas y número de ramas.

En cuanto a las características dasométricas de los grupos de árboles, tanto el primero como el segundo grupo estuvieron constituidos por los árboles de menor tamaño, mientras que el tercer grupo incluyó a la mayoría de los árboles más grandes (Figura 1, Cuadro 2).

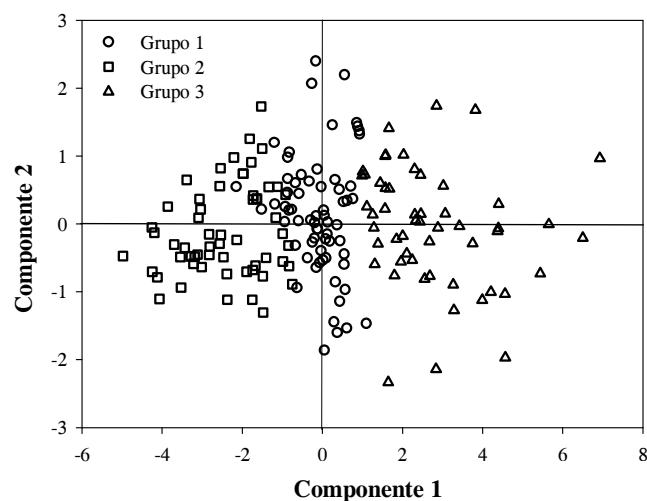


Figura 1. Agrupación de los árboles en los componentes principales uno y dos, en un ensayo de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm., establecido en Arteaga, Coah.

Cuadro 2. Promedio y errores estándar de variables dasométricas de tres grupos de árboles selectos mediante análisis multivariados, del ensayo de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm. establecido en Arteaga, Coah.

Grupo (núm.)	Árboles (núm.)	Altura total (m)	Diámetro a la base (cm)	Diámetro normal (cm)	Volumen Pressler (m ³)	Densidad de la madera (g cm ⁻³)
1	66	4.84±0.06	10.55±0.19	6.53±0.10	0.010±0.0003	0.447±0.01
2	77	4.35±0.13	9.11±0.42	5.72±0.31	0.010±0.001	0.450±0.008
3	35	5.66±0.12	13.77±0.42	9.10±0.35	0.023±0.002	0.447±0.01

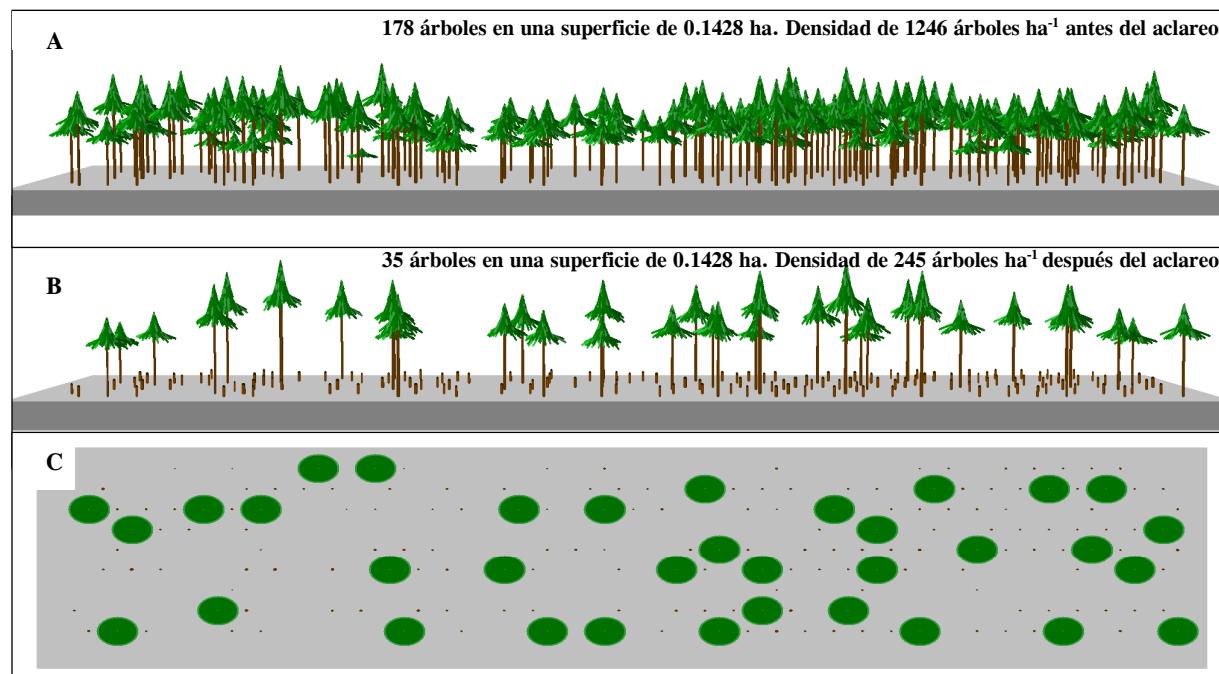


Figura 2. Vista de perfil (A) antes de simular la aplicación de dos aclareos y vistas de perfil (B) y superior (C) después de simular la aplicación de dos aclareos, en el ensayo de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm. establecido en Arteaga, Coah., para su conversión a un rodal semillero.

Actualmente, en la plantación existen 178 árboles vivos, con una densidad de 1246 árboles ha⁻¹, de los 351 (1595 árboles ha⁻¹) que se plantaron (Figura 2 A). En la primera simulación se eliminarían 66 árboles del primer grupo que corresponden a 37.1 % del total de la población superviviente, y se dejarían 112 árboles. En la simulación del segundo aclareo se extraerían 77 árboles del segundo grupo, que representan 43.2 % del total del arbolado en pie, y quedarían 35 árboles (Figura 2 B). Con esta simulación resultaría una densidad de 245 árboles ha⁻¹ y los mejores árboles semilleros ocuparían 0.1428 ha (Figuras 2 B y C).

Después del diseño del rodal semillero se obtuvieron los valores medios de los árboles selectos y los de la población inicial; altura total (5.66 vs. 4.79 m), diámetro normal (9.1 vs. 6.6 cm), diámetro basal (13.77 vs. 10.55 cm), volumen Pressler (0.023 vs. 0.012 m³) y densidad de la madera (0.438 vs. 0.447 g cm⁻³). Los valores medios en todas las variables de los árboles selectos, excepto en densidad de la madera, fueron superiores a los de la población inicial.

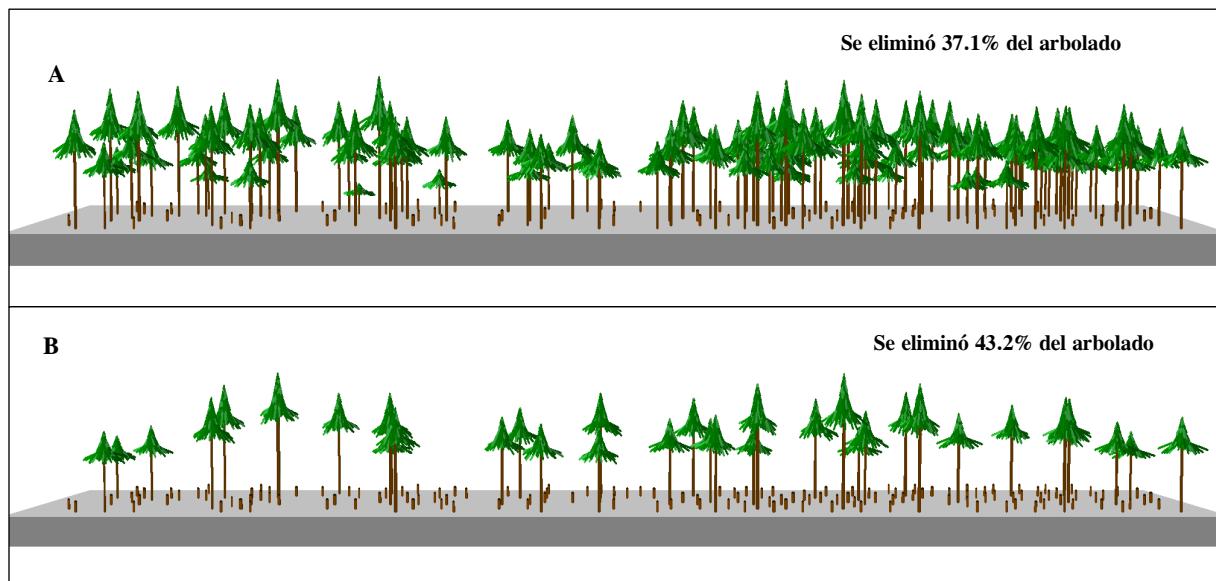


Figura 3. Vista de perfil (A) después de simular la aplicación del primer aclareo, y del perfil (B) después de simular la aplicación del segundo aclareo en el ensayo de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm., establecido en Arteaga, Coah., para su conversión a un rodal semillero.

DISCUSIÓN

El índice de selección aquí constituido por los mayores valores del diámetro basal, diámetro normal, diámetro de copa, volumen Pressler, altura total, diámetro de ramas y número de ramas, coincide con las variables dasométricas que otros autores han reportado para establecer un área semillera de *P. caribeae* var. *hondurensis* en La Sabana, Oax., Galeote *et al.* (1993) utilizaron la dominancia en altura y diámetro de los árboles semilleros. Asimismo, en un ensayo de progenie de *P. radiata* D. Don, Torres (2000) utilizaró valores de diámetro normal y altura para crear un índice de selección para convertir un ensayo de progenie a un huerto semillero. Farfán *et al.* (2002), al seleccionar árboles en un ensayo genético, encontraron una alta correlación entre la altura y los diámetros del fuste en *P. ayacahuite* Ehren. var. *ayacahuite*, por lo que recomiendan utilizar cualquiera de estas variables, preferentemente el diámetro normal por su mayor facilidad de medición y precisión.

También se han utilizado otras variables para seleccionar árboles semilleros. Para el establecimiento de un huerto semillero de *Cupressus lusitanica* Mill., Ladrach *et al.* (1977) utilizaron como criterios la resistencia a plagas y enfermedades, el volumen del árbol, la rectitud del fuste, la forma de la copa y la calidad de la madera para la conversión a huerto semillero de un ensayo de procedencias-progenie de *P. greggii*, Azamar *et al.* (Com.

Personal)² seleccionaron con base en volumen, rectitud del fuste, y grosor y número de ramas.

En el presente trabajo se hicieron dos simulaciones de aclareos dentro del ensayo de tres procedencias de *P. greggii*, con las cuales se diseñará el rodal semillero que asegure espacio suficiente para los árboles semilleros residuales, con el propósito de fortalecer el desarrollo completo de sus copas y permitir el fácil movimiento de maquinaria y equipo para la cosecha de conos y semilla, además de eliminar los árboles de borde para evitar la contaminación de polen procedente de árboles no deseados.

Después de la aplicación de los dos aclareos propuestos, se tendría una densidad residual de 245 árboles semilleros ha⁻¹ para la conversión del ensayo de procedencias a un rodal semillero, densidad que es mayor al área semillera de *P. caribeae* var. *hondurensis* en La Sabana, Oax., la cual fue de 134 árboles semilleros ha⁻¹ (Galeote *et al.*, 1993), pero menor a los 339 árboles ha⁻¹ del huerto semillero de *P. greggii* en Metepec, Edo. de México (Azamar *et al.*, *Op. cit.*). En ninguno de los estudios revisados se reporta el diseño del huerto semillero, ni la planeación de los aclareos para iniciar su establecimiento y posterior manejo. La planeación

²Azamar O M, J López U, J J Vargas H, A Plancarte B (2000) Evaluación de un ensayo de procedencias-progenie de *Pinus greggii* y su conversión a huerto semillero. In: Memorias del Primer Congreso Nacional de Reforestación. SEMARNAP – Colegio de Postgraduados Montecillo, Edo. de México. 9 p.

apropiada serviría para asegurar el acceso de maquinaria y equipo para el establecimiento y manejo, que incluye aclareos, la aplicación del cinchado parcial, la fertilización, el riego y las demás labores de manejo.

Los ensayos de procedencia son altamente efectivos para detectar buena adaptabilidad al clima, altitud y suelos del ensayo, y para obtener cierta ganancia genética (Clausen, 1990b). Dado que este ensayo ya cumplió con el propósito para el cual se estableció y que el crecimiento constante de los árboles está ocasionando sobreposición de las copas, es necesario realizar actividades silvícolas como aclareos. En este caso lo más conveniente es convertir el ensayo a un rodal semillero para obtener semilla genéticamente mejorada, por introducción y selección en procedencias de origen conocido.

CONCLUSIONES

En este estudio las variables dasométricas, como los diámetros basal y normal, y otros con correlación como diámetro de copa, volumen Pressler, altura total, diámetro de ramas y número de ramas explicaron 84.8 % de la varianza, permitió desarrollar un índice de selección de árboles semilleros.

La aplicación de un aclareo por tamaño del árbol seguido de un aclareo geométrico, ambos generados mediante dos simulaciones con el sistema de visualización de rodales, permitieron diseñar una propuesta de rodal semillero que incluye los mejores árboles (20 % superior), que sirva para obtener semilla mejorada para nuevas plantaciones cerca del sitio donde se encuentra establecido el ensayo, y para producir planta para reforestar sitios con condiciones ambientales y topográficas similares en otras localidades cercanas. El uso del sistema de visualización de rodales facilitó el diseño del área al visualizar la distribución espacial de cada árbol.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por el apoyo para el proyecto: "Ecofisiología forestal y mejoramiento genético forestal en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah." clave: 02.03.0207.2364.

BIBLIOGRAFÍA

- Cerón R J J, J Sahagún C (2005) Un índice de selección basado en componentes principales. *Agrociencia* 39:667-677.
- Clausen K E (1990a) Producción de semillas forestales genéticamente mejoradas. In: *Memoria Sobre Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales*. T Eguiluz P, A Plancarte B (eds). Chapingo, México. pp:78-88.
- Clausen K E (1990b) Métodos de mejoramiento forestal. In: *Memoria Sobre Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales*. T Eguiluz P, A Plancarte B (eds). Centro de Genética Forestal, A. C. Chapingo, México. pp:24-27.
- Farfán V E G, J Jasso M, J López U, J J Vargas H, C Ramírez H (2002) Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* Ehren var. *ayacahuite*. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:239-246.
- Galeote R M A, S Valencia M, R Benítez T (1993) Establecimiento de un área semillera de *Pinus caribea* var. *hondurensis* Barr. y Golf. en la plantación de La Sabana, Oax. Nota Técnica No. 3. Fábricas de Papel Tuxtepec, S.A. Tuxtepec, Oax. 7 p.
- García E (1987) Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, para Adaptarla a las Condiciones de la República Mexicana. UNAM. México. 245 p.
- Ladrach W, M Gutiérrez, P Arboleda, M H García (1977) Establecimiento de un huerto semillero de *Cupressus lusitanica* Mill. Informe de Investigación No. 25. Smurfit Cartón Colombia S. A. Investigación Forestal. Cali, Colombia. 16 p.
- López U J, J Jasso M, J J Vargas H, C Ayala S (1993) Variación de características morfológicas en conos y semillas de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 3:81-84.
- McGaughey R J (sin fecha) Stand Visualization System. Version 3.30. Pacific Northwest Research Station. USDA-FS. Seattle, Washington. 141 p.
- Patiño V F, R Villarreal C (1976) Algunos conceptos para el establecimiento de áreas semilleras. *Ciencia For.* 1:16-32.
- Ramírez H C, J J Vargas H, J Jasso M, G Carrillo C, H Guillén A (1997) Variación isoenzimática de diez poblaciones naturales de *Pinus greggii* Engelm. *Agrociencia* 31:223-230.
- Romahn de la V C F (1991) Relascopía. Serie de Apoyo Académico No. 43. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 133 p.
- SAS (1987) Statistical Analysis System Institute Inc. Cary, NC. USA. 1028 p.
- Torres J (2000) Evaluación genética y económica de dos ensayos de progenie de *Pinus radiata* D. Don a base de un índice de selección multicriterio. Santiago, Chile. Nota Técnica Ciencias For. 14:1-7.
- Valencia M S, J J Vargas H (1997) Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosque* 3:81-87.
- Zobel B J, J T Talbert (1988) Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. Ed. Limusa. México. 545 p.