



EVALUACION DE UN ENSAYO DE PROCEDENCIAS-PROGENIES DE *Pinus greggii* Y SU CONVERSION A HUERTO SEMILLERO.

Magdalena Azamar Oviedo¹
Javier López Upton²
J. Jesús Vargas Hernández²
Antonio Plancarte Barrera³

1. INTRODUCCIÓN

En general, las prácticas de mejoramiento genético forestal en nuestro país se han orientado al cultivo en bosques naturales con arbolado que presenta las mejores características fenotípicas. Se han aplicado diferentes sistemas y tratamientos silvícolas que, en los mejores casos, han asegurado únicamente la regeneración de los bosques, sin la certeza de que el renuevo presente una ganancia genética efectiva.

A través de las prácticas de mejoramiento genético se pretende encontrar y desarrollar el cultivo de especies con las mejores características para determinados usos, como puede ser la producción de madera para aserrío, celulosa, etc., lo cual considera la elección de individuos, el establecimiento de áreas o huertos semilleros, el ensayo de procedencias y modernas técnicas de biotecnología (Zobel y Talbert, 1988). Con el objetivo de encontrar las procedencias u orígenes geográficos más adecuadas para la producción de ciertos bienes se realiza el ensayo de procedencias (o poblaciones). Una variante de estos son los ensayos de procedencias-progenie, donde al menos se tiene control o identificación de uno de los padres de cada planta en prueba, las cuales constituyen la columna vertebral de un programa de mejoramiento genético.

Pinus greggii Engelm. ha mostrado altas tasas de crecimiento en altura y diámetro en ensayos genéticos o de especies (Castellanos y Ruiz, 1993; López *et al.*, 1999; Salazar, 1999), así como un gran potencial para adaptarse a condiciones limitantes de humedad (López, 1990). Estas características favorecen el uso de *P. greggii* en programas de reforestación para la recuperación de suelos degradados en diferentes partes de México y en programas de plantaciones comerciales en sitios marginales donde no se adaptan otras especies de *Pinus*. Esta especie en México ocupa el sexto lugar en producción y plantación del Programa Nacional de Reforestación (Bello 2000, com. pers.). En la República de Sudáfrica y en Argentina se han establecido plantaciones con *Pinus greggii* en localidades con niveles bajos de precipitación donde especies con alta tasas similares de crecimiento y productividad como *Pinus patula* Sch. *et* Cham y *P. taeda* L. no pueden prosperar (Dvorak y Donahue, 1993).

Así, con el fin de evaluar la respuesta de crecimiento y desarrollo de seis poblaciones naturales de *Pinus greggii* Engelm. en el Estado de México se inició un ensayo en el Municipio de Metepec, ambiente exótico a la especie. Después de 8 años de crecimiento se pretendió realizar un aclareo genético del ensayo para convertirlo en un área para producción de semilla, con la perspectiva hacia las plantaciones comerciales.

¹ Jefa del Programa de Mejoramiento. PROBOSQUE. Metepec, Estado de México

² Profesor Investigador de la Especialidad Forestal IRENAT-CP, Montecillo, Estado de México. uptonj@colpos.colpos.mx

³ Subdelegado de Recursos Naturales en el Estado de Oaxaca. SEMARNAT.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo general

Estimar la variación genética existente entre las diferentes poblaciones y entre los individuos dentro de las mismas a través de mediciones de altura, diámetro y volumen en la especie de *Pinus greggii* Engelm., en una plantación de la localidad de Metepec, en el Estado de México.

2.2 Objetivos particulares

- Evaluar las diferencias existentes entre y dentro de seis poblaciones naturales de *P. greggii* a los 8 años de realizada la plantación y determinar las mejores poblaciones y las mejores familias mediante la respuesta en crecimiento en volumen.
- Seleccionar y dejar en pie las mejores poblaciones, familias y los mejores individuos dentro de éstas para establecer un huerto semillero basado en varios procedimientos de análisis genéticos.

2.3 Hipótesis

Ho: No existen diferencias significativas entre procedencia, ni entre familias dentro de poblaciones en las variables a evaluar.

Ha: Existen diferencias significativas para poblaciones o entre individuos dentro de poblaciones.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 54 familias de medios hermanos de seis poblaciones del área de distribución natural de *P. greggii*, procedentes de los Estados de Coahuila (una), Querétaro (dos) e Hidalgo (tres) (Cuadro 1). En cada procedencia se colectó semilla de 20 árboles y con una distancia mínima de 50 m entre individuos. Los árboles se seleccionaron por el método comparativo basados en la rectitud del fuste, dominancia, buena poda natural y que presentaran producción de conos. La semilla se extrajo secando los conos al sol y limpiándola con la ayuda de un ventilador manual.

Cuadro 1. Características de los sitios donde proceden las poblaciones en estudio de *Pinus greggii*.

Población ¹	L.N.	L.W.	Altitud msnm	PP ² mm	T ² °C	Heladas por año
1. Molango, Molango, Hgo.	20°50'	97°40'	1,500	1,600	19	n/r
2. El Piñón, Jacala, Hgo.	20°56'	99°12'	1,700	850	18	n/r
3. Laguna Seca, Jacala, Hgo.	21°01'	99°10'	1,650	860	18	38
4. El Madroño, Landa de M., Qro.	21°07'	99°27'	1,200- 1,500	1,200	17	n/r
5. Valle Verde, Landa de M., Qro.	21°30'	99°10'	1,200- 1,250	1,400	17	n/r
6. Los Lirios, Arteaga, Coah.	25°40'	101°20'	2,480- 2,700	600	15	334

¹ Poblaciones 1 a 5 corresponden a *P. greggii* Engelm. var. *australis* Donahue & Lopez y la población 6 a *P. greggii* var. *greggii* Engelm.

² Precipitación total anual y temperatura media anual. Fuente: INEGI (1980).
n/r: No registradas.

Trabajo de Vivero

La siembra del material se realizó en septiembre de 1989 en las instalaciones del Centro de Genética Forestal A.C. en Texcoco, Méx. Se empleó conos de baja densidad (containers), con altura de 20 y diámetro de 4 cm, con capacidad de 251 cm³, llenados con tierra de hoja de encino y tierra de monte en proporción 1:1, y colocados en charolas portaconos. Para la germinación y desarrollo de las plantas se utilizó un invernadero con cubierta de plástico y riego por microaspersión. El diseño experimental utilizado para la siembra fue el de bloques completos al azar con un arreglo en parcelas divididas, parcelas grandes las poblaciones y dentro de éstas las familias, con cuatro repeticiones y parcelas de cinco unidades (plantas), dando un total de 20 plantas por familia. Se dejó una hilera perimetral de conos con un solo individuo, como faja exterior para evitar el efecto de orilla.

Establecimiento en campo.

Durante la fase de vivero una repetición tuvo fallas en la supervivencia de plantas, debido a problemas con Damping-off y con aves, por lo que sólo fue posible realizar tres repeticiones con 9 familias de cada población en dos localidades diferentes, entre ellas la del Municipio de Metepec, Méx., tema de esta investigación. La plantación fue establecida dentro de los terrenos del Conjunto CODAGEM, donde el suelo es fértil, de 1.20 m de profundidad, manto freático superficial, a una altitud de 2,600 msnm, donde la latitud norte es de 19° 14', la longitud oeste es de 99° 36', precipitación pluvial media anual es de 800 mm, la temperatura media anual de 12.7° C y el número de heladas de 100 a 120 días por año, la textura del suelo corresponde al grupo franco-arenoso teniendo los siguientes porcentajes: arena 57.84%, limo 22.72% y arcilla 19.44%.

El diseño de plantación fue el de bloques al azar, con tres repeticiones y parcelas de tres plantas por familia con un arreglo en parcelas divididas, parcelas grandes las poblaciones y parcelas chicas las familias. Por las condiciones del terreno y previendo la distribución del espacio de crecimiento, cuando el ensayo alcanzara la necesidad de aclareo, las parcelas se arreglaron en 9 bloques incompletos agrupando al azar tres familias por población, así si alguna procedencia se eliminara, los claros que ésta dejara no fueran excesivamente grandes. El arreglo de campo se realizó de tal forma que cada tres bloques contiguos formaran una repetición (3 en total) con todas las 54 familias en estudios (total de 486 árboles experimentales). Para evitar el efecto de orilla se plantó una hilera perimetral de individuos (Figura 1). La plantación fue realizada en marzo de 1991, con cepas de 30 x 30 x 30 cm y espaciamiento entre planta y planta de 3.0 x 2.0 m. Se aplicaron riegos de asiento y de auxilio para mantener vivos los ejemplares hasta que se estableciera plenamente la época de lluvias. A los treinta días de realizada la plantación se aplicó una dosis de 8 gr por planta de fertilizante con fórmula 63-17-17.

Análisis estadístico.

En marzo de 1999, a la edad de 8 años, se realizó la medición de la altura total y el diámetro a 1.30 m. Con estas variables se obtuvo el volumen con corteza utilizando la fórmula desarrollada por Romero (1993, pág. 75) para *Pinus patula* de similar edad:

$$VOL = 0.000060208 (DIAM)^{1.78610033} (ALT)^{1.0268489}$$

Primeramente se realizó un análisis de normalidad usando el procedimiento UNIVARIATE con la opción NORMAL (SAS Institute Inc. 1988) encontrándose que las variables pertenecían a la muestra de una población normal a excepción de la supervivencia. Esta última resultó con un valor medio muy alto, analizándose como un variable binaria (0,1). El análisis de la varianza en las características de supervivencia, altura, diámetro, y volumen se realizó de acuerdo al modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + P_j + BP_{ij} + F(P)_{jk} + BF(P)_{ijk} + E_{ijkl}$$

(Modelo 1)

(Fig.1) ESQUEMA DE PLANTACION HUERTO SEMILLERO SEXUAL *P. greggii* AREA DE INVERNADEROS CODAGEM. MPIO. METEPEC, MEX.

H	115	109	29	183	177	198	115	26	46	202	89
U	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
E	*	2	1	6	3	6	2	1	4	5	*
R	1	44 37 26	91 90 87	203 190 185	105 116 117	189 198 197	35 41 38	74 102 98	5 150 145	180 2 166	?
T	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
O	*	3	5	4	5	1	4	6	2	3	*
P.	77	134 111 121	176 172 184	154 146 153	1 162 174	86 69 73	160 159 147	201 193 195	45 36 28	128 106 107	109
	*	*	VII	*	*	VIII	*	*	IX	*	*
m	*	1	2	3	4	5	6	1	5	2	*
o	89	102 73 91	28 41 45	106 111 121	147 154 146	166 180 176	195 190 203	86 98 90	1 184 174	35 38 36	77
n	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
t	*	4	5	6	1	2	3	4	3	6	*
e	115	159 145 153	162 2 172	193 185 198	87 74 69	26 44 37	117 105 134	5 150 160	128 116 107	197 201 189	183
z	*	*	VI	*	*	V	*	*	IV	*	*
u	*	4	3	6	3	6	4	3	4	5	*
m	3	146 150 5	105 107 121	201 197 198	128 134 117	185 193 195	159 160 153	111 116 106	147 154 145	162 1 172	46
a	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
e	154	86 69 91	176 184 180	26 35 41	98 73 90	45 38 37	166 2 174	74 102 87	44 36 28	190 189 203	3
	*	*	I	*	*	II	*	*	III	*	*
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	29	183	93	102	92	109	89	77	177	29	177

* CAMINO DE TERRACERIA

Fecha de plantación: marzo 1991

(* Referencias de Ubicación)

SIMBOLOGIA

CARACTERISTICAS DE LA PLANTACION

- = PROCEDENCIA
- = No. FAMILIAS
- = No. DE BLOQUE

- = FAJA DE PROTECCION

- = INDIVIDUOS PLANTADOS POR FAMILIA

No. DE PROCEDENCIAS: 6

TOTAL DE FAMILIAS / PROCEDENCIA: 9

No. DE BLOQUES: 9

No. ARBOLES / BLOQUE: 162

No. PROCEDENCIAS / BLOQUE: 6

No. FAMILIAS / BLOQUE: 54

No. ARBOLES / FAMILIA EN EL BLOQUE: 3

TOTAL DE ARBOLES EXPERIMENTALES: 486

En donde :

Y_{ijkl} = Observación de la l-ésima plántula de la k-ésima familia de la j-ésima población en el i-ésimo bloque

μ = media poblaciones

B_i = efecto aleatorio de bloque $\sim NID(0, \sigma^2_b)$

P_j = efecto de población.

BP_{ij} = efecto aleatorio de la interacción población por bloque $\sim NID(0, \sigma^2_{bp})$

$F(P)_{jk}$ = efecto aleatorio de familia anidada en población $\sim NID(0, \sigma^2_{f(p)})$

$BF(P)_{ijk}$ = efecto aleatorio de la interacción de familia por bloque $\sim NID(0, \sigma^2_{bf(p)})$

E_{ijkl} = término del error $\sim NID(0, \sigma^2_e)$

En los análisis estadísticos se utilizó el paquete SAS (SAS Institute Inc. 1988), PROC GLM se usó para probar la significancia de los efectos aleatorios (bloques, familias e interacciones de estos con otros efectos), mientras que para el efecto fijo (poblaciones) se utilizó PROC MIXED con la opción Satterthwaite (Littell *et al.* 1996). Se usó la opción LSMEANS para obtener los valores de las medias ajustadas. Para la estimación de los componentes de varianza se usó el PROC MIXED con el método de probabilidad máxima restringida ("Restricted Maximum Likelihood Method, REML" Littell *et al.* 1996). Para comparar si en las poblaciones hay menor variabilidad que entre familias se realizó un corrimiento para obtener los componentes de varianza donde las poblaciones fueron consideradas como efectos aleatorios. Caso contrario, en la estimación de los componentes de varianza para determinar las heredabilidades, las poblaciones y bloques se consideraron como efectos fijos.

Las familias son de polinización libre, por lo que se consideran de medios hermanos, de ahí que el componente de varianza para familias (σ^2_f) puede ser interpretado como un estimado de un cuarto de la varianza genética aditiva (σ^2_A) (Falconer y Mackay, 1996). Así, se calculó la heredabilidad a nivel de individuos (h^2_i) y a nivel de familias (h^2_f) de las variables a través de las fórmulas siguientes (Zobel y Talbert, 1984):

$$h^2_i = [4 * \sigma^2_{f(p)}] / [\sigma^2_e + \sigma^2_{bf(p)} + \sigma^2_{f(p)}] \quad (\text{Modelo 2})$$

$$h^2_f = [\sigma^2_{f(p)}] / [\sigma^2_e/nb + \sigma^2_{bf(p)}/b + \sigma^2_{f(p)}] \quad (\text{Modelo 3})$$

Donde n fue el valor de la media armónica del número de plantas por parcela y b el número de bloques. $\sigma^2_{f(p)}$ es la varianza de familias dentro de poblaciones, $\sigma^2_{bf(p)}$ es la varianza de la interacción de bloques por familias, también llamada varianza entre parcelas, y σ^2_e es la varianza del error o varianza dentro de parcelas.

4.- RESULTADOS

La supervivencia a los 8 años de edad resultó de 92.6%, así no se encontraron diferencias significativas a nivel de poblaciones y familias. Para las variables altura y diámetro se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre poblaciones y familias dentro de poblaciones. Igualmente al obtener el volumen se obtuvieron tales diferencias (Tabla 2).

Cuadro 2. Significancia de las variables evaluadas en el ensayo de procedencias-progenies de *Pinus greggii* creciendo a 8 años en Metepec, Méx.

Efectos	G.L.	Altura		Diámetro		Volumen	
		Valor de F	Pr> F	Valor de F	Pr> F	Valor de F	Pr> F
Bloque	2	6.72	0.0141	0.39	N.S.	2.58	N.S.
Población	5	20.76	0.0001	19.11	0.0001	18.96	0.0001
B x P	10	1.82	N.S.	0.35	N.S.	0.60	N.S.
Familias (P)	48	1.66	0.0182	1.66	0.0174	1.80	0.0074
B x F(P)	96	1.28	N.S.	1.27	N.S.	1.36	0.0278
Error	297						

G.L. Grados de libertad.

El ensayo tuvo en promedio 8.4 m de altura (6.6 a 9.3 m entre poblaciones), 14.4 cm de diámetro (10.5 a 16.0 cm) y 0.070 m³ de volumen (0.032 a 0.086 m³, Cuadro 3). Se detectó notables diferencias entre el grupo de poblaciones del centro del país contra la población de Coahuila (Figura 2). Las poblaciones del sur de la distribución natural resultaron en promedio con 8.9 m de altura (8.2 a 9.3 m entre poblaciones), 15.2 cm de diámetro (13.9 a 16.0 cm entre poblaciones) y 0.078 m³ de volumen (0.061 a 0.086 m³ entre poblaciones), mientras que la población de Coahuila tuvo 6.6 m de altura, 10.5 cm de diámetro y 0.0316 m³ de volumen. La prueba de contrastes entre las medias de las 5 poblaciones de Hidalgo y Querétaro contra la media de la única población de Coahuila dio diferencias altamente significativas ($p < 0.001$).

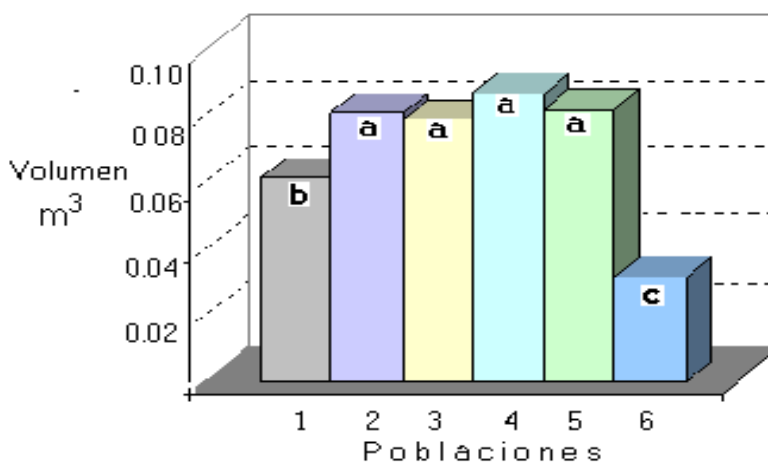


Figura 2. Volumen medio (m³) de cada procedencia de *P. greggii* Engelm. en el ensayo creciendo a 8 años en Metepec, Méx.

Cuadro 3. Valores medios a 8 años de edad del ensayo de procedencias-progenie de *P. greggii* Engelm.

Población	Altura (m)	Diámetro (cm)	Volumen (m ³)
1. El Piñón, Hgo.	8.78 ±0.38 a	15.44 ±0.76 a	0.0806 ±0.0049 a
2. Laguna Seca, Hgo.	8.82 ±0.39 a	15.30 ±0.77 ab	0.0787 ±0.0049 a
3. El Madroño, Qro.	9.28 ±0.39 a	15.96 ±0.77 a	0.0866 ±0.0049 a
4. Valle Verde, Qro.	9.15 ±0.39 a	15.50 ±0.75 ab	0.0817 ±0.0049 a
5. Molango, Hgo.	8.17 ±0.38 ab	13.91 ±0.76 b	0.0610 ±0.0048 b
6. Los Lirios, Coah.	6.60 ±0.40 b	10.52 ±0.75 c	0.0316 ±0.0048 c

Letras iguales indican medias no significativamente diferentes con $p < 0.05$.

Estos datos de crecimiento coinciden con las diferencias morfológicas de conos, semillas y acículas entre las poblaciones que reportan Donahue y López (1999), lo que puede confirmar la diferenciación taxonómica señalada por estos autores, de que las poblaciones del centro del país, entre estos Hidalgo y Querétaro, pertenecen a *P. greggii* var. *australis* Donahue & López y las poblaciones del norte (Coahuila y Nuevo León) son *P. greggii* var. *greggii* Engelm. Igualmente estas diferencias en crecimiento entre variedades coinciden con lo señalado por López *et al.* (1999) al analizar el patrón de crecimiento de 6 poblaciones del norte y 6 poblaciones del sur de la distribución natural de *P. greggii* a la edad de 3 años.

A partir de los datos climáticos de las poblaciones y de Metepec, Méx. (Cuadro 1), se hubiera esperado que la población de Los Lirios, Coah. Creciera mejor. Por ejemplo, la temperatura media anual de Los Lirios es más acorde a la de Metepec que las otras poblaciones. Quizás las diferencia estriba en que los árboles de Los Lirios se desarrollan más lentamente como una adaptación a la baja precipitación, temperatura y fertilidad de la Sierra de Arteaga, y que aunque las condiciones climáticas sea más favorables como es la disponibilidad de humedad y suelos fértiles de Metepec, Méx., los árboles de estas poblaciones (var. *greggii*) se encuentran genéticamente limitadas, alcanzando menores dimensiones que las poblaciones del sur de la distribución natural (var. *australis*). Este comportamiento fue igualmente detectado en un ensayo en Huauchinango, Pue. (1,400 m.s.n.m, 20° y 2,000 mm), al comparar seis poblaciones del norte con seis poblaciones del sur a tres años de edad (López *et al.*, 1999). Por otro lado, dentro de las poblaciones de la var. *australis*, la población de Molango resultó la de menores dimensiones lo que puede estar influido parcialmente a la adaptación a mayor temperatura de su hábitat (19°C).

Componentes de varianza.

Los resultados del análisis de componentes de varianza para volumen indican una mayor variabilidad entre árboles dentro de parcelas (55%), dato común en esta clase de experimentos. La variación debida a poblaciones resultó cuatro veces mayor a la debida a familias (32% vs. 7.4%, Figura 3). La mayor parte de esta alta variabilidad a nivel poblacional fue debida a la población de Coahuila, ya que al eliminar ésta del análisis, poblaciones aporta 6.6% y familias 10.6% de la variación total (Figura 3). Lo que refuerza aun más las diferencias entre ambos grupos de poblaciones de *P. greggii*.

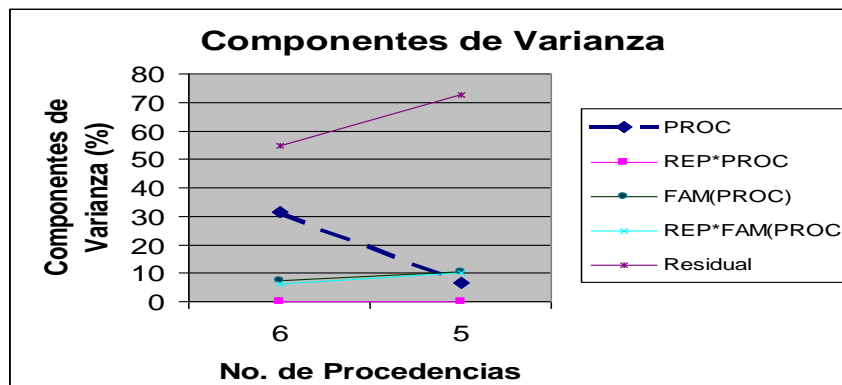


Figura 3. Componentes de varianza para la variable volumen a 8 años de edad del ensayo de procedencias-progenie de *P. greggii* engelm. establecido en Metepec, Méx.

Heredabilidad.

Los valores de heredabilidad en sentido estricto (h^2) a nivel individual y de familias resultaron para todas las variables con valores moderados (Cuadro 4). El coeficiente de determinación usado de 4 es resultado de varias consideraciones (Cockerham, 1961), entre ellas de que la progenie de diferentes familias no está emparentadas. Dado el tamaño reducido de las poblaciones de *P. greggii* es posible la existencia de consanguinidad por lo que un coeficiente de determinación menor a 4 ha sido recomendado para poblaciones de este tipo (Cheliak *et al.* 1985). Por ejemplo, Dvorak y Wright (1994) para pinos tropicales sugiere el valor de 3; por tanto, el valor de heredabilidad con el coeficiente de 4 parece sobreestimado. De cualquier forma, estos valores están sobreestimados ya que estos son de un solo sitio y la varianza aditiva (normalmente considerada igual a 4 veces la σ^2_f) está confundida con los efectos de la interacción genotipo ambiente (Comstock y Moll, 1963). De esta forma, parece más apropiado y conservativo considerar como valores de heredabilidad para altura, los calculados con el coeficiente de 3, es decir una heredabilidad de 0.25 para la altura total, 0.28 para el diámetro y 0.32 para el volumen (Cuadro 4).

Cuadro 4. Heredabilidad individual (h^2_i) y familiar (h^2_f) del ensayo de procedencias-progenie de *P. greggii* Engelm. a 8 años de edad.

Variable	h^2_i (4) ¹	h^2_i (3)	h^2_f
Altura	0.333	0.249	0.396
Diámetro	0.377	0.283	0.442
Volumen	0.432	0.324	0.465

1. Heredabilidades calculadas con un coeficiente de determinación de 4 y de 3, respectivamente.

La heredabilidad de medias de familias resultó moderadamente baja, lo que es resultado de el bajo número de árboles por parcela (2.85 media harmónica) y el número de repeticiones (tres, ver Modelo 3). Cabría recomendar mayor número de árboles por familia y repeticiones para aumentar la h^2_f .

En virtud de las diferencias tan notables entre procedencias, para convertir el ensayo en un huerto semillero, se eliminó la población de Los Lirios. Posteriormente se seleccionaron los mejores individuos dentro de las mejores familias para la variable volumen, y por último basados en la conformación del árbol (rectitud, grosor y número de ramas) se decidió dejar 99 árboles de los 450 sobrevivientes, lo que representó 37 de las 54 familias originales en el ensayo. Se consideró eliminar sólo el 31.5% de las familias con el fin de mantener la mayor variabilidad posible en el huerto semillero. Aún así la media en volumen de los 99 árboles selectos resultó de 0.210 m³, contra los 0.070 m³ de la media del ensayo

5.- LITERATURA CITADA

- Castellanos B., J.F. y M. Ruiz M. 1993. Introducción de *Pinus greggii* Engelm. en la Mixteca Alta Oaxaqueña. Folleto de investigación No. 1. INIF, SARH. Centro de Investigación Pacífico Sur. Yanhuatlán, Oaxaca, Méx. 18 p.
- Donahue, J.K. and J. López U. 1999. A new variety of *Pinus greggii* (Pinaceae) in Mexico. Sida Contribution to Botany 18(4):1103-1113.
- Dvorak, W.S. y J.K. Donahue. 1993. Reseña de investigaciones de la cooperativa CAMCORE 1980-1992. CAMCORE. Raleigh, N.C. U.S.A. 94 p.
- INEGI. 1980. Atlas nacional del medio físico. Carta de climas. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México D.F.
- Littell, R.C., G.A. Milliken, W.W. Stroup, R.D. Wolfinger. 1996. SAS system for mixed models. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina. 633 p.
- López A., J.L., J.J. Vargas H., C. Ramírez H. y J. López U. 1999. Variación intraespecífica en el patrón de crecimiento en altura del brote terminal en *Pinus greggii* Engelm. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales 5(2): 133-140.
- López U., J. 1990. Selección familiar por tolerancia a sequía en *Pinus greggii* Engelm. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 91 p.
- Romero G., Y.E. 1993. Análisis del crecimiento de *Pinus patula* Sch. et Cham., en diferentes niveles de competencia intraespecífica, en Huayacocotla, Ver. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 192 p.
- Salazar G., G.J., J.J. Vargas H., J. Jasso M., J. D. Molina G., C. Ramírez H. y J. López U. 1999. Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. Madera y Bosques 5(2): 19-34.
- SAS Institute Inc. 1988. SAS/STAT guide for personal computers. SAS Institute, Inc. Cary, N.C. 378 p.
- Zobel, B.J. y J.T. Talbert. 1988. Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. Trad. por M. Guzmán O. UTEHA, Noriega Editores, México. 545 p.