

VARIACIÓN INTRAESPECÍFICA EN EL PATRÓN DE CRECIMIENTO DEL BROTE TERMINAL EN *Pinus greggii* ENGELM.¹

J. L. López-Ayala¹; J. J. Vargas-Hernández²; C. Ramírez-Herrera²; J. López-Upton²

¹ División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. C.P. 56230.

² Profesor Investigador. Especialidad Forestal, IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México.
vargashj@colpos.colpos.mx, uptontj@colpos.colpos.mx

RESUMEN

En agosto de 1994 se estableció en Patoltecoya, Puebla, un ensayo de procedencias y progenies de *Pinus greggii* Engelm., con el propósito de evaluar la variación intraespecífica en características del crecimiento y adaptación de los árboles. En el experimento se incluyeron 5 familias de medios hermanos en cada una de las doce procedencias, en un diseño experimental en bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas y con cinco repeticiones.

A los 33 meses de la plantación, se encontró una variación significativa ($p \leq 0.001$) entre y dentro de las procedencias en altura y diámetro de los árboles, así como en el número de ciclos de crecimiento y la longitud promedio de éstos. Las procedencias sureñas de Zimapán, Hgo., Molango, Hgo., y El Madroño, Qro., presentaron los mayores crecimientos en altura y diámetro, mientras que las procedencias norteñas de San Juan, Coah. y Los Lirios, Coah., presentaron los valores más bajos. Las diferencias en el crecimiento en altura entre las procedencias del Norte y del Sur se debieron tanto a diferencias en el número de ciclos de crecimiento como en la longitud promedio de éstos. La heredabilidad a nivel de medias de familia fue relativamente elevada ($h^2 > 0.50$) para todas las características evaluadas, excepto en el número de ciclos de crecimiento que mostró una heredabilidad de 0.35. La heredabilidad a nivel individual fue mucho más baja para el número y longitud de los ciclos de crecimiento ($h^2 = 0.15$) que para el crecimiento en altura y diámetro ($h^2 > 0.30$). Al evaluar la variación inter e intrapoblacional en el número y longitud de las unidades de crecimiento en uno de los ciclos de crecimiento de 1997, se encontraron diferencias significativas entre las procedencias en el número y longitud promedio de las unidades de crecimiento, pero no entre las familias dentro de las procedencias. De acuerdo con el análisis de senderos efectuado, el número de unidades de crecimiento tuvo una mayor influencia sobre la longitud total del ciclo que la longitud promedio de las unidades tanto a nivel de procedencias como de familias e individuos. Por tanto, el número de unidades de crecimiento podría ser usada en un programa de mejoramiento.

PALABRAS CLAVE: Ensayo de procedencias/progenie. *Pinus greggii* Engelm. Variación genética. Patrón de crecimiento en altura.

INTRASPECIFIC VARIATION IN THE GROWTH PATTERN OF THE TERMINAL BUD IN *Pinus greggii* ENGELM.

SUMMARY

A provenance/progeny test of *Pinus greggii* Engelm. was established in Patoltecoya, Puebla, in August 1994, to evaluate the level of its intraspecific variation in growth and adaptive traits. In this field test, five half-sib families of 12 provenances were included in a split-plot experimental design with five replications.

Thirty-three months after planting, a significant variation ($p \leq 0.001$) was found both between and within provenances in height and diameter growth, as well as in number and average length of growth cycles. Southern provenances (Zimapán and Molango, Hidalgo, and El Madroño, Querétaro) had larger diameters and were taller than the northern provenances (Las Placetas, Nuevo León, Los Lirios, Coahuila, and Jan Juan, Coahuila). Differences in height between southern and northern provenances were due to differences in both number and average length of growth cycles. Family-mean heritability values were relatively high ($h^2 \geq 0.50$) for all growth traits evaluated, except number of growth cycles, which had a heritability of 0.35. Individual-tree heritability for number of growth cycles was also much lower ($h^2 = 0.15$) than for the other traits ($h^2 > 0.30$). When inter- and intra-population variation for number and length of stem growth units for one of the growth cycles in 1997 was evaluated in a sample of populations and families, significant

differences were found for both components at the population level, but not at the family level. Path analysis showed, however, that the number of growth units has greater influence on length of growth cycles than the average length of growth units. Therefore, number of growth units may be used in a breeding program.

KEY WORDS: Provenance/progeny trial, *Pinus greggii* Engelm, genetic variation, shoot growth pattern.

INTRODUCCION

En México, dada la gran riqueza en recursos genéticos forestales que se tiene, se han llevado a cabo diversos trabajos en especies de pinos, con la finalidad de conocer más a fondo aquellos atributos de los árboles que se puedan utilizar para aumentar la productividad forestal. Igualmente, se ha buscado encontrar la manera de manipular el material genético de estos árboles para encaminarlos hacia objetivos específicos y evitar pérdidas genéticas del recurso. Las plantaciones forestales comerciales son una alternativa de producción para conservar los recursos genéticos forestales; sin embargo, para que sean económicamente viables es necesario tener material genético que reúna las características mínimas de calidad para obtener el producto deseado y las características de adaptación necesarias al ambiente de los sitios de plantación (Zobel y Talbert, 1988).

Pinus greggii Engelm. es una de las especies de pino que tiene un gran potencial para emplearse en plantaciones forestales comerciales. En plantaciones forestales establecidas fuera de su área de distribución natural ha mostrado tener una buena capacidad de adaptación, además de un buen desarrollo durante los primeros años de crecimiento (Pande, 1983; Dvorak *et al.*, 1995). Debido a lo anterior, existe un gran interés en obtener la mayor información relacionada con diferentes aspectos de variación en características morfológicas, incluyendo hojas, conos y semillas. También se han hecho algunos estudios sobre el potencial de crecimiento en altura y diámetro, número de ramas, y propiedades de la madera (López 1986, Cigarrero, 1994; Valencia y Vargas, 1977). En lo que respecta a la velocidad de crecimiento en altura, se ha encontrado que existe una amplia variación entre y dentro de las poblaciones, especialmente durante los primeros años de la plantación (López, 1986, Cigarrero, 1994; Dvorak *et al.*, 1995). Sin embargo, no se conocen las causas de dicha variación ni la manera en que el patrón de crecimiento del brote terminal (número y longitud de los ciclos de crecimiento) puedan influir sobre el crecimiento anual en altura. Si las diferencias en el crecimiento en altura entre las poblaciones se deben a diferencias en la longitud en el período anual de crecimiento o a diferencias en el número y longitud de los ciclos de crecimiento, esto podría tener repercusiones importantes sobre la posibilidad de adaptación de dichas poblaciones a otros ambientes o sobre la calidad de la madera.

Con base en lo anterior, en el presente trabajo se analizaron las características de crecimiento en altura de doce procedencias de *Pinus greggii*, con los siguientes objetivos: (a) determinar el nivel de variación entre y de-

ntro de las procedencias en el crecimiento en altura y diámetro de los árboles; (b) establecer las relaciones fenotípicas entre el crecimiento en altura y sus componentes en el brote terminal (número y longitud promedio de los ciclos de crecimiento); (c) estimar el grado de control genético en las características antes mencionadas; (d) en una muestra de familias y procedencias con crecimiento contrastante en altura, evaluar la importancia relativa del número y longitud promedio de las unidades de crecimiento.

METODOLOGIA

El presente trabajo se realizó en una plantación de *Pinus greggii* de 33 meses de edad, establecida en agosto de 1994 libre, en Patoltecoya, Puebla (Lat. 20°12' N, Long. 98°02' W). La semilla se colectó en doce poblaciones naturales cubriendo el área de distribución natural de la especie (Cuadro 1). De cada procedencia se incluyó una muestra de cinco familias de medios hermanos, ya que la planta fue obtenida de semilla de polinización libre. De esta manera se analizó la variación en las características de crecimiento y adaptación de los árboles entre y dentro de procedencias. Al establecer el ensayo de campo se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar de con arreglo en parcelas divididas, y con cinco repeticiones. En las parcelas grandes se colocaron las procedencias y en las parcelas chicas las familias, en hileras compuestas por cuatro individuos a un espaciamiento de 2 x 2 m.

En marzo de 1997, se evaluó la supervivencia de las procedencias y familias presentes en el ensayo. Además, en cada uno de los árboles presentes se midió la altura, el diámetro basal, el número y la longitud de ciclos de crecimiento. Para las mediciones de altura y longitud de cada ciclo de crecimiento se empleó una regla de 4 m de longitud, graduado en centímetros. El diámetro basal se midió con un vernier digital, y el número de ciclos de crecimiento se obtuvo mediante el conteo directo. Posteriormente, se identificaron las 6 procedencias que tuvieron los valores promedio extremo en las características de altura y número de ciclos de crecimiento. En cada una de estas procedencias se eligieron 3 familias al azar, con la finalidad de conocer la variación existente entre ellas en el número y longitud de las unidades de crecimiento, así como su relación con la longitud promedio de los ciclos de crecimiento. Para medir el número de unidades de crecimiento en cada ciclo, se tomó una muestra de 5 cm en la parte media del último ciclo de crecimiento formado en el árbol. En esta sección se contó el total de unidades de crecimiento presentes y por medio de las fórmulas descritas por Gómez (1993), se obtuvo el número total de unidades presentes en todo el ciclo de crecimiento.

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

Población1	L.N.	L.W.	Altitud msnm	PP (mm)1	T (°C)1	PH suelo2
1 Pto. Conejos, N.L.-Coah.	25°28'	100°35'	2400	650	13	6.0
2 Santa Anita, Coah.	25°27'	100°35'	2500	650	13	6.8
3 Pto. San Juan, Coah.	25°25'	100°33'	2650	600	13	6.9
4 Los Lirios, Coah.	25°24'	100°34'	2350	600	12	7.4
5 Jamé, Coah.	25°01'	100°36'	2370	600	13	7.2
6 Las Placetas, N.L.	24°54'	100°12'	2250	750	16	7.2
7 El Madroño, Qro.	21°16'	99°09'	1750	1200	17	4.5
8 El Piñón, Hgo.	20°57'	99°13'	1830	850	18	5.6
9 Molango, Hgo.	20°48'	98°44'	1400	1500	16	4.4
10 Xochicoatlán, Hgo.	20°47'	98°42'	1850	1750	17	5.4
11 Minas San Fco., Hgo	20°45'	98°22'	1845	650	18	5.2
12 Patoltecoya, Pue.	20°13'	98°02'	1415	2000	20	5.6

¹ Precipitación total anual y temperatura media anual. Fuente : INEGI (1980).

² Muestras en campo determinadas en el laboratorio de Física de Suelos, IRENAT-CP.

Se realizó un análisis de varianza en las características de supervivencia, altura, diámetro, número y longitud promedio de los ciclos de crecimiento de acuerdo al modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + P_j + BP_{ij} + F(P)_{jk} + BF(P)_{ijk} + E_{ijkl} \quad (\text{Modelo 1})$$

En donde :

Y_{ijkn} = Observación de la i -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 fijo de procedencia $\sim NID(0, \sigma^2_p)$

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

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

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

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

Con base en los resultados del análisis de varianza se estimaron los componentes de la varianza y con estos se estimó la variación fenotípica y genética aditiva, además de la heredabilidad en sentido estricto a nivel de familias e individuos. Adicionalmente se calcularon las correlaciones fenotípicas a nivel de medias de familias entre estas variables. También se efectuó un análisis de varianza

para las características del número y longitud promedio de las unidades de crecimiento en el último ciclo y se estimaron las correlaciones entre la longitud del ciclo de crecimiento y sus componentes a nivel de procedencias, familias e individuos.

Para una mejor comprensión del efecto combinado del número y longitud de las unidades de crecimiento sobre la longitud del ciclo de crecimiento, se efectuó un análisis de senderos (path analysis), tanto a nivel de procedencias como de familias e individuos de acuerdo a los procedimientos descritos por Wright (1923). El análisis de senderos sirve para determinar el efecto que ejercen dos o más variables sobre otra característica en particular que depende de las anteriores. Las dos variables pueden estar correlacionadas entre sí, pero existe un coeficiente que mide su efecto sobre la característica de interés. El producto de este coeficiente nos da la contribución directa e indirecta de cada una de las variables de interés (Wright, 1923).

RESULTADOS Y DISCUSION

Variación en supervivencia y crecimiento de los árboles.

El análisis de varianza mostró una variación significativa entre procedencias en el porcentaje de supervivencia de los árboles a los 33 meses de edad. La procedencia Patoltecoya, originaria del lugar de la plantación, presentó un 82% de supervivencia y se considera como testigo para efectos de comparación. Las procedencias de Sur de la distribución natural presentaron un buen grado de adaptación al sitio de plantación, dado que su supervivencia (de 83 a 89%) fue semejante a la de la proceden-

cia local (Patoltecuya, Figura 1). En el otro extremo, las procedencias de Los Lirios, Coah. y San Juan, Coah. presentaron la menor supervivencia en todo el ensayo (68 y 69%, respectivamente). Esto sugiere que estas procedencias del Norte del país presentan una menor capacidad de adaptación al sitio de ensayo, probablemente debido a que ellas se encuentran más alejadas a su origen geográficos, creciendo en condiciones más diferente que las otras poblaciones del Sur (Cuadro 1). Sin embargo, habrá que esperar más tiempo para confirmar los resultados observados durante los primeros tres años de establecimiento.

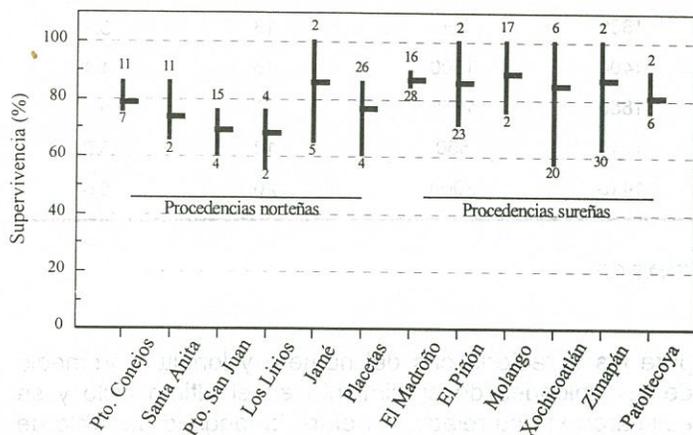


Figura 1. Valores promedio (—) de supervivencia por procedencia y de las familias con valores mínimos y máximos, en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. A los 33 meses de edad. Los números en las barras identifican a las familias con los valores mínimos y máximos dentro de cada población.

Además de la variación a nivel de procedencias, también se encontraron diferencias en la supervivencia a nivel de familias dentro de aquellas. Algunas familias presentaron 100% de supervivencia, valor mayor que el promedio de la mejor procedencia (Molango, Hgo. con 89%), por lo que pueden ser consideradas en una selec-

ción a nivel de familias por su alta capacidad de adaptación a este sitio.

De acuerdo al análisis de varianza, se encontró una variación altamente significativa tanto entre procedencias como entre familias dentro de ellas ($p < 0.001$) en el crecimiento en altura y diámetro de los árboles, así como en la longitud promedio de los ciclos de crecimiento (Cuadro 2). En el número de ciclos de crecimiento solo se encontró una variación significativa entre procedencias pero no entre familias dentro de procedencias. La contribución de las procedencias a la varianza total fue muy notoria y generalmente mayor que la aportación de las familias, con valores que fluctuaron entre el 10 y 20% de la varianza total en la mayoría de las características evaluadas (Cuadro 3). Estos valores son similares a los obtenidos por Cigarrero (1994), e indican que existe un elevada diferenciación entre las procedencias en el crecimiento.

La diferencias en el crecimiento promedio en altura entre las procedencias del Sur y del Norte (3.32 vs 1.52 m, Figura 2a) es notoria. Esto representa un crecimiento promedio en altura de 121 cm por año en las procedencias sureñas mientras que en las procedencias del Norte el crecimiento promedio anual en altura es de sólo 55 cm, es decir, las procedencias de *Pinus greggii* del Sur están creciendo más del doble que las procedencias del Norte. Mendoza (1995) encontró diferencias similares en el crecimiento en altura de las plántulas de estas procedencias en la etapa del vivero, lo que implica que las diferencias se han mantenido con el transcurso de los años.

Al igual que en el caso de la altura, en la Figura 2b se aprecia una amplia variación entre las procedencias del Sur y del Norte en el diámetro promedio de los árboles (6.58 vs 3.41 cm). En promedio, las procedencias del Sur crecieron 2.4 cm de diámetro por año, mientras que las procedencias del Norte tuvieron un crecimiento promedio anual en diámetro de 1.2 cm, por lo que en ese período las primeras crecieron a una tasa del doble que las segundas.

CUADRO 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para altura, diámetro, número y longitud promedio de ciclos de crecimiento en un ensayo de *Pinus greggii* Engelm.

Fuente de Variación	G. L.	Altura	Diámetro	NCC	LPCC
Bloque	4	21178.08	1065.30	10.6908	265.76
Procedencia	11	229656.81**	8450.47**	32.9429**	1711.62**
Bloque x Procedencia	43	2212.90**	133.33**	2.4726**	27.08n.s.
Familia (Proc.)	51	2878.95**	147.78**	2.0045n.s.	47.63**
Bloque x Familia (Proc)	179	1064.68**	60.35**	1.3045**	21.79**
Error dentro de parcela	654	2786.82**	183.1126**	2.4924**	62.80**

G.L. Grados de Libertad. **. Altamente significativo ($P \leq 0.001$). n.s.: No significativo.

CUADRO 3. Componentes de varianza en valores absolutos y porcentaje para las variables altura, diámetro, y número y longitud promedio de ciclos de crecimiento en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm.

Variable	Altura	Diámetro	NCC	LPCC
σ^2_P	867.8	31.6	0.5	6.33
(%)	20.9	13.4	13.2	8.5
σ^2_{bp}	16.38	1.40	0.02	0.15
(%)	0.4	0.6	0.5	0.2
$\sigma^2_{f(p)}$	362.85	17.48	0.14	5.16
(%)	8.8	7.4	3.2	6.9
σ^2_e	109.93	2.37	0.10	0.28
(%)	2.7	1.0	2.5	0.4
σ^2_w	2786.8	183.1	3.4	62.7
(%)	67.2	77.6	80.6	84.0
σ^2_{total}	4143.79	236.03	4.33	74.57

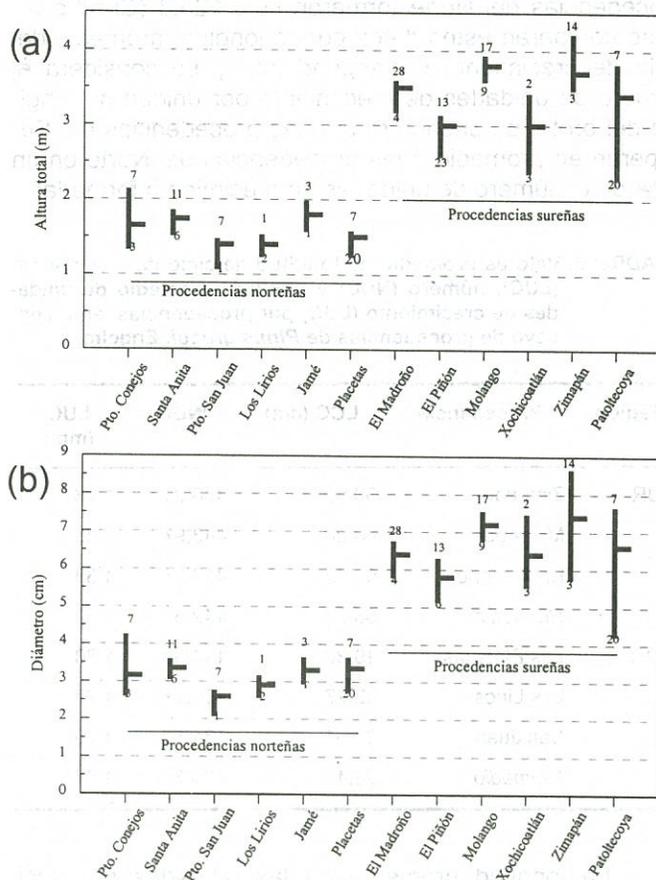


Figura 2. Valores promedio (—) en altura (a) y diámetro (b) por procedencia y de las familias con los valores mínimo y máximo, en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. Los números en las barras identifican a las familias con los valores mínimo y máximo dentro de cada población.

El número de ciclos de crecimiento formados también fue diferente entre los dos grupos de procedencias (9.51 vs 7.30 ciclos; Figura 3a). Sin embargo, las diferencias entre procedencias, que varían de 6 a 63%, no son suficientes para explicar las variaciones encontradas en el crecimiento en altura entre los grupos Norte y Sur. Además, hay diferencias notorias entre los dos grupos de procedencias en la longitud promedio de los ciclos de crecimiento. Así la Figura 3b muestra que la longitud promedio de los ciclos de crecimiento varió desde 15 cm en la procedencia de Los Lirios hasta 47 cm en la procedencia de Xochicoatlán. Además, en promedio, las procedencias del Sur tuvieron ciclos de crecimiento con una longitud de 33.7 cm, mientras que en las procedencias del Norte, la longitud promedio fue de sólo 18.7 cm, lo que representa una diferencia de 80% entre ambos grupos.

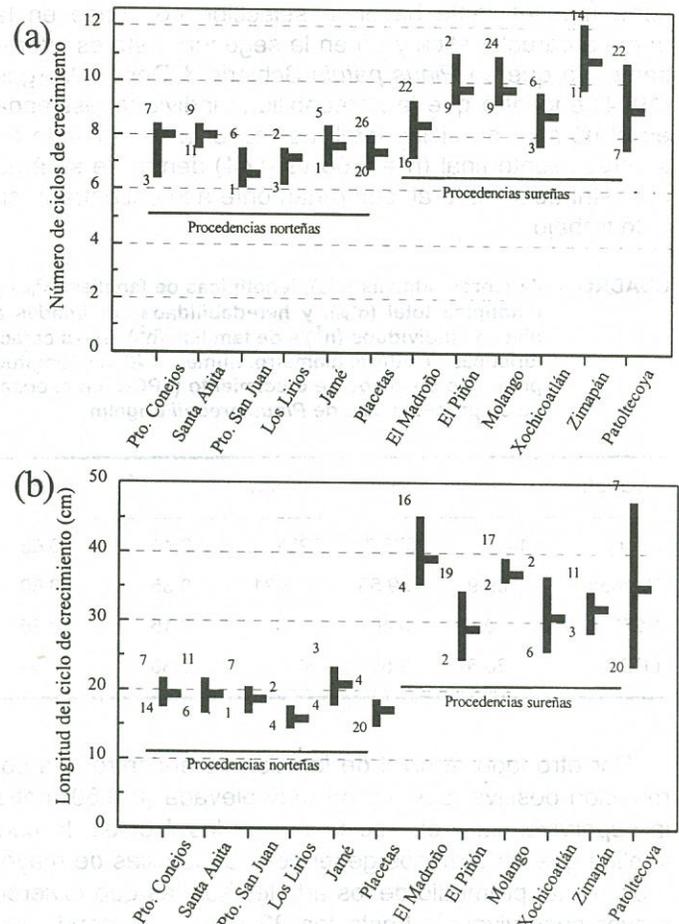


Figura 3. Valores promedio (—) en el número (a) y la longitud (b) promedio de los ciclos de crecimiento por procedencia y de las familias con los valores mínimo y máximo, en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. Los números en las barras identifican a las familias con los valores mínimo y máximo dentro de cada población.

A pesar de que la procedencia de El Madroño, Qro. no fue la de mayor altura, dado que tuvo un número bajo de ciclos de crecimiento, presentó la mayor longitud promedio por ciclos, lo cual podrá dar mejor calidad de la

madera, al tener internudos más largos. Lanner (1976) menciona que los ciclos de crecimiento formados en el árbol son una característica que representa la capacidad de crecimiento de la especie, por lo que se pueden esperar buenas ganancias genéticas al usar la procedencia de El Madroño, Qro. sin que necesariamente haya formado gran número de ciclos de crecimiento.

Control genético y relaciones fenotípicas entre las características

Con excepción del número de ciclos de crecimiento que tuvo una heredabilidad individual de 0.15, las otras tres variables presentaron valores relativamente elevados de heredabilidad ($h^2 > 0.30$), tanto a nivel individual como de las medias de familias (Cuadro 4). En todos los casos la heredabilidad de familias fue mayor que la heredabilidad individual. Dado que la longitud promedio de ciclos tuvo una heredabilidad mayor que la del número de ellos, sería más eficiente hacer la selección con base en la primera característica y no en la segunda. Esto es interesante, ya que en *Pinus patula* Schiede & Deppe, Vargas (1994) encontró que la heredabilidad individual estimada en el número de ciclos total fue mayor a la estimada en su crecimiento final ($h^2 = 0.68$ vs 0.44) dentro de su área de distribución natural, contrariamente a lo encontrado en este trabajo.

CUADRO 4. Varianzas aditivas (σ^2_a), fenotípicas de familias (σ^2_{pf}) y fenotípica total (σ^2_{pi}), y heredabilidades estimadas a nivel de individuos (h^2_i) y de familias (h^2_f) en las características de altura, diámetro, número (NCC) y longitud promedio de ciclos de crecimiento (LPCC) en el ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm.

Variable	σ^2_a	σ^2_{pf}	σ^2_{pi}	H^2_i	H^2_f
Altura	1451.41	575.79	3259.60	0.44	0.63
Diámetro	69.93	29.55	198.21	0.35	0.60
NCC	0.56	0.40	3.73	0.15	0.35
LPCC	20.67	9.52	68.24	0.30	0.54

Por otro lado, a nivel de familias se encontró una correlación positiva, aunque no muy elevada ($r=0.50$) entre la supervivencia y el crecimiento de los árboles, lo cual implica que en términos generales, las familias de mayor crecimiento promedio de los árboles son las que tuvieron mayor supervivencia hasta los 33 meses de edad. Asimismo, las correlaciones entre las demás características de crecimiento fueron bastantes elevadas ($r > 0.82$), excepto entre el número y longitud promedio de los ciclos de crecimiento, donde la correlación ($r=0.56$) tuvo un valor más bajo y no significativo; como se esperaba la correlación entre la altura y el diámetro fue muy cercana a 1.0 ($r=0.98$), lo cual implica que con medir una de esas variables es suficiente para caracterizar a cada una de las familias. Por otro lado, la altura total tuvo una correlación con la longitud promedio de los ciclos de crecimiento

mayor ($r=0.93$) que con el número de ciclos de crecimiento ($r = 0.83$), lo cual implica que la primera es más importante que la segunda en determinar el crecimiento total en altura; de cualquier manera la correlación relativamente baja encontrada entre el número y la longitud de los ciclos de crecimiento ($r = 0.56$) indica que las dos variables se pueden usar simultáneamente o independientemente para aumentar el crecimiento en altura de las familias.

Componentes de crecimiento del brote terminal

En la muestra de las procedencias seleccionadas se encontraron diferencias significativas entre procedencias tanto en la longitud de los ciclos de crecimiento como en el número y longitud promedio de las unidades de crecimiento formadas. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las familias dentro de procedencias en ninguna de las características anteriores, lo cual señala que estos componentes del crecimiento están relacionados estrechamente con el sitio de origen de las procedencias, por lo que deben tener importante valor adaptativo. Las procedencias sureñas formaron en promedio 442.5 unidades de crecimiento, mientras que las procedencias del Norte formaron solo 125.3 (Cuadro 5). Si se comparan estos datos con la longitud promedio del ciclo de crecimiento correspondiente y se considera el número de unidades de crecimiento por unidad de longitud del brote, se encuentra que las procedencias del Sur superan en promedio a las procedencias del Norte en un 71% en el número de unidades de crecimiento formadas.

CUADRO 5. Valores promedio de longitud de ciclo de crecimiento (LUC), número (NUC) y longitud promedio de unidades de crecimiento (LUC) por procedencias, en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm.

Región	Procedencia	LCC (cm)	NUC	LUC (mm)
SUR	Zimapán	58.86	468.31	1.28
	Molango	60.28	443.97	1.33
	El Madroño	56.92	413.33	1.38
	Promedio	58.7	442.5	1.33
NORTE	Las Placetas	19.38	114.03	1.80
	Los Lirios	22.27	127.17	1.77
	San Juan	22.51	134.82	1.75
	Promedio	21.4	125.3	1.77

La longitud promedio de las unidades de crecimiento (LUC), en las procedencias del sur varió de 1.28 a 1.38 mm, mientras que en las procedencias del norte varió de 1.75 a 1.80 mm (Cuadro 5), esto representó un 33% más de longitud promedio en las procedencias del norte con respecto a las del Sur. Lanner (1976) menciona que la diferencia en la longitud del brote o ciclo de creci-

miento se debe más al número de unidades de crecimiento que a las longitudes de éstas. Así mismo, en un estudio realizado por Gómez (1993) en *Pinus patula*, se encontró que las longitudes promedio de las unidades de crecimiento no variaron significativamente entre las familias analizadas, aún cuando se evaluaron todos los ciclos de crecimiento presentes en los individuos. Sin embargo, no se puede descartar la posibilidad de que en una cruz entre las familias norteñas y sureñas se puedan obtener individuos que contengan un mayor número de unidades de crecimiento con una mayor longitud promedio de éstas, si las dos características son independientes y tienen un control genético moderado.

Las correlaciones entre el número de unidades de crecimiento y la longitud del ciclo de crecimiento del brote terminal fueron bastante elevadas y similares a los tres niveles evaluados (Procedencias, familia, e individual, $r > 0.98$; $p < 0.01$). Lo anterior refleja por un lado la importancia de este componente en determinar el crecimiento del brote, y por otro, la estabilidad del componente a los diferentes niveles considerados. En el caso de la longitud promedio de las unidades de crecimiento (Cuadro 6), se observaron correlaciones negativas con la longitud total del ciclo en los tres niveles considerados, aunque los valores fluctuaron desde -0.32 a nivel de individuos hasta -0.84 a nivel de familias. El análisis de senderos mostró que los dos componentes tienen un efecto directo positivo sobre la longitud total del ciclo, aunque el efecto directo del número de unidades de crecimiento es mucho mayor que el de la longitud promedio de las unidades, por lo que habría que poner un mayor énfasis en el primer componente

CUADRO 6. Análisis de sendero del efecto del número y longitud promedio de las unidades de crecimiento sobre la longitud total del ciclo de crecimiento a nivel de procedencias, familias e individuos en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm.

Nivel	Variables	Efectos		Total
		Directo	Indirecto	
Procedencias	NUC	1.072	-0.001	0.97
	LUC	0.172	-0.632	-0.46
Familia	NUC	1.057	-0.068	0.99
	LUC	0.079	-0.909	-0.83
Individuo	NUC	1.034	-0.053	0.98
	LUC	0.124	-0.444	-0.32

De la misma manera, es importante señalar que los efectos indirectos siempre fueron negativos y mayores en el caso de la longitud promedio de las unidades que del número de unidades de crecimiento, lo cual muestra nuevamente el efecto compensatorio entre estas dos componentes, y el hecho de que tendrían un mayor efecto posi-

vo sobre el crecimiento el brote si la selección se orienta a aumentar el número de unidades de crecimiento formadas en la yema terminal en cada ciclo de crecimiento.

CONCLUSIONES

1. A los 33 meses de edad, las procedencias de origen sureño presentaron una supervivencia promedio superior al 85%, mientras de origen norteñas tuvieron 75% de supervivencia.
2. Se encontró una variación altamente significativa ($p < 0.001$) en el crecimiento en altura y diámetro de los árboles y en el número y longitud promedio de los ciclos de crecimiento, tanto entre como dentro de las procedencias. Sin embargo, la variación a nivel de procedencias en estas características siempre fue mayor que a nivel de familias dentro de procedencias.
3. Las procedencias que mostraron los mayores incrementos en altura y diámetro así como mayor número y longitud promedio de los ciclos de crecimiento fueron las procedencias sureñas de Zimapán, Molango y El Madroño, mientras que en el otro extremo se encontraron las procedencias norteñas de Las Placetas, Los Lirios y San Juan.
4. Los valores de heredabilidad individual, en general, presentan valores bajos con respecto a los mostrados a nivel de las medias de familias; la altura, el diámetro y la longitud promedio de los ciclos de crecimiento tuvieron valores relativamente elevados de control genético ($h^2 > 0.50$).
5. Se encontró una correlación fenotípica positiva relativamente elevada entre la altura con el número y la longitud promedio de los ciclos de crecimiento, por lo que se puede aumentar el crecimiento en altura si se selecciona con base en sus componentes del crecimiento. También se encontró una correlación positiva elevada entre la longitud del ciclo de crecimiento y el número de unidades de crecimiento formadas, pero la correlación de estas variables con la longitud promedio de unidades de crecimiento fue negativa. El análisis de senderos mostró que el número de unidades de crecimiento tuvo una mayor influencia que la longitud promedio de las unidades sobre el crecimiento total del brote terminal, por lo que el primer componente debería recibir el mayor esfuerzo en el proceso de selección

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo proporcionado por CONACYT para la colecta del germoplasma utilizado en el estudio, a través del proyecto de investigación P220-CCOR-904153. Nuestro sincero agradecimiento al Sr. Juan Ramón Fernández Alonso por permitirnos establecer el estudio en sus terrenos y apoyarnos en la toma de datos.

LITERATURA CITADA

- CIGARRERO C., C. 1994. Evaluación temprana de seis procedencias y 108 familias de *Pinus greggii* Engelm. En dos localidades del Estado de México, Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 65 p.
- DVORAK, W.S.; KIETZKA, J.E.; DONAHUE, J.K. 1995. Three-year survival and growth of provenances of *Pinus greggii* Engelm. in tropics and subtropics. *Forest Ecology and Management* 83:123-131.
- GOMEZ C., M. 1993. Patrón de elongamiento del brote terminal en familias de *Pinus patula* Sch. et Cham, contrastante en potencial de crecimiento de altura. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 106 p.
- INEGI. 1980. Atlas nacional del medio físico. Carta de climas. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México D.F.
- LANNER, R.M. 1976. Patterns of shoot development in *Pinus* and their relationship to growth potential. In: CANNELL, M.G.R. y F.T. LAST. (eds.) *Tree physiology and yield improvement*. Academic Press. New York. pp. 223-243.
- LOPEZ U., J. 1986. Características de la preogénie de plantaciones jóvenes de *Pinus greggii* Engelm. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 71 p.
- MENDOZA H., A.J. 1995. Variación morfológica de plántulas e influencia de pH del agua de riego en doce procedencias de *Pinus greggii* Engelm. Tesis profesional, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 85 p.
- PANDE, G.C. 1983. Tropical pines in India; an overview. *Indian Forester* 108: 1-28
- VALENCIA M., S.; Vargas H., J.J. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosques* 3(1): 81-87.
- VARGAS H., J.J. 1994. Efectos ambientales y genéticos sobre el crecimiento del brote terminal en *Pinus patula*. In: II° Congreso Latinoamericano de Genética y XV Congreso de Fitogenética. Facultad de Agronomía de la UANL. Monterrey, Nuevo León. pp: 188.
- WRIGTH, S. 1923. The theory of path coefficients; a reply to Niles's Criticism. *Genetics* 8:239-255.
- ZOBEL, B.J.; TALBERT, J.T. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Trad. por M. Guzmán O. UTEHA, Noriega Editores, México. 545 p.