

## CONTROL GENÉTICO DE CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO EN VIVERO DE PLÁNTULAS DE *Pinus oocarpa*

### GENETIC CONTROL OF *Pinus oocarpa* SEEDLINGS GROWTH TRAITS IN THE NURSERY

Héctor Viveros-Viveros<sup>1</sup>, Cuauhtémoc Sáenz-Romero<sup>2\*</sup> y Rubén Ricardo Guzmán-Reyna<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa Forestal, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. C.P. 56230 Montecillo, Texcoco, Edo. de México. <sup>2</sup>Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales (INIRENA), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Av. San Juanito Itzicuaró s/n, Col. San Juanito Itzicuaró. C.P. 58330 Morelia, Mich. Correo electrónico: csaenz@zeus.umich.mx <sup>3</sup>Facultad de Biología, UMSNH, Av. Francisco J. Mújica s/n, Col. Felicitas del Río. C.P. 58040 Morelia, Mich.

\* Autor para correspondencia

#### RESUMEN

En un ensayo en vivero de progenies de medios hermanos de *Pinus oocarpa* Schiede originadas de árboles seleccionados al azar en los bosques cercanos a Uruapan, Michoacán, se estimó la heredabilidad en sentido estricto y las correlaciones genéticas y fenotípica entre las características de las plántulas. El número y longitud de cotiledones, altura a los dos y seis meses y diámetro basal del tallo a los cinco meses, mostraron una elevada variación significativa entre familias ( $P \leq 0.0001$ ). Los caracteres que mostraron el control genético más elevado fueron el número de cotiledones ( $h^2_i = 0.89$ ;  $h^2_r = 0.90$ ) y la longitud del cotiledón más largo ( $h^2_i = 0.64$ ;  $h^2_r = 0.84$ ). Los caracteres que mostraron menor control genético fueron la altura de planta a la edad de dos meses ( $h^2_i = 0.39$ ;  $h^2_r = 0.76$ ) y seis meses ( $h^2_i = 0.38$ ;  $h^2_r = 0.74$ ) y el diámetro basal a la edad de cinco meses ( $h^2_i = 0.28$ ;  $h^2_r = 0.69$ ). Las correlaciones genéticas más elevadas fueron entre la longitud del cotiledón más largo y la altura de planta a los dos meses ( $r_g = 0.645$ ), y entre la altura de planta a los dos meses y altura de planta a los seis meses ( $r_g = 0.515$ ). En contraste, hubo correlaciones genéticas negativas del diámetro basal con el número de cotiledones (- 0.160) y con la altura a los seis meses (- 0.222). Si posteriormente se encontrara una correlación genética importante entre los caracteres evaluados y caracteres de valor económico expresados a una edad tardía, sería factible obtener ganancias genéticas mediante selección temprana de los mejores individuos o de las mejores familias y de los mejores individuos dentro de familias.

**Palabras claves:** *Pinus oocarpa* Schiede, ensayo de progenie, heredabilidad, correlación genética y fenotípica.

#### SUMMARY

A nursery test using half-sib progenies of *Pinus oocarpa* Schiede originated from trees randomly selected in natural stands near Uruapan, Michoacán, México, was evaluated to estimate narrow sense heritabilities and phenotypic and genetic correlations among seedling traits. Number of cotyledons, length of the longest cotyledon, seedling height at two and six months-of-age, and stem basal diameter at five months-of-age varied significantly among families ( $P \leq 0.0001$ ). Traits with the highest genetic control were number of cotyledons ( $h^2_i =$

0.89;  $h^2_r = 0.90$ ) and length of the longest cotyledon ( $h^2_i = 0.64$ ;  $h^2_r = 0.84$ ). Traits with lowest genetic control were seedling height at the age of two months ( $h^2_i = 0.39$ ;  $h^2_r = 0.76$ ) and six months ( $h^2_i = 0.38$ ;  $h^2_r = 0.74$ ) and stem basal diameter at five months-of-age ( $h^2_i = 0.28$ ;  $h^2_r = 0.69$ ). The highest genetic correlations were between length of the largest cotyledon and seedling height at two-months-age ( $r_g = 0.645$ ), and between two-months-age and six-months-age seedling height ( $r_g = 0.515$ ). In contrast, there were negative genetic correlations between stem basal diameter at five months-of-age and number of cotyledons (- 0.160) and six months-of-age seedling height (- 0.222). If there were relevant genetic correlations among the evaluated traits and economically important traits at later ages, it would be feasible to obtain genetic gains based on early selection for best individuals or best families and best individuals within families.

**Index words:** *Pinus oocarpa* Schiede, half-sib progeny test, heritability, genetic and phenotypic correlation.

#### INTRODUCCIÓN

*Pinus oocarpa* Schiede es de la especie de pino que crece a las menores altitudes respecto a otras especies de ese género en México (Perry, 1991). En el Estado de Michoacán, crece en una franja de vegetación a una altitud intermedia entre la selva baja caducifolia y los bosques de pino-encino, estos últimos dominados por otras especies de pino como *P. devoniana* Lindl. (ex - *P. michoacana* Martínez) y *P. pseudostrobus* Lindl (Madrigal-Sánchez y Guridi-Gómez, 2002). Por ejemplo, en la región de Uruapan, Michoacán se distribuye entre 1100 m y 1500 m (Sáenz-Romero y Tapia-Olivares, 2003). Si bien la madera de *P. oocarpa* tiene menor valor económico que otras especies del género *Pinus* de esa región, su relevancia económica radica en que es la especie más importante en la producción de resina (Zamora y Velasco, 1978; Zamora, 1981; COFOM, 2001). Además, *P. oocarpa* es de gran

importancia potencial para reforestaciones de restauración ecológica y para plantaciones comerciales en la zona de transición entre los bosques de coníferas y la selva baja caducifolia, ya que es de las pocas especies de pino adaptadas a las condiciones climáticas de esa zona de transición en la ladera sur del Eje Neovolcánico y en la Sierra Madre del Sur en Michoacán.

Se han establecido extensas plantaciones comerciales de *P. oocarpa* en zonas tropicales y subtropicales de Colombia, Brasil y en varios países de África, en donde la calidad de su madera en ocasiones supera a la de otras especies de pino de rápido crecimiento, como *P. patula* Schl. et Cham., *P. maximinoi* Moore, y *P. tecunumanii* Eguiluz et Perry (Greaves, 1982; Dvorak *et al.*, 2000). A pesar de la importancia de *P. oocarpa* en otros países, en México recibe una atención marginal, por lo que es necesario realizar estudios que permitan mejorar su uso en plantaciones comerciales, de restauración ecológica y en programas de conservación biológica.

El establecimiento de plantaciones comerciales de *P. oocarpa* en México requeriría de contar con fuentes confiables y accesibles de semilla, preferentemente con mejoramiento genético, tales como huertos semilleros. Los huertos semilleros sexuales pueden desarrollarse a partir de ensayos de progenie por polinización abierta (medios hermanos). El aclareo genético de los ensayos de progenie para convertirlos en huertos semilleros requiere de conocer el control genético (heredabilidad) de los caracteres de interés económico, a fin de estimar las ganancias genéticas esperadas a partir de una intensidad de selección determinada. El proceso de mejoramiento genético puede optimizarse y acelerarse si se hace selección temprana, que consiste en seleccionar a temprana edad un carácter de expresión temprana que esté fuertemente correlacionado con un carácter de interés económico de expresión tardía, para lo cual se necesita conocer la heredabilidad tanto de los caracteres de expresión temprana como los caracteres de expresión tardía, así como el grado de correlación entre los caracteres de expresión temprana y tardía (Lambeth *et al.*, 1983; Vargas-Hernández y Adams, 1992; Zobel y Talbert, 1992; Wu, 1998; Adams *et al.*, 2001).

El objetivo del presente estudio fue estimar en etapa de vivero el grado de control genético (heredabilidad en el sentido estricto) de caracteres de expresión temprana, tales como número y tamaño de cotiledones, diámetro y altura de planta, así como la correlación fenotípica y genética entre esos caracteres, en un ensayo de progenies de medios hermanos originadas de árboles sanos seleccionados al azar en rodales naturales de *Pinus oocarpa* Schiede en la región de Uruapan, Michoacán, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Establecimiento del ensayo

El estudio se llevó a cabo con plantas originadas de semilla por polinización abierta colectada de individuos de *P. oocarpa* en rodales naturales en la región de Uruapan, Michoacán. Con la intención de incluir la variabilidad genética posiblemente existente en el intervalo altitudinal de la distribución de *P. oocarpa* en esa región, la colecta de conos se hizo mediante un transecto altitudinal, con cinco sitios de muestreo, denominados indistintamente poblaciones o procedencias. Los sitios se ubicaron con una diferencia altitudinal de 100 m (1505 m, 1430 m, 1325 m, 1220 m y 1075 m de altitud), desde los bosques conlindantes con el sur de la ciudad de Uruapan (19°21'57" LN, 102°06'43" LW, 1505 m de altitud), hasta las poblaciones de *P. oocarpa* que se distribuyen en el extremo inferior de la distribución altitudinal de esta especie en la región, en las cercanías de Charapendo, Municipio de Gabriel Zamora, Michoacán (19°16'33" LN, 102°06'39" LW, 1075 m de altitud). La longitud total aproximada del transecto fue de 12.5 km. En cada sitio de muestreo se colectaron (de mayor a menor altitud): 9, 13, 10, 8 y 10 individuos, respectivamente, lo que hizo un total de 50 individuos, con selección al azar entre árboles sin daño aparente por plagas y enfermedades, y que tenían conos maduros al momento de la colecta (enero 2000).

En mayo del 2001 se estableció un ensayo de progenies en un vivero del Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (INIRENA-UMSNH) en Morelia, Michoacán, mediante envases *Cooper-block*® (230 cm<sup>3</sup>), con sustrato comercial *Creci-root*®. El ensayo tuvo un diseño experimental de bloques completos al azar, con 18 bloques, 50 familias de medios hermanos y tres individuos por parcela.

Se registró el número de cotiledones (un mes de edad), la longitud del cotiledón más largo (dos meses de edad), la altura total de planta (a los dos y seis meses de edad, en los meses de julio y noviembre del año 2000, respectivamente), y el diámetro basal del tallo (a los cinco meses de edad, en el mes de octubre del año 2000).

### Estimación de parámetros genéticos

Para efectos del análisis de este trabajo, se consideró a las 50 familias de medios hermanos como pertenecientes a una sola población base. Para determinar si había variación significativa entre familias, se hizo un análisis de varianza con procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 1988), dado que la mortalidad generó un desbalance

en el diseño experimental. Para estimar los componentes de varianza asociados a cada fuente de variación y su contribución a la varianza total, se utilizó el procedimiento VARCOMP, opción REML (SAS, 1988), con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + F_j + \beta_i \times F_j + E_{ijk} \quad (\text{Ec. 1})$$

donde:  $Y_{ijk}$  = observación,  $\mu$  = media general,  $\beta_i$  = efecto del bloque,  $F_j$  = efecto de la familia,  $\beta_i \times F_k$  = efecto de la interacción bloque x familia y  $E_{ijk}$  = error.

Se calculó la heredabilidad en sentido estricto a nivel de árboles individuales ( $h^2_i$ ), familiar ( $h^2_f$ ) y de individuos dentro de familia ( $h^2_{i(f)}$ ), con las siguientes fórmulas (Zobel y Talbert, 1992):

$$h^2_i = 4 \sigma^2_f / (\sigma^2_f + \sigma^2_{b \times f} + \sigma^2_e) \quad (\text{Ec. 2})$$

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

$$h^2_{i(f)} = 3 \sigma^2_f / (\sigma^2_e) \quad (\text{Ec. 4})$$

donde:  $\sigma^2_f$  = varianza entre familias,  $\sigma^2_{b \times f}$  = varianza de la interacción bloque x familia,  $\sigma^2_e$  = varianza del error, n = número de individuos por parcela y b = número de bloques. Se consideró que todos los individuos de una progenie efectivamente eran medios hermanos (coeficiente de 4 para estimar varianza aditiva).

Se estimaron correlaciones fenotípicas y genéticas entre las variables. Las correlaciones fenotípicas se estimaron con el coeficiente de correlación de Pearson. Para obtener las correlaciones genéticas ( $r_G$ ) se utilizó la fórmula:

$$r_G = \sigma_{fXY} / \sigma_{fx}\sigma_{fY} \quad (\text{Ec. 5})$$

en donde:  $\sigma_{fXY}$  es la covarianza de familias entre las variables X e Y,  $\sigma_{fx}$  y  $\sigma_{fY}$  son las desviaciones estándares de familias para las variables X e Y, respectivamente. La covarianza  $\sigma_{fXY}$  se estimó con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{fXY} = [\sigma^2_{f(X+Y)} - (\sigma^2_{fx} + \sigma^2_{fY})]/2 \quad (\text{Ec. 6})$$

donde:  $\sigma^2_{f(X+Y)}$  es la varianza de familias de la variable X + Y,  $\sigma^2_{fx}$  y  $\sigma^2_{fY}$  son la varianzas de familias de las variables X e Y individualmente (Sánchez *et al.*, 2003).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### ANOVA y componentes de la varianza

Todos los caracteres presentaron variación significativa entre las familias ( $P \leq 0.0001$ ). La varianza entre familias

tuvo una contribución entre 7 y 22 % de la varianza fenotípica total (Cuadro 1). Esto significa que existe un control genético significativo a nivel de familias para todos los caracteres estudiados, y por tanto sería factible realizar selección entre y dentro de familias y obtener ganancias genéticas.

Cuadro 1. Valores promedio y componentes de varianza de bloques ( $\sigma^2_b$ ), familias ( $\sigma^2_f$ ), interacción bloque x familias ( $\sigma^2_{b \times f}$ ), y error ( $\sigma^2_e$ ) para las características de cotiledones, altura y diámetro a diferentes edades en un ensayo de progenies de *Pinus oocarpa*.

Variable	Media	Componentes de la varianza (%)			
		$\sigma^2_b$	$\sigma^2_f$	$\sigma^2_{b \times f}$	$\sigma^2_e$
Número de cotiledones	5.95	0.0	22.3	3.3	74.4
Longitud del cotiledón (mm)	37.26	2.9	15.6	11.4	70.0
Altura (dos meses) (mm)	81.82	11.5	8.5	6.8	73.1
Altura (seis meses) (mm)	136.31	4.3	9.0	16.9	69.8
Diámetro (cinco meses) (0.1 mm)	50.69	1.6	7.0	12.0	79.4

La varianza debida a la interacción bloque x familia tuvo una contribución entre 3 y 17 % de la varianza total (Cuadro 1). La mayor variación se presentó dentro de parcelas ( $\sigma^2_e$ ) en todas las variables y para todas las edades, aportando entre 68 y 92 % de la variación total (Cuadro 1). Valores similares se han obtenido en otras especies forestales mexicanas (Valencia *et al.*, 1996; Farfán *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2003).

### Control genético

Los caracteres presentaron valores de heredabilidad individual ( $h^2_i$ ) que oscilaron entre 0.28 (diámetro a los cinco meses de edad) y 0.89 (número de cotiledones), con un promedio de 0.46 (Cuadro 2). La heredabilidad de las medias de familias ( $h^2_f$ ) tuvo valores mayores que la heredabilidad a nivel de individuos, entre 0.69 (diámetro a los cinco meses de edad) y 0.90 (número de cotiledones), con un promedio de 0.75. Sin embargo, los valores de heredabilidad a nivel de familias deben ser tomados con cautela, ya que el valor estimado depende parcialmente del número de bloques y del número de individuos por parcela empleados en el diseño experimental (Ec. 3). Los valores de heredabilidad a nivel de individuos dentro de familias ( $h^2_{i(f)}$ ) fueron muy similares a los valores de heredabilidad individual.

El número de cotiledones mostró los valores más altos de heredabilidad de todas las variables estudiadas (Cuadro 2). Los valores estimados contrastan, por ejemplo, con los de Barnes y Schweppenhauser (1978) quienes encontraron un valor de heredabilidad individual mucho más bajo ( $h^2_i = 0.24$ ) en plántulas de *Pinus patula*. Nuestros resultados indican que el número de cotiledones es una característica con alto control genético, probablemente por ser un

carácter preformado en el embrión y que por tanto no es afectado por el ambiente del ensayo.

Cuadro 2. Varianza entre familias ( $\sigma^2_f$ ), debida a la interacción bloque x familia ( $\sigma^2_{b \times f}$ ) y debida al error ( $\sigma^2_e$ ) y heredabilidades en el sentido estricto a nivel de individuos ( $h^2_i$ ), familias ( $h^2_f$ ) e individuos dentro de familias ( $h^2_{i(f)}$ ) para el número de cotiledones, longitud del cotiledón más largo, altura a los dos y seis meses de edad y diámetro de progenies de medios hermanos de *Pinus oocarpa*.

Variable	$\sigma^2_f$	$\sigma^2_{b \times f}$	$\sigma^2_e$	$h^2_i$	$h^2_f$	$h^2_{i(f)}$
Número de cotiledones	0.155	0.023	0.518	0.89	0.90	0.90
Longitud del cotiledón	5.8	4.3	26.1	0.64	0.84	0.67
Altura (2 meses)	36.1	28.9	309.3	0.39	0.76	0.35
Altura (6 meses)	45.0	84.5	349.6	0.38	0.74	0.39
Diámetro (5 meses)	8.9	15.4	101.3	0.28	0.69	0.26
Promedio	----	----	----	0.46	0.75	0.47

La heredabilidad estimada a nivel individual para la longitud del cotiledón más largo, fue de 0.64 (Cuadro 2). Esto indica también un fuerte control genético, aunque menor al del número de cotiledones. Barnes y Schweppenhauser (1978) en *Pinus patula* reportaron un valor mucho más bajo de heredabilidad individual (0.09) para la longitud del cotiledón.

El diámetro a la edad de cinco meses mostró una heredabilidad individual de 0.28 (Cuadro 2), lo cual indica un control genético más elevado en comparación a otros valores reportados, como por ejemplo el de 0.17 en plántulas de *Abies procera* de un año de edad (Doede y Adams, 1998).

En cuanto a la altura de planta a las edades de dos y seis meses, se encontraron valores de heredabilidad individual de 0.39 y 0.38, respectivamente (Cuadro 2). Esto indica que la altura es una característica con un importante control genético a nivel de familias a las edades estudiadas. Los valores encontrados de heredabilidad individual son cercanos a los reportados en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (0.46) a los nueve meses de edad (Antonio Plancarte, Comun. personal<sup>1</sup>). Según Balocchi *et al.* (1993), la heredabilidad de la altura de la planta en *Pinus taeda* se comporta de dos formas: a) se incrementa conforme aumenta la edad de la planta, y a partir de cierta edad se hace más o menos constante para posteriormente comenzar a disminuir; o bien b) los primeros años la heredabilidad va disminuyendo ligeramente, para después aumentar de manera repentina, hasta “estabilizarse” y por último disminuir. Nuestros datos indican un patrón de variación entre las dos edades evaluadas (dos y seis meses) que podría ubicarse en la etapa de valores “constantes” del tipo de

comportamiento (a) según Balocchi *et al.* (1993), ya que los valores de heredabilidad son prácticamente idénticos.

Al comparar la heredabilidad del número y tamaño de cotiledones con la heredabilidad de la altura y diámetro, es evidente que el segundo grupo de caracteres tiene una heredabilidad menor que el primer grupo (Cuadro 2). Esto es explicable porque el crecimiento en altura y diámetro es en gran medida dependiente de variables ambientales, y por tanto es de esperarse que sea menor la proporción de varianza aditiva respecto a la varianza fenotípica total.

### Correlaciones genéticas y fenotípicas

Las correlaciones genéticas estimadas fueron más elevadas que las respectivas correlaciones fenotípicas (Cuadro 3), lo cual es consistente con los resultados obtenidos en otras especies leñosas (Barnes y Schweppenhauser, 1978; Farfán *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2003).

El número de cotiledones mostró un valor positivo e intermedio de correlación genética con la longitud del cotiledón más largo ( $r_g = 0.440$ ) y con la altura a los dos meses ( $r_g = 0.392$ ). Esto indica que entre mayor sea el número de cotiledones de la plántula, los cotiledones serán más largos y la plántula tendrá más altura, al menos hasta los dos meses de edad. Sin embargo, la correlación genética entre el número de cotiledones y la altura a los seis meses disminuyó de manera importante ( $r_g = 0.071$ ) y se hizo incluso negativa con el diámetro de planta a los cinco meses ( $r_g = -0.160$ ) (Cuadro 3). Esto último es semejante a lo encontrado por Barnes y Schweppenhauser (1978) en *Pinus patula*, en donde se encontró una correlación negativa ( $r_g = -0.39$ ) entre el número de cotiledones y la altura de la plántula a los 12 meses de edad.

La longitud del cotiledón más largo presentó una correlación genética importante con la altura de la plántula a la edad de dos meses ( $r_g = 0.645$ ), e intermedia con la altura a los seis meses ( $r_g = 0.352$ ) y con el diámetro a la edad de cinco meses ( $r_g = 0.389$ ) (Cuadro 3). Esto sugiere una asociación entre la longitud de cotiledones y el desarrollo de las plántulas en sus primeras etapas, debido probablemente a que los cotiledones son una fuente de reservas. Sin embargo, esta asociación aparentemente disminuye conforme aumenta la edad, tal como lo indica la disminución del valor de la correlación con la altura entre los dos y los seis meses de edad.

La altura de la plántula a los dos meses de edad mostró una correlación genética importante con la altura de plántula a los seis meses de edad ( $r_g = 0.515$ ) (Cuadro 3). Esto indica que, por ejemplo, las familias de mayor tamaño a

<sup>1</sup>Plancarte B A, S Valencia M, C Santiago L, S Montes Q (1993) Estimación temprana de heredabilidad y ganancia genética en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en La Sabana, Oaxaca. In: I Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Agosto 1993. Saltillo, Coahuila. p. 79.

Cuadro 3. Correlaciones genéticas (a la izquierda de la diagonal) y fenotípicas (a la derecha de la diagonal) entre las características evaluadas en *Pinus oocarpa*.

Variable	Número de cotiledones	Longitud de cotiledón	Altura 2 meses	Altura 6 meses	Diámetro 5 meses
Número de cotiledones	----	0.036 ns	0.077 **	-0.019 ns	-0.005 ns
Longitud del cotiledón	0.440	----	0.351 **	0.045 ns	0.169 **
Altura (2 meses)	0.392	0.645	----	0.502 **	0.390 **
Altura (6 meses)	0.071	0.352	0.515	----	0.240 **
Diámetro (5 meses)	-0.160	0.389	0.264	-0.222	----

ns = no significativo, \*: significativo  $P \leq 0.05$ , \*\*: altamente significativo  $P \leq 0.01$ .

los dos meses de edad también son las familias de mayor tamaño a los seis meses de edad.

En cambio, la correlación genética entre la altura de planta a los dos meses y el diámetro a los cinco meses de edad es pobre ( $r_g = 0.264$ ) (Cuadro 3), e incluso se vuelve negativa entre la altura a los seis meses y el diámetro ( $r_g = -0.222$ ). La correlación genética negativa sugiere un patrón de crecimiento contrario a lo comúnmente reportado para especies de coníferas y latifoliadas, en las que normalmente existe una asociación positiva entre altura y diámetro (Doede y Adams, 1998; Farfán *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2003). Una posible explicación a los resultados encontrados es que algunas familias pueden tener estrategias de crecimiento diferentes en cuanto a "ritmos" temporales de crecimiento para altura y diámetro. Es decir, probablemente algunas familias temporalmente crecen (proporcionalmente) más en altura que en diámetro, y otras hacen lo contrario al crecer (proporcionalmente) más en diámetro que en altura, lo que explicaría la correlación genética negativa entre esos caracteres. Se ha encontrado que especies de pinos de regiones cálidas presentan patrones de crecimiento libre y altamente variables. Por ejemplo, *P. patula* puede crecer prácticamente todo el año (hasta 300 d al año) y tener hasta tres ciclos de crecimiento y elongación simultáneamente (Gómez-Cárdenas *et al.*, 1998). Si bien en *P. patula* puede haber una correlación positiva entre el número de ciclos de crecimiento y la altura total, en *P. tecunumanii* la correlación negativa entre las mismas variables, puede ser negativa, mientras que en *P. maximinoi* y *P. greggii* no hay correlación (Salazar *et al.*, 1999).

### CONCLUSIONES

Todos los caracteres estudiados (número y longitud de cotiledones, altura a los dos y seis meses y diámetro basal del tallo a los cinco meses) mostraron una variación significativa entre familias ( $P \leq 0.0001$ ).

Los caracteres que mostraron el control genético más elevado fueron el número de cotiledones ( $h^2_i = 0.89$ ;  $h^2_f = 0.90$ ) y la longitud del cotiledón más largo ( $h^2_i = 0.64$ ;  $h^2_f = 0.84$ ). Los caracteres que mostraron menor control ge-

nético fueron la altura de planta a la edad de dos meses ( $h^2_i = 0.39$ ;  $h^2_f = 0.76$ ) y seis meses ( $h^2_i = 0.38$ ;  $h^2_f = 0.74$ ) y el diámetro basal del tallo a la edad de cinco meses ( $h^2_i = 0.28$ ;  $h^2_f = 0.69$ ).

Las correlaciones genéticas más elevadas fueron entre la longitud del cotiledón más largo y la altura de planta a los dos meses ( $r_g = 0.645$ ), y entre la altura de planta a los dos meses y altura de planta a los seis meses ( $r_g = 0.515$ ). En contraste, se detectaron correlaciones genéticas negativas del diámetro basal con el número de cotiledones (-0.160) y con la altura a los seis meses (-0.222).

En caso de que posteriormente se encontrara una correlación genética importante entre los caracteres evaluados y caracteres de valor económico expresados a una edad tardía (que a su vez tuvieran una heredabilidad significativa), sería factible obtener ganancias genéticas si se realizara selección temprana de los mejores individuos o de las mejores familias y de los mejores individuos dentro de familias.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (proyecto CONACYT-SIMORELOS 2000-0306021), de la Comisión Nacional Forestal (proyecto CONACYT-CONAFOR 2002-C01-4655) y de la Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (proyecto 5.1) a CSR, así como la valiosa colaboración del personal de la Comisión Forestal de Michoacán (COFOM) y a Pedro Hernández Provenzal, Beever Plastics de México, Uruapan, Mich., por la donación de envases y sustrato. Se agradecen los comentarios de tres revisores anónimos, que permitieron mejorar significativamente el manuscrito.

### BIBLIOGRAFÍA

- Adams W T, S N Aitken, D G Joyce, G T Howe, J J Vargas H (2001) Evaluating efficacy of early testing for stem growth in coastal Douglas-fir. *Silvae Gen.* 50:167-175.
- Balocchi C E, F E Bridgwater, B J Zobel, S Jahromi (1993) Age trends in genetic parameters for tree height in a nonselected population of Loblolly Pine. *For. Sci.* 39(2):231-251.

- Barnes R D, M A Schweppenhauser (1978)** *Pinus patula* Schiede and Deppe progeny tests in Rhodesia genetic control of nursery traits. *Silvae Gen.* 27(5):200-204.
- Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM) (2001)** Atlas Forestal del Estado de Michoacán. COFOM, Morelia, Michoacán, México. 97 p.
- Doede D L, W T Adams (1998)** The genetic of stem volume, stem form, and branch characteristic in sapling Noble Fir. *Silvae Gen.* 47(4):177-183.
- Dvorak W S, E A Gutiérrez, L F Osorio, G R Hodge, J T Brawner (2000)** *Pinus oocarpa*. In: Conservation and Testing of tropical and Subtropical Forest. Tree species by the CAMCORE Cooperative, College of Natural Resources, NCSU. Raleigh, N. C., USA. pp:129-147.
- Farfán V E de 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(3):239-246.
- Gómez-Cárdenas M, J J Vargas H, J Jasso M, A Velásquez M, C Rodríguez F (1998)** Patrón de crecimiento anual del brote terminal en árboles jóvenes de *Pinus patula*. *Agrociencia* 32:357-364.
- Greaves A (1982)** *Pinus oocarpa*. *For. Abstr.* 43(9):503-532.
- Lambeth C C, J P Van Buijtenen, S D Duke, R B McCullough (1983)** Early selection is effective in 20-year-old genetic tests of loblolly pine. *Silvae Gen.* 32:210-215.
- Madrigal-Sánchez X, L Guridi-Gómez (2002)** Los árboles silvestres del Municipio de Morelia, Michoacán, México. *Ciencia Nicolaíta* 33:29-58.
- Perry J (1991)** The pines of México and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.
- Sáenz-Romero C, BL Tapia-Olivares (2003)** *Pinus oocarpa* isoenzymatic variation along an altitudinal gradient in Michoacán, México. *Silvae Gen.* 52:237-240.
- Salazar G J G, J J Vargas H, J Jasso M, J D Molina G, J Lopez 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.
- Sánchez M V, J G Salazar G, J J Vargas H, J López U, J Jasso M (2003)** Parámetros genéticos y respuesta a la selección en características del crecimiento de *Cedrela odorata* L. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(1):19-27.
- SAS Institute (1988)** SAS/STAT Users's Guide; release 6.03 Edition. SAS Institute, Cary, N. C. 1028 p.
- Valencia M S, J J Vargas H, J D Molina G, J Jasso M (1996)** Control genético de la velocidad de crecimiento y características de la madera en *Pinus patula*. *Agrociencia* 30(2):265-273.
- Vargas-Hernández J J, W T Adams (1992)** Age-Age correlations and early selection for wood density in young coastal Douglas-Fir. *For. Sci.* 38(2):446-447.
- Wu H X (1998)** Study of early selection in tree breeding. *Silvae Gen.* 47(2-3):146-155.
- Zamora S C (1981)** Algunos aspectos sobre *Pinus oocarpa* Schiede en el estado de Chiapas. *Ciencia For.* 6(32):3-5.
- Zamora S C, V Velasco F (1978)** Contribución al estudio ecológico de los pinos del estado de Chiapas. *Boletín Técnico* No. 56. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D. F. 32 p.
- Zobel B, J Talbert (1992)** Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. Limusa. México, D. F. 545 p.