

PARÁMETROS GENÉTICOS DEL CRECIMIENTO TEMPRANO DE FAMILIAS DE MEDIOS HERMANOS DE *PINUS PSEUDOSTROBUS* LINDL. EN MICHOACÁN, MÉXICO

Genetic parameters of Pinus pseudostrobus Lindl. half-sib families early growth in Michoacán, México

SÁNCHEZ VARGAS NAHUM M.¹, CAMBRÓN SANDOVAL VÍCTOR H.¹, SÁENZ ROMERO CUAUHTÉMOC¹ Y VARGAS HERNÁNDEZ J. JESÚS²

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (IIAF-UMSNH), Km 9,5 carr. Morelia-Zinapecuaro Tarímbaro Michoacán 58880, México. nsanchezv@yahoo.com. ²Forestal, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México, México.

Recibido mayo 2014. Aprobado noviembre 2014

Resumen

Pinus pseudostrobus es una de las principales especies forestales de México y particularmente de Michoacán. El tiempo es un factor importante en el mejoramiento genético, por lo que frecuentemente se hacen evaluaciones tempranas que permiten seleccionar las mejores familias que serán establecidas en campo. El objetivo de este trabajo fue evaluar los parámetros genéticos del crecimiento inicial de 15 familias de medios hermanos de *P. pseudostrobus* a través del tiempo. Se midió la altura y diámetro en un ensayo de progenies de medios hermanos, con un diseño de bloques completos al azar a los dos, cuatro y seis meses de edad y se relacionaron con el número de yemas aciculares, longitud de cotiledón (CL), largo, ancho y grueso de semilla. La heredabilidad individual para altura fue más elevada ($h^2_i \geq 0,70$) que para diámetro ($h^2_i \geq 0,26$), mientras que a nivel de medias de familia la heredabilidad fue similar para estas características ($h^2_f \geq 0,96$ y $h^2_f \geq 0,87$, respectivamente); LCN y altura mostraron la mayor correlación genética ($r_g \geq 0,59$); las correlaciones genéticas edad-edad se reducen más rápidamente al aumentar la diferencia de edades para altura que para diámetro de planta. Los resultados evidencian posibilidades de selección temprana con base en la altura y de selección a través del tiempo con base en el diámetro.

Palabras clave: heredabilidad, correlación genética, correlación edad-edad, selección temprana.

Abstract

Pinus pseudostrobus is an important Mexican forest species, particularly in the state of Michoacan. Time is an important factor in tree breeding programs, so early evaluations to select the best families to be established in the field are frequently made. The objective of this study was to evaluate the genetic parameters of early growth in fifteen half-sub families of *P. pseudostrobus* throughout time. Diameter and height were measured at two, four and six months

Sánchez V., Nahum et al.

of age in a progeny test under a random complete block design, and related to number of needle buds, cotyledon length (CL), and seed length, wide and thickness. Individual heritability for height was higher ($h^2_i \geq 0,70$) than for diameter ($h^2_i \geq 0,26$), whereas family mean heritability for these traits was similar ($h^2_f \geq 0,96$ and $h^2_f \geq 0,87$); CL and height showed the greatest genetic correlation ($r_g \geq 0,59$); age-age genetic correlations decreased more rapidly for height than for diameter with increasing age difference between measurements. Results show the possibility of early selection based on seedling height and selection through time based on stem diameter.

Key words: heritability, genetic correlation, age-age correlation, early selection.

1. Introducción

El mejoramiento genético en especies forestales es un proceso que requiere largos períodos de tiempo, cercanos a la mitad del turno de aprovechamiento por cada generación de selección, para hacer estimaciones precisas sobre los parámetros y las ganancias genéticas que se esperan obtener (Adams et al., 2001). Sin embargo, las metas finales del mejoramiento se pueden lograr mediante ensayos genéticos evaluados a menores edades (Talbert, 1979); es por ello que los programas de mejoramiento generalmente consideran ensayos genéticos en edades tempranas de desarrollo (Vargas et al., 2003) que permitan maximizar las ganancias genéticas por unidad de tiempo (Woods et al., 1995).

Las evaluaciones tempranas en los ensayos genéticos pueden hacerse en diferentes sentidos según el interés y las características del ensayo. Algunas de las investigaciones se han enfocado a la búsqueda de relaciones de caracteres similares entre edades tempranas y tardías del desarrollo con el objetivo de encontrar buenas correlaciones genéticas que permitan hacer una selección temprana para incrementar las ganancias genéticas en edades adultas (Woods et al., 1995; Wu et al., 1997; Wu, 1998; Wu et al., 2000; Adams et al., 2001; Vargas et al., 2003; Rweyongeza et al., 2005; Dean y Stonecypher, 2006; Pedersen et al., 2007).

En otros trabajos se han estimado los parámetros genéticos entre edades sucesivas del desarrollo de los árboles desde edades tempranas a adultas, buscando tendencias y proyecciones a través del tiempo que permitan seleccionar los genotipos desde edades muy tempranas que, se espera, tendrán los mejores desarrollos en edades adultas (Lambeth et al., 1983; Vargas y Adams, 1992; Pswarayi et al., 1996; Gwaze, et al., 1997; Pswarayi et al., 1997; Apiolaza et al., 2000; Gwaze et al., 2001; Osorio et al., 2001; Karlsson et al., 2001; Farfán et al., 2002; Matziris, 2005; Dean et al., 2006; Adams et al., 2007; Weng et al., 2007; Sánchez y Vargas, 2007).

Algunos trabajos realizados en ensayos de vivero, invernadero o jardín común, evaluados a edades tempranas, se enfocan a la búsqueda de información genética que

puede ser usada para aumentar la eficiencia de la selección en edades maduras (Wu, 1998). Por ejemplo, los estudios realizados en *Pinus oocarpa* (Sáenz et al., 2004; Viveros et al., 2005b), *Pinus pseudostrobus* (Viveros et al., 2005a; Viveros et al., 2006) y en algunas especies latifoliadas como *Sorbus aucuparia* y *Prunus padus* (Baliuckas et al., 2005), *Calyptophyllum spruceanum* (Weber y Sotelo, 2005), *Jatropha curcas* (Ginwal et al., 2005), *Dalbergia sissoo* (Devagiri et al., 2007) y *Gmelina arborea* (Kumar, 2007).

La mayoría de los trabajos en donde se hacen sólo evaluaciones a edades tempranas, se han hecho con objetivos principales diferentes a la búsqueda de elementos que permitan hacer una selección temprana, aunque algunos de ellos tocan de manera colateral el tema. Sólo en algunos de ellos se relacionan caracteres de semillas y plántulas con el crecimiento en altura y diámetro, aunque el objetivo no fue buscar caracteres que permitan hacer selección en etapas previas y posteriores a la germinación y desarrollo inicial de la planta (Barnes y Schweppenhauser, 1978; Sáenz et al., 2004; Viveros et al., 2005b).

P. pseudostrobus es una de las principales especies que se aprovechan en México. Su relativamente rápido crecimiento, rectitud del fuste y calidad de la madera la han convertido en una de las principales especies de interés para el establecimiento de plantaciones comerciales (Viveros et al., 2005a) particularmente para el estado de Michoacán, en donde es una de las especies prioritarias que se utilizan en los programas de plantaciones y en la producción de madera.

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la variación del crecimiento inicial de familias de medios hermanos *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la búsqueda de indicadores de selección temprana; estimar la heredabilidad en sentido estricto de caracteres cuantitativos del crecimiento a edades tempranas; determinar las correlaciones genéticas entre las variables evaluadas; y evaluar la tendencia de las correlaciones con fines de selección temprana.

2. Materiales y métodos

2.1 Establecimiento del ensayo y variables evaluadas

Las semillas utilizadas en este trabajo se recolectaron en localidades de la comunidad de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México; posteriormente se sometieron a un proceso de estratificación, en cajas de Petri con papel filtro húmedo por ocho días a una temperatura de 5,0 °C y luego se pusieron a germinar a temperatura ambiente en el laboratorio. Las plantas emergidas se colocaron en envases de plástico rígido de 350 cm³, llenos con un sustrato compuesto por peat moss® (50 %), Agrolita® (25 %) y Vermiculita® (25 %), además de osmocote® (108 g/60 litros de suelo) como fertilizante de liberación prolongada.

Se establecieron 15 familias de medios hermanos de *P. pseudostrabus* en un diseño en bloques completos al azar en el invernadero del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Morelia, Michoacán, México, y se evaluaron entre los dos y seis meses de edad. Antes de la germinación se midió el largo, ancho y grueso de cinco semillas tomadas al azar de cada caja de Petri conteniendo 100 semillas y de cada familia se pusieron a germinar al menos 400 semillas. A los tres meses de edad se contó el número de yemas aciculares y se midió la longitud de uno de los cotiledones. A los dos, cuatro y seis meses de edad se midió la altura total de la planta hasta la punta de la yema del tallo principal y el diámetro en la base del tallo, debajo de las hojas cotiledonares.

2.2 Estimación de parámetros genéticos

Para evaluar la variación en el crecimiento inicial de las familias, se hizo un análisis de la varianza utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (2006). Tomando en cuenta que las semillas fueron colectadas de árboles ubicados en sitios diferentes, el modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + F_j + BF_{ij} + E_{ijk}$$

en donde: Y_{ijk} es la i -ésima observación de la j -ésima familia en el k -ésimo bloque, μ es la media general de la población, B_i es el i -ésimo bloque, F_j es la j -ésima familia, BF_{ij} es la interacción entre el i -ésimo bloque y la j -ésima familia y E_{ijk} es el error experimental.

Para estimar la heredabilidad en sentido estricto a nivel de individuo (b^2_i) y de las medias de familia (b^2_f), se obtuvieron los componentes de la varianza para cada fuente de variación mediante el procedimiento VARCOMP con el método REML de SAS (2006) y se aplicaron las siguientes fórmulas (Zobel y Talbert, 1992):

$$b^2_i = 4 \sigma^2_f / (\sigma^2_f + \sigma^2 b_f + \sigma^2_e)$$

$$b^2_f = \sigma^2_f / (\sigma^2_f + \sigma^2 b_f / b + \sigma^2_e / nb)$$

en donde: $\sigma^2_{f(p)}$ es la varianza de familias, σ^2_e es la varianza del error, b es el número de bloques y n es la media armónica del número de individuos por familias dentro de cada bloque.

Se estimaron las correlaciones genéticas ($r_{G_{xy}}$) entre pares de caracteres (Falconer y Mackay, 2001) utilizando la siguiente ecuación (Sánchez et al., 2007):

$$r_{G_{xy}} = [(\sigma^2_{f(x+y)} - (\sigma^2_{fx} + \sigma^2_{fy})) / 2] / (\sigma^2_{fx} + \sigma^2_{fy}) 0,5$$

en donde: $r_{G_{xy}}$ es la correlación genética entre los caracteres x e y , $\sigma^2_{f(x+y)}$ es la varianza

de familias de la variable $x+y$, σ_{fx}^2 y σ_{fy}^2 son las varianzas de familias de las variables x e y , respectivamente. En las correlaciones edad-edad (Baker, 1984) x e y corresponden a la edad uno y dos en el análisis.

El análisis de correlaciones entre una misma característica en diferentes edades se realizó utilizando el método de Lambeth (1980):

$$r_{g(a1,a2)} = \beta_0 + \beta_1 \cdot LCE$$

donde $r_{g(a1,a2)}$ es la correlación genética de una característica en las edades uno y dos, β_0 y β_1 son los coeficientes de regresión y LCE es el logaritmo natural del cociente entre las dos edades (a_1/a_2) de medición.

3. Resultados y discusión

3.1 Variación del crecimiento inicial

Hubo diferencias altamente significativas entre familias ($P < 0,0001$) en todas las variables evaluadas (Cuadro 1), estos resultados coinciden con los obtenidos para *P. oocarpa* a los seis meses de edad en el número de cotiledones, diámetro y altura (Sáenz et al., 2004). Las variables relacionadas con el tamaño de la semilla presentaron los menores coeficientes de variación ($6,78 \leq CV \leq 7,84$). El carácter más variable fue el número de yemas aciculares ($CV = 62,0$), seguido por la altura a la edad de dos meses ($CV = 34,97$); el resto de las características mostraron una variación similar y relativamente alta ($20,11 \leq CV \leq 28,0$) (Cuadro 1). Los coeficientes de variación altos y relativamente altos pueden deberse a diferencias en el tiempo de germinación de las semillas que fue de alrededor de dos semanas entre la primera y la última semilla germinada.

3.2 Heredabilidad en sentido estricto

El tamaño de las semillas involucra varios elementos maternos, como el grado de madurez del árbol del cual provienen, disponibilidad y transporte de nutrimentos, tamaño del megagametofito, entre otros. Debido a este fuerte componente materno en la semilla, la heredabilidad de caracteres de las semillas no fue estimada, ya que resultaría en una sobreestimación del parámetro genético. Todas las variables evaluadas presentaron valores altos de heredabilidad de medias de familia ($0,87 \leq h^2_f \leq 0,98$) con un promedio de 0,94 (Cuadro 2). El alto control genético encontrado en el diámetro y la altura tendió a incrementarse con la edad, lo cual concuerda con la propuesta de Balocchi et al. (1993) sobre el incremento inicial de la heredabilidad al incrementarse la edad, una posterior estabilización y finalmente una disminución. También es similar a lo encontrado en *P. oocarpa* (Viveros et al., 2005b) y a partir de

los dos meses de edad en *P. patula* (Barnes y Schweppenhauser, 1978).

Cuadro 1. Resultados de los análisis de varianza de 15 familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* Lindl. durante seis meses de evaluación en Michoacán, México.

Variable	Símbolo	unidad	g.l	C.M.	\bar{x}	σ^2	σ	CV %
Largo de semilla	LS	mm	14	14,29**	4,92	0,12	0,34	7,04
Ancho de semilla	AS	mm	14	6,25**	3,33	0,07	0,26	7,84
Grueso de semilla	GS	mm	14	1,97**	2,08	0,02	0,14	6,78
Longitud de cotiledón	LCN	cm	14	2,03**	1,65	0,09	0,30	18,41
Número de yemas	NY	número	14	1369,17**	10,41	41,70	6,46	62,00
Altura (2 meses)	A2	cm	14	54,99**	4,53	2,51	1,59	34,97
Altura (4 meses)	A4	cm	14	154,17**	8,17	5,23	2,29	28,00
Altura (6 meses)	A6	cm	14	1054,59**	19,17	26,62	5,16	26,91
Diámetro (2 meses)	D2	mm	14	1,51**	1,60	0,10	0,32	20,11
Diámetro (4 meses)	D4	mm	14	3,49**	2,25	0,25	0,50	22,25
Diámetro (6 meses)	D6	mm	14	8,55**	3,50	0,51	0,71	20,38

** Diferencias significativas al nivel de 0,0001 de probabilidad.

Cuadro 2. Componentes de la varianza y heredabilidades en sentido estricto individual (h^2_i) y de media de familias ($h^2_f(p)$) de *Pinus pseudostrobus* Lindl. de Michoacán, México obtenidos entre los dos y seis meses de evaluación

Variable	$\sigma^2_{f(p)}$	σ^2_{fp}	σ^2_e	h^2_i	$h^2_{f(p)}$
A4	1,27	0,04	4,08	0,95	0,97
A6	8,20	0,01	20,08	--	0,98
D2	0,006	0,00	0,08	0,26	0,87
D4	0,01	0,01	0,21	0,32	0,88
D6	0,04	0,00	0,47	0,35	0,93
Promedio	-----	-----	-----	0,55	0,94

La heredabilidad individual de la altura a los seis meses de edad presentó un valor por arriba del valor teórico máximo de uno ($h^2_i = 1,14$), probablemente debido a un efecto materno dado por el tamaño del megagametofito y otros atributos de la madre asociados a la semilla. Además, la altura presentó la mayor diferenciación del crecimiento entre plantas evidenciada por el mayor valor de desviación típica de las variables evaluadas ($\sigma = 5,16$), después del número de yemas. El resto de las variables fluctuó entre 0,26 y 0,95 con un valor promedio de 0,55 (Cuadro 2), presentándose los menores valores en el diámetro ($0,26 \leq h^2_i \leq 0,35$). Los valores de heredabilidad obtenidos en este trabajo fueron similares a los obtenidos en *P. oocarpa* (Viveros et al., 2005b), aunque ligeramente más bajos ($0,28 \leq h^2_i \leq 0,64$ y $0,69 \leq h^2_f \leq 0,84$) que

los encontrados aquí para *P. pseudostrobus*; además, se mantuvo la correspondencia de valores más bajos para diámetro, que para altura de planta. Las heredabilidades individuales obtenidas en *Pinus contorta* spp. *latifolia* a los cuatro y seis meses de crecimiento en altura fueron ligeramente superior ($h^2_i = 0,97$) e inferior ($h^2_i = 0,75$), respectivamente (Wu et al., 2000) y los obtenidos en *P. patula* fueron francamente inferiores ($0,00 \leq h^2 \leq 0,25$) (Barnes y Schweppenhauser, 1978).

3.3 Correlaciones fenotípicas y genéticas entre caracteres

En general, las correlaciones fenotípicas fueron inferiores a las correlaciones genéticas, aunque no en todos los casos (Cuadro 3) lo que concuerda con lo encontrado en *P. oocarpa* (Viveros et al., 2005b) y *P. patula* (Barnes y Schweppenhauser, 1978). Las correlaciones fenotípicas más altas ($0,32 \leq r \leq 0,54$) se presentaron entre el número de yemas aciculares y los caracteres de crecimiento (Cuadro 3). Se observaron correlaciones relativamente bajas ($0,13 \leq r \leq 0,27$) entre la longitud de un cotiledón y los caracteres de crecimiento, situación que también fue observada en *P. oocarpa*, aunque con un valor de correlación ligeramente mayor para altura a los dos meses ($r = 0,35$) y a los seis meses ($r = 0,05$) (Viveros et al., 2005b); en *P. patula* este valor fue relativamente bajo a los 12 meses ($r = 0,35$) (Barnes y Schweppenhauser, 1978).

Cuadro 3. Correlaciones fenotípicas (arriba) y genéticas (abajo) entre características de las semillas y plantas con el crecimiento en diámetro y altura de *Pinus pseudostrobus* a dos, cuatro y seis meses de edad en un ensayo establecido en Michoacan, México

Variable	LS	AS	GS	LCN	NY
A2	0,08**	0,11**	0,06**	0,27**	0,54**
A4	0,08**	0,10**	0,03ns	0,24**	0,47**
A6	0,01ns	0,03ns	-0,09**	0,13**	-0,01ns
D2	0,07**	0,	0,01ns	0,25**	0,50**
D4	0,00ns	-0,01ns	-0,03ns	0,21**	0,45**
D6	-0,03ns	-0,07**	-0,11**	0,20**	0,32**
A2	0,40	0,40	0,31	0,64	0,45
A4	0,34	0,24	0,17	0,66	0,48
A6	0,02	-0,01	-0,15	0,59	0,06
D2	0,26	-0,10	-0,06	0,26	0,30
D4	0,05	-0,21	-0,22	0,14	0,60
D6	-0,30	-0,45	-0,61	0,14	-0,19

Los caracteres de las semillas presentaron correlaciones positivas con la altura a los dos y cuatro meses, excepto el grosor de semilla que no presentó una correlación significativa con la altura a los cuatro meses de edad (Cuadro 3). El grosor de la semilla sólo se correlacionó positivamente con el diámetro a los dos meses de edad. Los caracteres de la semilla presentaron correlaciones negativas con el diámetro y la

altura a los seis meses de edad, cuando fueron significativas (Cuadro 3).

Las correlaciones genéticas que presentaron los mayores valores fueron entre la longitud del cotiledón y la altura ($0,59 \leq r_g \leq 0,66$), y relativamente bajas con el diámetro ($0,14 \leq r_g \leq 0,26$), estos valores son más altos a los obtenidos en *P. oocarpa* (Viveros et al., 2005b) mientras que en *P. patula* la correlación con la altura a los doce meses fue negativa (Barnes y Schweppenhauser, 1978). El número de yemas presentó correlaciones genéticas relativamente altas ($0,30 \leq r_g \leq 0,60$) con la altura y diámetro a los dos y cuatro meses, mientras que con altura a los seis meses presentó una correlación débil ($r_g \geq 0,06$) y con el diámetro a los seis meses una correlación negativa relativamente baja ($r_g \geq -0,19$).

Las características de las semillas tuvieron correlaciones de bajas ($r_g \geq 0,02$) a relativamente altas ($r_g \geq 0,40$) con la altura en las diferentes edades, excepto el ancho y grueso de semilla con la altura a los seis meses, que presentaron una correlación baja y negativa ($r_g \geq -0,01$) y ($r_g \geq -0,15$), respectivamente; con el diámetro en las diferentes edades presentaron correlaciones negativas entre bajas y altas ($-0,01 \geq r_g \geq -0,61$), siendo las mayores con el diámetro a los seis meses de edad ($-0,30 \geq r_g \geq -0,61$). El largo de semilla con el diámetro a los dos y cuatro meses presentó correlaciones bajas y positivas ($r_g = 0,26$ y $r_g = 0,05$, respectivamente).

Aparentemente, los resultados obtenidos exponen la posibilidad de seleccionar a edades tempranas del desarrollo a partir de caracteres diferentes al crecimiento en diámetro y altura como la longitud del cotiledón e incluso a partir de caracteres de la semilla; sin embargo, estos resultados deben tomarse con cautela porque aún no se tiene evidencia de la relación que guardan estos caracteres con la producción de madera a la edad de la cosecha. Sin embargo, parece posible relacionar estos caracteres con el vigor de la planta en diferentes edades del vivero.

3.4 Tendencias de las correlaciones genéticas edad-edad

El comportamiento de las correlaciones genéticas edad-edad fue diferente para diámetro que para altura (Figuras 1 y 2). La línea de regresión obtenida en la estimación de la tendencia de las correlaciones entre pares de edades presentó una mayor pendiente para la altura ($\beta_1 = 0,960$) que para diámetro ($\beta_1 = 0,118$), lo que indica que en la altura las correlaciones edad-edad disminuyen más rápidamente conforme aumenta la diferencia en edades. Estos resultados deben tomarse con cautela porque el número de datos disponibles fue pequeño y el coeficiente de correlación es bajo para el diámetro ($r^2 = 0,176$). Sin embargo, los datos indican que es factible la aplicación de selecciones tempranas con base en el diámetro más que en la altura, lo cual podría significar una ganancia genética adicional en edades tardías del desarrollo (Wu et al., 2000). Sin embargo, sería recomendable realizar evaluaciones posteriores para determinar el grado de correlación en caracteres de crecimiento entre

edades más avanzadas y las edades tempranas presentadas aquí, para contar con evaluaciones a una edad en la que el posible efecto materno haya desaparecido por completo.

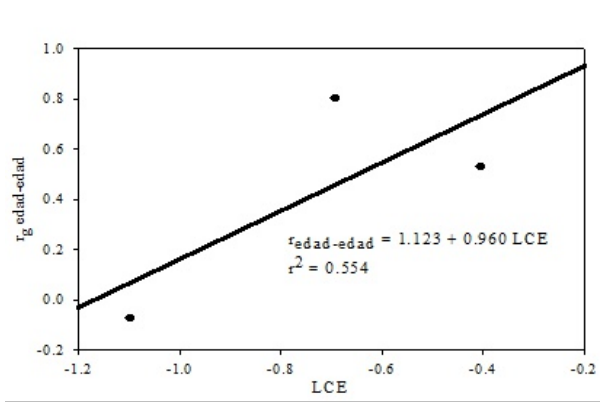


Figura 1. Relación entre las correlaciones edad ($r_{g(a1, a2)}$) y el algoritmo natural del cociente de las dos edades (LCE) para el crecimiento en altura de familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* durante seis meses de evaluación de un ensayo establecido en

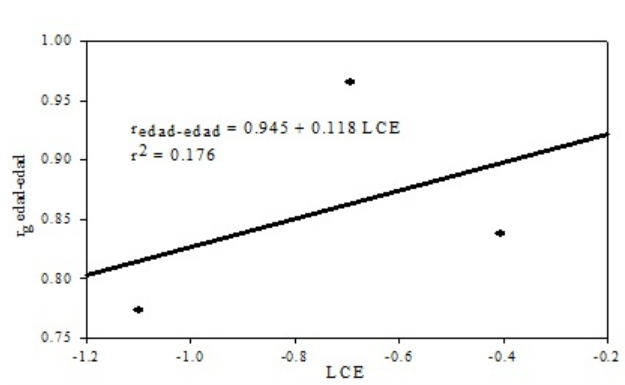


Figura 2. Relación entre las correlaciones edad - edad ($r_{g(a1, a2)}$) y el logaritmo natural del cociente de las dos edades (LCE) para el crecimiento en diámetro de familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* durante seis meses de evaluación de un ensayo establecido en Michoacán, México

4. Conclusiones y recomendaciones

El control genético de la altura fue mayor que el del diámetro. Las correlaciones genéticas altas encontradas entre las características de semillas y de plantas (longitud del cotiledón y número de yemas) muestran que es factible relacionar estos caracteres con el vigor de la planta en etapas tempranas de vivero, con base en características

diferentes al diámetro y altura. Sin embargo, no se tiene evidencia de su relación con la producción de madera en edades tardías del desarrollo, por lo que no es posible, por el momento, hacer inferencias de selección temprana con base en esas características; aunado a esto, en los períodos de desarrollo evaluados las correlaciones edad-edad decrecen rápidamente conforme aumenta la diferencia de edades, por lo que a partir de esta etapa no se puede inferir una buena relación con caracteres del crecimiento en edades tardías del desarrollo. A pesar de ello, el diámetro parece ser una característica que puede ser usada con fines de selección temprana, ya que sus correlaciones edad-edad se mantienen más elevadas.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a Fondos Mixtos CONACyT-Gobierno del Estado de Michoacán por el apoyo financiero para la realización de este estudio a través del Proyecto Clave 63532.

6. Referencias bibliográficas

- ADAMS, J. P., R. J. ROUSSEAU and J. C. ADAMS. 2007. Genetic performance and maximizing genetic gain through direct and indirect selection in cherrybark oak. *Silvae Genetica* 56(2): 80-87.
- ADAMS, W. T., S. N. AITKEN, D. G. JOYCE, G. T. HOWE, and J. VARGAS-HERNANDEZ. 2001. Evaluating efficacy of early testing for stem growth in coastal Douglas-fir. *Silvae Genetica* 50(3-4): 167-175.
- APIOLAZA, L. A., D. J. GARRICK and R. D. BURDON. 2000. Optimizing early selection using longitudinal data. *Silvae Genetica* 49(4-5):195-200.
- BACKER, W.A. 1984. *Manual of Quantitative Genetics*. 4th ed. Academic Enterprises, Pullman, WA.
- BALIUCKAS, V., T. LAGERSTRÖM, L. NORELL, and G. ERIKSSON. 2005. Genetic variation among and within populations in Swedish species of *Sorbus aucuparia* L. and *Prunus padus* L. assessed in a nursery trial. *Silvae Genetica* 54(1):1-8.
- BALOCCHI, C. E., F. E. BRIDGWATER, B. J. ZOBEL, and S. JAHROMI. 1993. Age trends in genetic parameters for height in a nonselected population of loblolly pine. *Forest Science* 39(2): 231-251.
- BARNES, R. D. and M. A. SCHWEPPEHAUSER. 1978. *Pinus patula* Schiede and Deppe progeny tests in Rhodesia genetic control of nursery traits. *Silvae Genetica* 27(5):200-204.
- DEAN, C. A. and R. W. SRONECYPHER. 2006. Early selection of Douglas-fir across South Central Coastal Orefon, USA. *Silvae Genetica* 55(3):135-141.
- DEAN, C. A., P. P. COTTERILL and R. D. BURDON. 2006. Early selection of radiata pine. I. Trends over time in additive and dominance genetic variances and covariances of growth traits. *Silvae Genetica* 55(4-5):182-191.
- DEVAGIRI, G. M., R. C. DHIMAN, P. NAVEEN-KUMAR and C. S. PATIL. 2007. Short note: Seed source variation in seedling and nodulation characters in *Dalbergia sissoo* Roxb. *Silvae Genetica* 56(2):88-91.
- FALCONER, D. S y T. F. C. MACKAY. 2001. *Introducción a la genética cuantitativa*. Acibia,

- S.A. Zaragoza, España. 469 p.
- FARFÁN-VÁZQUEZ, E. G., J. JASSO-MATA, J. LÓPEZ-UPTON, J. VARGAS-HERNÁNDEZ y C. RAMIREZ-HERRERA. 2002. Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* Ehren. var. ayacahuite. Revista Fitotecnia Mexicana 25(3):239-246.
- GINWAL, H. S., S. S. PHARTYAL, P. S. RAWAT, and R. L. SRIVASTAVA, 2005. Seed source variation in morphology, germination and seedling growth of *Jatropha curcas* Linn. in Central India. *Silvae Genetica* 54(2):76-80.
- GWAZE, D. P., J. A. WOOLLIAMS and P. J. KANOWSKI. 1997. Optimum selection age for height in *Pinus taeda* L. in Zimbabwe. *Silvae Genetica* 46(6):358-365.
- GWAZE, D. P., J. A. WOOLLIAMS, P. J. KANOWSKI and F. E. BRIDGWATER. 2001. Interactions of genotype with site for height and stem straightness in *Pinus taeda* in Zimbabwe. *Silvae Genetica* 50(3-4):135-140.
- KARLSSON, B., H. WELLENDORF, H. ROULUND and M. WERNER. 2001. Genotype x trial interaction and stability across sites in 11 combined provenance and clone experiments with *Picea abies* in Denmark and Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 31:1826-1836.
- KUMAR, A. 2007. Growth performance and variability in different clones of *Gmelina arborea* (Roxb.) *Silvae Genetica* 56(1): 32-36.
- LAMBETH, C. C. 1980. Juvenile-mature correlations in Pinaceae and implications for early selection. *Forest Science* 26(4):571-580.
- LAMBETH, C. C., J. P. van BUIJTENEN and S. D. DUKE. 1983. Early selection is effective in 20-year-old genetic tests of loblolly pine. *Silvae Genetica* 32(5-6):210-215.
- MATZIRIS, D. 2005. Genetic variation and realized genetic gain from black pine tree improvement. *Silvae Genetica* 54(3):96-104.
- OSORIO L. F., T. L. WHITE and D. A. HUBER. 2001. Age trends of heritabilities and genotype-by-environment interactions for growth traits and wood density from clonal trials of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *Silvae Genetica* 50(3-4):108-117.
- PEDERSEN, A. P., J. K. HANSEN, J. M. MTIKA and T. H. MSANGI. 2007. Growth, stem quality and age-age correlations in a teak provenance trial in Tanzania. *Silvae Genetica* 56(3-4):142-148.
- PSWARAYI, I. Z., R. D. BARNES, J. S. BIRKS and P. J. KANOWSKI. 1996. Genetic parameter estimates for production and quality traits of *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* in Zimbabwe. *Silvae Genetica* 45(4):216-222.
- PSWARAYI, I. Z., R. D. BARNES, J. S. BIRKS and P. J. KANOWSKI. 1997. Genotype-environment interaction in a population of *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*. *Silvae Genetica* 46(1):35-40.
- RWEYONGEZA, D. M., F. C. YEH and N. K. DHIR. 2005. Heritability and correlations for biomass production and allocation in whit spruce seedlings. *Silvae Genetica* 54(4-5):228-235.
- SÁENZ-ROMERO, C., H. VIVEROS-VIVEROS and R. R. GUZMÁN-REYNA. 2004. Altitudinal genetic variation among *P. ocarpa* populations on Michoacán, eastern México. Preliminary results from a nursery test. *Forest Genetics* 11(3-4):343-349.
- SÁNCHEZ-VARGAS, N. M. y J. J. VARGAS-HERNÁNDEZ. 2007. Competencia y su relación con los parámetros genéticos en clones de eucalipto. *Ciencia e Investigación Forestal* 13(2):361-369.
- SANCHEZ-VARGAS, N. M., L. SANCHEZ and Ph. ROZENBERG. 2007. Plastic and adaptive response to weather events: a pilot study in a maritime pine tree-ring. *Canadian*

- Journal of Forest Research 37(11):2090-2095.
- SAS Institute. 2006. SAS/STAT Guide for personal computers. Version 9.1. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, U.S.A. 1028 p.
- TALBERT, J. T. 1979. An advanced-generation breeding plan for the N.C. State University-industry pine tree improvement cooperative. *Silvae Genetica* 28(2-3):72-75.
- VARGAS-HERNÁNDEZ, J. and W. T. ADAMS. 1992. Age-age correlations and early selection for wood density in young coastal Douglas-fir. *Forest Science* 38(2):467-478.
- VARGAS-HERNÁNDEZ, J., W. T. ADAMS and D. G. JOYCE. 2003. Quantitative genetic structure of stem form and branching traits in Douglas-fir seedlings and implications for early selection. *Silvae Genetica* 52(1): 36-44.
- VIVEROS-VIVEROS H., C. SÁENZ-ROMERO, J. LÓPEZ-UPTON y J. J. VARGAS-HERNÁNDEZ. 2005a. Variación genética altitudinal en el crecimiento de plantas de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en campo. *Agrociencia*. 39:575-587.
- VIVEROS-VIVEROS, H, C. SÁENZ-ROMERO y R. R. GUZMÁN-REYNA, 2005b. Control genético de características de crecimiento en vivero de plántulas de *Pinus oocarpa*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(4):333-338.
- VIVEROS-VIVEROS, H., C. SÁENZ-ROMERO, J. J. VARGAS-HERNÁNDEZ y J. LÓPEZ-UPTON. 2006. Variación entre procedencias de *Pinus pseudostrabus* establecidas en dos sitios en Michoacán, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(2):121-126.
- WEBER, J. C. and C. SOTELO-MONTES. 2005. Variation and correlations among stem growth and wood traits of *Calycophyllum spruceanum* Benth. from the Peruvian Amazon. *Silvae Genetica* 54(1):31-41.
- WENG, Y. H., K. J. TOSH, Y. S. PARK and M. S. FULLARTON. 2007. Age-related trends in genetic parameters for Jack pine and their implications for early selection. *Silvae Genetica* 56(5):242-252.
- WOODS, J. H., D. KOLOTELO and D. YANCHUK. 1995. Early selection of coastal Douglas-fir in a farm-field test environment. *Silvae Genetica* 44(4):178-186.
- WU, H. X. 1998. Study of early selection in tree breeding. 1. Advantage of early selection through increase of selection intensity and reduction of field test size. *Silvae Genetica* 47(2-3):146-155.
- WU, H. X., F. C. YEH, N. K. DHIR, R. P. PHARIS and B. P. DANCİK. 1997. Genotype by environment interaction and genetic correlation of greenhouse and field performance in *Pinus contorta* ssp. *latifolia*. *Silvae Genetica* 46(2-3):170-175.
- WU, H. X., F. C. YEH, R. P. PHARIS, N. K. DHIR and B. P. DANCİK. 2000. Study of early selection in tree breeding. 3. A case study using early information to enhance selection efficiency in late trait in lodgepole pine (*Pinus contorta* spp. *latifolia*). *Silvae Genetica* 49(3):152-158.
- ZOBEL, B. y TALBERT, J. 1992. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa. México, D.F. 545 pp.