

EL MEJORAMIENTO GENETICO DE *Pinus cubensis*. I. ESTIMACIONES DE HEREDABILIDAD Y GANANCIA GENETICA PARA LA PRODUCCION DE MADERA

A. ALVAREZ Y J. M. MONTALVO¹

RESUMEN

Se evaluaron a los 10 años de plantadas, 26 familias con las cuales en 1977 se estableció una prueba de progenies de semifratrias según un diseño de bloques completos al azar con parcelas monodrbo en Pinares de Mayarí. Las estimaciones de heredabilidad en sentido amplio, estricto e individual fueron realizadas por dos métodos diferentes, cuyos resultados fueron finalmente promediados para realizar las estimaciones de ganancia genética nasal, familiar y combinada. Los caracteres diámetro a 1,30 m del suelo, altura total y volumen total con corteza presentan heredabilidades en sentido amplio que varían entre 0,842 y 0,964, mientras que para la heredabilidad en sentido estricto oscilan entre 0,551 y 0,857 y para la heredabilidad individual los límites fueron 0,238 y 0,673. A partir de estas estimaciones se obtuvo una ganancia genética masal de $0,0036 \text{ m}^3/\text{año}$ para el incremento medio anual de volumen total con corteza, equivalente a $43,2 \text{ m}^3/\text{ha}$ de superioridad al final del turno de rotación, que sólo fue ligeramente superada por la

ganancia combinada que alcanzó 44,4 m³/ha, en tanto que las ganancias familiares de fratrias y semi-fratrias fueron inferiores a estos valores, todo lo cual indica el éxito esperado del programa en desarrollo.

INTRODUCCION

El programa de mejoramiento genético para la producción de madera en *P. cubensis* Griseb comenzó a desarrollarse en las provincias de Santiago de Cuba, Holguín y Guantánamo a partir de 1970, año en que se efectuó la selección inicial de árboles plus y se empezaron las actividades para la creación de un banco clonal con vistas a la representación concentrada de Los mismos.

Según la estrategia de mejora seleccionada en el país para las coníferas, que ha sido tipificada por Wright (1964) como el método tipo VIII, a partir de 1977 comenzaron a establecerse un conjunto de pruebas de progenies con el fin de definir posteriormente cuáles eran los clones con la mejor aptitud general de combinación. Así, desde 1977 hasta 1981 se plantaron en forma sucesiva y a razón de una anual, un total de cinco pruebas de progenies, en cuyo conjunto fueron incluidos 43 de los genotipos existentes.

MATERIALES, Y METODOS

Las actividades para el establecimiento de la prueba de progenies se iniciaron el 10 de febrero de 1977. Las semillas obtenidas por la polinización no controlada de los árboles plus fueron cosechadas en 1976, y sometidas previo a su empleo a un tratamiento pregerminativo consistente en inmersión en agua durante 24 horas, con cambio del agua cada 12 horas; la siembra se realizó el 23 de febrero de 1977.

El sitio de la plantación, ubicado, aproximadamente, en las coordenadas 107 N y 108 W (mapa a escala 1: 50 000), a 660 msnm es característico del drea general de la meseta de Pinares de Mayarí. Su vegetación espontánea estaba integrada por *Pinus cubensis* Griseb (pino de Mayarí), *Cecropia peltata* (yagruma), *Nephrolepis biserrata* (helecho), *Clusia rosea* (cupey) y diversas gramíneas. De topografía llana, presenta un suelo sustentado por roca serpentínica (ultrabásica), es friable y tiene buen drenaje interno y superficial, estando genéticamente clasificado como Ferrítico Rojo Purpúreo (Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de Suelos, 1980).

Según las informaciones obtenidas en la Estación Meteorológica de Pinares de Mayarí; distante 7 km (aéreos) del área del experimento, las temperaturas y pluviosidades características de la zona son las presentadas en la Tabla 1.

TABLA 1. Temperaturas media, máxima y mínima promedios mensuales y anual de Pinares de Mayarí (datos de 11 años de observaciones, en °C) y precipitaciones promedios mensuales y acumulada anual (datos de 20 años de observaciones, en m).

Mes	Temperaturas			Precipitaciones
	Media	Máxima	Mínima	
Enero	19,8	23,6	14,0	51,8
Febrero	19,5	25,1	14,7	64,5
Marzo	20,5	26,2	15,1	67,0
Abril	21,3	26,5	16,1	112,8
Mayo	27,1	23,6	17,6	270,8
Junio	23,6	28,4	18,8	215,0
Julio	24,0	29,2	18,8	135,0
Agosto	23,7	29,2	18,8	165,2
Septiembre	23,2	28,5	18,8	210,8
Octubre	22,6	27,6	18,6	184,5
Noviembre	21,3	26,0	17,5	98,5
Diciembre	20,0	25,2	15,6	44,3
Promedios anuales	21,8	26,9	17,0	-
Acumulado anual	-	-	-	1 627,2

La preparación del sitio consistió en desbroce del área y hoyadura; la plantación se realizó entre el 13 y el 18 de octubre de 1977, para lo cual se empleó un diseño de bloques completos al azar con parcelas monoárbol integrado por 34 genotipos y dos testigos que se representaron en 60 bloques, con un espaciamiento de 3 m x 3 m rodeados por tres hileras de borde como faja protectora, que ocupó una superficie total de 2,5 ha, aproximadamente.

Dada la existencia de una cantidad excesiva de parcelas faltantes en la prueba de progenies debido al diseño empleado, luego de efectuar un conteo de supervivencia en febrero de 1987, se procedió a una selección de los genotipos y bloques que serían utilizados en las investigaciones.

En agosto de 1988 se analizaron las mediciones de diámetro del fuste a 1,30 m de altura sobre el suelo y de altura total, las cuales fueron procesadas según el método presentado por Orquín (1986) para calcular el volumen total con corteza. Los datos de estas tres características fueron sometidos a un análisis de varianza independiente para cada una, empleando el modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + a G_i + b B_j + \epsilon_{ijk} \quad (1)$$

donde:

- Y_{ijk} - k-ésimo valor de la característica medida en el i-ésimo genotipo del j-ésimo bloque.
- μ - media poblacional de la característica medida.
- G_i - efecto del i-ésimo genotipo.
- B_j - efecto del j-ésimo bloque.
- ϵ_{ijk} - efecto del error experimental:

Los datos faltantes se estimaron mediante el método propuesto por Yates (1970), siendo el cuadro general del análisis de varianza el mostrado en la Tabla 2.

TABLA 2. Cuadro general del análisis de varianza y de la estimación de los componentes de varianza.

Fuentes de varianza	Cuad. med. esp.	Comp. de varianza
Genotipos	$\sigma^2(E) + b \sigma^2(G)$	$\sigma^2(G) = [CM(G) - \sigma^2(E)]/b$
Bloques	$\sigma^2(E) + g \sigma^2(B)$	$\sigma^2(B) = [CM(B) - \sigma^2(E)]/g$
Error	$\sigma^2(E)$	$\sigma^2(E) = CM(E)$

donde:

- CM(G) = cuadrado medio de los genotipos.
- CM(B) = cuadrado medio de los bloques.
- CM(E) = cuadrado medio del error.
- $\sigma^2(G)$ = componente de varianza de los genotipos.
- $\sigma^2(B)$ = componente de varianza de los bloques.
- $\sigma^2(E)$ = componente de varianza del error.
- g/b = cantidad de genotipos (g) o de bloques (b).

Estos análisis de varianza fueron efectuados empleando los sistemas estadísticos SPSS y MICROSTAT, respectivamente, en una computadora personal Olivetti M-24.

A partir de los componentes de varianza obtenidos se calcularon las heredabilidades en sentido estricto (h^2), según las expresiones:

$$h^2 = 2\sigma_G^2 / (2\sigma_G^2 + \sigma_E^2/b) \quad (3)$$

$$h^2 = 4\sigma_G^2 / (4\sigma_G^2 + \sigma_E^2/b) \quad (4)$$

donde la fórmula (3) supone la existencia de iguales contribuciones de los progenitores masculino y femenino a la varianza genética aditiva estimada a partir de los genotipos incluidos en la prueba de progenies (Wright, 1964), en tanto que la expresión (4) presupone la no existencia de efectos de la varianza de dominancia sobre los genotipos empleados (Ditlevsen, 1980).

Partiendo de ambas estimaciones, se calcularon las heredabilidades en sentido amplio (h^2_A) e individual (h^2_x), empleando las relaciones (Wright, 1964):

$$h^2_A = [(n + 3) h^2] / [4 + (n - 1) h^2] \quad (5)$$

$$h^2 = [n r_G h^2_I + (1 - r_G) h^2_I] / [1 + (n - 1) r_G h^2_I] \quad (6)$$

donde

n = cantidad de individuos por genotipo.

r_G = correlación genotípica entre individuos.

▪ $r_G = 0,25$ en familias de semifratrias.

▪ $r_G = 0,50$ en familias de fratrias.

Con los promedios de estas heredabilidades se obtuvieron los valores de las ganancias genéticas masal (G), familiar (G_F) y combinada (G_C).

En el cálculo de la ganancia genética por selección familiar (G_F), se estimaron las ganancias correspondientes tanto a semifratrias (G_{hs}), como a fratrias (G_{fs}); en este último caso se presume que la heredabilidad en sentido estricto se mantenía constante.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las heredabilidades en sentido amplio (h^2_A), es-
(h^2) e individual (h^2_I) estimadas para los caractere: diámetro
del fuste a 1,30 m de altura sobre el suelo, altura total y
volumen con corteza, mediante las expresiones planteadas por
Wright (1964) y Ditlevsen (1980), así como sus valores prome-
dios, se presentan en la Tabla 3.

TABLA 3. Resultados de las estimaciones de heredabilidad.

Autor	Carácter	h^2_A	h^2	h^2_I
Wright	Diámetro (1,30 m)	0,929	0,744	0,392
	Altura total	0,797	0,466	0,162
	Volumen total c/c	0,952	0,815	0,594
Ditlevsen	Diámetro (1,30 m)	0,963	0,853	0,675
	Altura total	0,887	0,636	0,314
	Volumen total c/c	0,975	0,898	0,751
promedios	Diámetro (1,30 m)	0,946	0,799	0,534
	Altura total	0,842	0,551	0,238
	Volumen total c/c	0,964	0,857	0,673

c/c = con corteza

De los caracteres estudiados, la altura total fue siempre la que presenta un menor control genético, lo cual concuerda con la opinión expresada por algunos autores, en otras especies, acerca de la influencia que sobre ella ejercen los factores edáficos (Carron, 1968; Alder, 1980), en tanto que el volumen total con corteza fue el que expresa estar más controlado por el genotipo y, en particular, por los efectos de la varianza genética aditiva, lo que propicia considerablemente su mejoramiento genético en esta especie.

En comparación con los reportes de heredabilidad presentados en otras coníferas cubanas (Zayas y Burley, 1973; González y Pérez, 1980; Alvarez, 1984), *G. cubensis* alcanza valores mucho mayores para las tres características evaluadas, e incluso en relación con lo expuesto internacionalmente para diversos caracteres cuya heredabilidad ha sido estimada.

en otras especies (Mergen, 1953, 1955 Echols, 1955; Mergen et al., 1955; Jackson y Greene, 1957; Van Buijtenen et al., 1958; Bordeau y Schopmeyer, 1958; Toda, 1958; Toda et al., 1959; Squillace y Dorman, 1959; Bingham et al., 1960; Squillace y Bengstone, 1961; Squillace, 1962; Barret y Bengtson, 1964; Goddard y Peters, 1966; Steinhoff y Hoff, 1971; Hanover, 1972; Franklyn y Squillace, 1973; Baumanis, 1977), los evaluados en esta especie pueden considerarse bajo un control genético que oscila entre relativamente alto y muy alto bajo las condiciones ambientales existentes en el área de investigación, lo que favorece su mejoramiento genético.

Por último, no existen reportes anteriores sobre la heredabilidad de Qstas u otras características en *P. cubensis*. Sin embargo, González et al. (1983) informaron los resultados de la evaluación de esta misma prueba de progenies a los cinco años de edad y a partir de sus datos pudo estimarse la heredabilidad en sentido amplio para la altura total y el diámetro a 1,30 m del suelo, de acuerdo con el método planteado por García (1933). Según los datos de dichos autores, la altura presentó una heredabilidad de 0,780, en tanto que la del diámetro fue 0,798.

Al comparar estos resultados con los aquí obtenidos se nota que los ahora presentados alcanzan valores mayores, fundamentalmente, el diámetro, lo cual es atribuible a que González et al. (1983) evaluaron los datos de una forma diferente, pues en lugar de realizar la estimación de Valores faltantes, hicieron el análisis de Varianza con el modelo de un diseño totalmente aleatorio con cantidades de datos diferentes por familia, lo que provocó que todas las diferencias existentes entre bloques se añadieran al error experimental, con lo cual aumentó así la magnitud de su componente de varianza y, en consecuencia, la de la varianza fenotípica, lo que provocó la disminución del valor de la heredabilidad.

El incremento medio anual de la población seleccionada (árboles plus) fue de $0,021 \text{ m}^3/\text{año}$ (μ_1), en tanto que el de la población natural fue de $0,0168 \text{ m}^3/\text{año}$ (μ_0), los cuales suponiendo un turno de rotación de 30 años con una densidad de 400 árboles/ha para la tala final, representan $252,0$ y $201,6 \text{ m}^3/\text{ha}$, respectivamente, y equivale a una diferencia del $15,0 \%$ entre los rendimientos medios de ambas poblaciones.

En particular la población seleccionada presentó un valor mínimo de incremento medio anual de $0,010 \text{ m}^3/\text{año}$ y un máximo de $0,445 \text{ m}^3/\text{año}$, equivalentes a 120 y $534 \text{ m}^3/\text{ha}$ al final del turno de rotación, con un coeficiente de variación de $36,9 \%$.

El diferencial de selección (i) calculado fue de $0,0042 \text{ m}^3/\text{año}$, en tanto que las ganancias genéticas por selección masal (G), de familias de semifratrias (Ghs), de

familias de fratrias (G_{fs}) y combinada (G_c) alcanzaron los valores espresados en la Tabla 4.

TABLA 4. Resultados de la estimación de diferentes tipos de ganancia genética.

Tipo de ganancia	Ganancia en incremento medio anual ($m^3/año$)	Ganancia en rendimiento (m^3/ha)
G	0,003 6	43,2
G (hs)	0,002 1	25,2
G (fs)	0,002 8	33,6
G (c)	0,003 7	44,4

CONCLUSIONES

1. Los caracteres diámetro del fuste a 1,30 m sobre el suelo, altura total y volumen total con corteza presentan en Pinus cubensis Griseb un control genético que varía entre 0,551 y 0,857 (heredabilidad en sentido estricto) en las condiciones edafoclimáticas típicas del extremo Norte de la meseta de Pinares de Mayarí, en la provincia de Holguín, caracterizadas por un suelo Ferrítico Rojo Purpúreo, de topografía llana, con una temperatura media anual de 21,8°C, que oscila entre una mínima media anual de 17,0°C y una máxima media anual de 26,9°C, con una precipitación anual acumulada de 1 617,2 mm y una altitud de 660 msnm, lo cual permite desarrollar con éxito un programa destinado a su mejoramiento por vía genética.

2. El incremento medio anual (IMA) en volumen total con corteza en áreas naturales de esta especie es de 0,016. 8 $m^3/año$, en tanto que el correspondiente a la población seleccionada como base para el desarrollo del programa de mejoramiento es de 0,021 0 $m^3/año$, lo cual indica que el valor del diferencial de selección empleado fue, aproximadamente, de un 20 %.

3. Las ganancias genéticas esperadas del mejoramiento del IMA para el volumen total con corteza varían entre 0,002 1 (12,5 %) y 0,003 7 (22,0 %) $m^3/año$, correspondiendo el valor máximo a la ganancia genética por selección combinada.

4. Dentro del conjunto de análisis y evaluaciones realizados con el material experimental se destacaron tres posibles causas cuyos efectos pueden producir limitaciones o modificaciones en los resultados alcanzados: el método de determinación del IMA de los árboles plus en áreas naturales;

el empleo de sólo una prueba de progenies para la estimación de los parámetros genéticos, y la existencia de un 15 % de datos faltantes en la información de la prueba de progenies. La importancia real de estos factores deberá ser considerada en evaluaciones futuras del material experimental.

ABSTRACT

GENETIC IMPROVEMENT OF *Pinus cubensis*. I. HEREDITY AND GENETIC GAIN ESTIMATIONS FOR WOOD PRODUCTION

After 10 years from plantation time, 26 families from which in 1977 a progeny test with half-sibs was established under random complete blocks with one-tree plots in Pinares de Mayarí, were evaluated. Heredity estimations in broad, strict and individual sense were made by two different methods; the results were driven to means to make again, mass gain, family and combined estimations. The features such as diameter at 1,30 m from ground level, total height and total volume with bark have a broad heredity ranging from 0,842 to 0,964, as strict heredity ranges were from 0,551 to 0,857 and for individual heredity the limits were 0,238 and 0,673. From these estimates, mass genetic gain was

obtained with 0,003 6 m³/year for total mean annual increment with bark, equal to 43,2 m³/ha superior at the end of the felling rotation, which was only slightly overpassed by the combined gain with 44,4 m³/ha, but family gains of sibs and half-sibs were less than these values indicating the expectable success of the development program.

BIBLIOGRAFIA

- ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA. INSTITUTO DE SUELOS, Clasificación genética de los suelos de Cuba. (1979).-- La Habana: Ed. Academia, 1980.-- 28 p.
- ALDER, D. Predicción del rendimiento.-- En Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos.-- Roma: FAO, 1980.-- t. 2, 80 p.

- ALVAREZ, A. Investigaciones para el establecimiento de plantaciones resineras de alta productividad con P. ~~ribaea~~ var. caribaea Morelet.-- 1984.-- 148 p.
Tesis (Candidato a Doctor en Ciencias Forestales)
Univ. Tech. Dresde, 1984.
- BARRET, J. y G. BENGTON. Rendimiento de resina de 7 procedencias de Pino Slash. Forest Sci. 10 (2), 1964.
- BAUMANIS, J. Selección de Pinus sylvestris en la República de Latvia para el aumento de la velocidad de crecimiento y la producción de resina.-- (s.l.): Univ. de Latvia, 1977.
- BINGHAM, R., A. SQUILLACE y J. WRIGHT. El mejoramiento genético de la resistencia a la roya en el pino blanco del Oeste. Silvae Genetica (9) : 33-41, 1960.
- BORDEAU, P. y C. SHOPMEYER. La presión de exudación de resina: Su medición, heredabilidad y relación con el rendimiento de resina.-- En La Fisiología de los árboles forestales.-- New York: Ronald Press, 1958.-- 628 p.
- CARRON, L. Comentarios sobre la medicina forestal con especial referencia a Australia.-- Canberra: Australian National University, 1968.-- 224 p.
- DITLEVSEN, B. Genética cuantitativa: Principios generales y su aplicación práctica en la mejora de árboles forestales.-- 9 Mejora genética de árboles forestales.-- Roma: FAO-DANIDA, 1980. p. 177-188.
- ECHOLS, R. Relación lineal entre el ángulo fibrilar y la longitud de la traqueida y el control genético de la longitud de la traqueida en el Pino Slash. Trop. Woods (102) : 11-22, 1955.
- FRANKLYN, E. y A. SQUILLACE, Pruebas de progenies a corto plazo y el mejoramiento genético de la segunda generación en Pino Slash. Can. J. For. Res. (3) : 165-168, 1973.
- GARCIA, A. Centro de Investigación Forestal: Tratamiento y análisis de datos.-- Perú: FAO, 1983.-- 43 p.
- GODDARD, R. y N. PETERS. Progresos en la selección y el mejoramiento de árboles superiores para aumentar los rendimientos de resina.-- En Memorias de la Conferencia sobre Productos Navales.-- Washington: (s.n.) 1966.

- GONZALEZ, A. y M. PEREZ. Comportamiento de progenies de polinización libre y controlada de un huerto semillero de caribaea var. caribaea. Revista Forestal Baracoa 10 (1-2) : 7-29, 1980.
- GONZALEZ, A. et al. Estudio sobre progenies de Pinus cubensis Griseb en Pinares de Mayarí.-- En Memoria de la I Jornada Científica de la Est. Exp. Ftal. Guisa, Granma.-- (s.l.): (s.n.), 1983.
- HANOVER, J. La genética de los terpenos. II. Varianzas genéticas e interrelaciones de las concentraciones de monoterpenos en P. monticola. For. Abst. 33 (55281, 1972).
- JACKSON, L. y J. GREENE., Variaciones hereditarias en las traqueidas del Pino Slash.-- En Memorias de la Conferencia del Sur sobre Mejoramiento Genético Forestal.-- (s.l.): (s.n.), 1957.-- t. 4, p. 23-26.
- MERGEN, F. Los rendimientos de resina en el Pino Longlife son heredables.-- En Stheast For. Exp. Sta. Res. Note 29.-- (s.l.): US Forest. Serv., 1953.
- MERGEN, F. Herencia de las deformidades en Pino Slash. Sth. Lumberman 190(2370) : 30-32, 1955.
- MERGEN, F., P. HOEKSTRA y R. ECHOLS. El control genético de los rendimientos de resina y de su viscosidad en el Pino Slash. For. Sci. 1 : 10-30, 1955.
- ORQUIN, J. Algunas consideraciones sobre el crecimiento y manejo de plantaciones de P. caribaea en la zona de Tope de Collantes.-- La Habana: Instituto de Investigaciones Forestales, 1986.
- SQUILLACE, A. \Mejoramiento genético para altos rendimientos de resina. Naval St. Rev. 12, 1962.
- SQUILLACE, A. y K. DORMAN. Mejoramiento selectivo del Pino slash para altos rendimientos de resina y otros caracteres.-- En Memorias del Congreso Internacional de Botánica.-- (s.l.): (s.n.), 1959.-- v. 9, t. 2, 375 p.
- SQUILLACE, A. y G. BENGSTONE. Herencia de los rendimientos de resina y otras características del Pino Slash.-- En Memorias de la 6 Conferencia del Sur sobre Mejoramiento Genético Forestal.-- Florida: (s.n.), 1961.-- p. 85-96.

- STEINHOFF, R. y J. HOFF. Estimaciones de heredabilidad del crecimiento en altura en el Pino Blanco del Oeste basadas en las relaciones entre progenitores y progenies. Silvae Genetica (20) : 5-6, 1971.
- TODA, R. Variación y heredabilidad de algunos caracteres cuantitativos en Cryptomeria. Silvae Genetica (7) : 87-93, 1958.
- TODA, R., K. NAKAMURA y T. SATOO. La heredabilidad de la altura y la rectitud del fuste en Cryptomeria a través de la reproducción sexual., Silvae Genetica (8) : 43-48, 1959.
- VAN BUIJTENEN, J., P. JORANSON y D. EUSPAHR. Populus tremuloides triploide vs. diploide como fuentes de madera para pulpa, con referencia a sus diferencias de crecimiento, químicas, físicas y de pulpeo. TAPPI 41 (4) : 170-175, 1958.
- WRIGHT, J.W. Mejoramiento genético de los árboles forestales.-- Roma: FAO, 1964.-- 436 p.
- YATES, F. Diseño experimental: Tópicos selectos.-- Londres: Charles Griffin, 1970.-- 296 p.
- ZAYAS, A. y J. BURLEY. Prueba de progenies de Pinus caribaea var. caribaea en Cajalbana.-- En Memorias de la Reunión de IUFRO sobre Procedencias Tropicales e Investigaciones de Progenies.-- Oxford: (s.n.), 1973.-- p. 510-516.