

ESTIMACIÓN DE HEREDABILIDADES Y COEFICIENTES DE VARIACIÓN GENÉTICA ADITIVA Y FENOTÍPICA EN *PINUS CUBENSIS* GRISEB.

ESTIMATION OF HEREDABILITIES AND COEFFICIENTS OF ADDITIVE AND PHENOTYPIC GENETIC VARIANCE IN *PINUS CUBENSIS* GRISEB.

ING. WILDEN LAHERA-FERNÁNDEZ

Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Estación Experimental Agroforestal Guisa. Km 1,5, Carretera a Victorino, La Soledad, Guisa, Granma, Cuba, wlaheraf@fguisa.inaf.co.cu

RESUMEN

En el marco del programa de mejora genética de *Pinus cubensis* Griseb, iniciado en Santiago de Cuba, Holguín y Guantánamo a partir de 1970, una vez seleccionada la población de mejora se estableció el banco clonal, plantándose cinco pruebas de progenies de polinización abierta en años consecutivos desde 1977 hasta 1981, y la última en 1986; El objetivo de la investigación consistió en estimar en edades comprendidas entre 13 y 22 años las heredabilidades alcanzadas en sentido amplio, estricto e individual, así como los coeficientes de variación genética aditiva y de variación fenotípica en los seis ensayos de progenies. Los resultados mostraron un control genético relativamente fuerte para los caracteres de crecimiento evaluados (altura total, diámetro a 1,30 m y volumen total con corteza), existiendo además una marcada variabilidad en la población base, lo que manifiesta a esa edad y en las condiciones ambientales ensayadas la posibilidad de desarrollar mejora por selección.

Palabras claves: mejora genética, *Pinus cubensis*, variabilidad.

ABSTRACT

In the mark of the Program of Improvement Genetics of *Pinus cubensis* Griseb, begun in Santiago of Cuba, Holguín and Guantánamo starting from 1970, once selected the population of improvement, the settled down a bank clonal, five tests of pollination offspring opened up in serial years being planted, from 1977 until 1981, and the last one test in 1986; The objective of the investigation consisted on estimating in ages understood between the 13 and 22 years the heritability reached in wide, strict and individual sense, as well as the coefficients of variation genetic additive and of variation phenotypic in the six rehearsals of offspring. The results showed a relatively high genetic control for the evaluated characters of growth (total height, diameter to 1,30 m and total volume with bark), also existing a marked variability in the population bases, what would allow to this age to develop the improvement for selection.

Key words: improves genetics, *Pinus cubensis*, variability.

INTRODUCCIÓN

Entre las cuatro especies de pino que crecen en Cuba, *Pinus cubensis* Griseb. es una especie endémica, cuya distribución natural se extiende por las regiones Nipe-Sagua-Moa-Baracoa. En la meseta Pinares de Mayarí crece sobre suelo ferrítico rojo oscuro típico [Hernández *et al.*, 1999], y esta formación de Pinar desde el punto de vista económico-industrial es la más importante para la Empresa Agro-Forestal Mayarí.

Los trabajos para el mejoramiento genético de los rendimientos maderables con esta especie fueron iniciados en las provincias de Holguín y Guantánamo a principios de la década de 1970, llegándose a seleccionar para este fin 135 árboles plus en toda el área de distribución de la especie, se creó el banco de germoplasma para la producción de madera, dos pruebas de procedencias, seis pruebas de progenies

por polinización abierta y un huerto semillero clonal.

Actualmente en esta zona existe un volumen significativo de plantaciones de pino nativo (más de 1000 ha), desarrollándose con buen vigor en condiciones normales, según Expediente de Perfeccionamiento Empresarial (2014).

Álvarez *et al.* (1990) publicaron estimaciones de heredabilidades y ganancias genéticas alcanzadas en una prueba de progenies por polinización abierta de 26 familias con 10 años de edad. También Lahera *et al.* (2007) presentaron informaciones de heredabilidad sobre *P. cubensis* Griseb.

Dando continuidad a las investigaciones sobre mejora genética iniciada con la especie, el trabajo tuvo como objetivo estimar heredabilidades, coeficiente de variación genética aditiva y coeficiente de variación fenotípica en los ensayos de progenies de *Pinus cubensis* Griseb. en edades más avanzadas, entre los 13 y 22 años de edad, bajo las mismas condiciones ambientales, pero incluyendo seis estudios de progenies semifratrias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los seis ensayos de progenies se establecieron en zonas de topografía relativamente llana, a una altitud promedio de 660 msnm, sobre un suelo ferrítico rojo oscuro típico [Hernández *et al.*, 1999], sustentado por rocas de tipo serpentinita, friable con buen drenaje, característico de la meseta Pinares de Mayarí. Las variables climáticas con promedio histórico en los últimos 10 años mostraron el siguiente comportamiento: la temperatura media anual del aire osciló entre 24,0 y 26,0 °C, las precipitaciones anuales promedio acumuladas alcanzaron los 1671,6 mm y la humedad relativa entre el 77 y 87 %.

Las seis pruebas de progenies establecidas en 1977, 1978, 1979, 1980, 1981 y 1986 fueron de polinización libre, o sea, solo se conoce el origen materno de las descendencias.

La preparación del sitio para el montaje de los estudios de progenies ubicados en la localidad de referencia consistió en desbroce con chapeadora mecánica rotativa, subsolación a una profundidad de 50 cm, en surcos separados a una distancia de 3 m, luego trazado del diseño de bloques completos al azar con parcelas mo-

no-árbol para los cinco primeros experimentos y bloques completos al azar con parcelas multiárbol para el sexto ensayo.

El material genético con el que se trabajó, representado por las descendencias de los genotipos (árboles plus), incluidos en los ensayos por año, fueron:

- a) Prueba de progenies de 1977: 33 genotipos más un testigo de lote local comercial.
- b) Prueba de progenies de 1978: 14 genotipos más un testigo de lote local comercial.
- c) Prueba de progenies de 1979: 29 genotipos más un testigo de lote local comercial.
- d) Prueba de progenies de 1980: 16 genotipos más un testigo de lote local comercial.
- e) Prueba de progenies de 1981: 12 genotipos más un testigo de lote local comercial.
- f) Prueba de progenies de 1986: 24 genotipos más un testigo de lote local comercial.

Los cinco experimentos de progenies establecidos en campo identificados con las letras *a*, *b*, *c*, *d*, y *e* se diseñaron y plantaron con estructura de bloques completos al azar en parcelas mono-árbol, por lo que fue necesario agruparlos estadísticamente en bloques completos al azar, utilizando la opción de clasificación en *Conglomerados de K Medias* del paquete estadístico (SPSS V.11.5.1-2002), con la finalidad de llevar a una base común las operaciones y cálculos, con un error prefijado del 0,05 %.

Las variables evaluadas en las pruebas de progenies fueron altura total, medida con hipómetro Blume Leiss con error permisible de $\pm 0,5$ m, diámetro a 1,30 m sobre el nivel del suelo, medido con cinta diamétrica, con error permisible de $\pm 1,0$ cm, volumen total con corteza, estimado mediante la fórmula $V = G (h + 3) F$ [NR-595, 1982], utilizando un coeficiente mórfo de 0,36 ^(*) y el incremento medio anual del volumen, estimado como la razón entre el volumen total con corteza y el número de años (*n*), $IMAV = V_{tcc}/n$.

Los datos de las variables en las diferentes progenies (excluyendo los testigos en el cálculo genético) se procesaron mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + a G_i b B_j + \varepsilon_{ijk}$$

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 cuadrados medios esperados y los componentes de varianza se estimaron según Kung (1972) mediante las relaciones siguientes:

Fuentes de variación	Cuadrados medios esperados	Componentes de varianza
Genotipos	$\sigma_e^2 + b \sigma_g^2$	$\sigma^2_g = (CM_g - CM_e) / b$
Bloques	$\sigma_e^2 + g \sigma_b^2$	$\sigma^2_b = (CM_b - CM_e) / g$
Error	σ_e^2	$\sigma^2_e = CM_e$

Componente de varianza fenotípico:

$$\sigma_p^2 = \sigma_g^2 + \sigma_b^2 + \sigma_e^2$$

CM_g : Cuadrados medios de los genotipos

CM_b : Cuadrado medio de los bloques

CM_e : Cuadrado medio del error

σ_g^2 : Componente de varianza de los genotipos

σ_b^2 : Componente de varianza de los bloques

σ_e^2 : Componente de varianza del error (= CM_e)

b: Cantidad de bloques

g: Cantidad de genotipos

Heredabilidad en sentido amplio (h_a^2):

$$h_a^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + (\sigma_e^2 / b)}$$

Heredabilidad en sentido estricto (h_e^2):

$$h_e^2 = \frac{4h_a^2}{(N+3) - (N-1)h_a^2}$$

donde N es el número de individuos por genotipo.

La heredabilidad individual (h_i) se estimó, según Williams *et al.* (1994):

$$h_i^2 = \frac{\sigma_g^2 / r}{\sigma_p^2}$$

donde:

h_i^2 : Heredabilidad individual

σ_g^2 : Componente de varianza genotípico

σ_p^2 : Componente de varianza fenotípico

r: Coeficiente de parentesco (0.25 para medios hermanos)

A continuación, estimaciones del coeficiente de variación genética aditiva (CVGA) y coeficiente de variación fenotípica (CVP).

Se estimaron mediante las siguientes relaciones:

$$CVGA = \frac{\sqrt{4 \cdot \sigma_g^2}}{\bar{x}} \cdot 100$$

$$CVP = \frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{\bar{x}} \cdot 100$$

donde:

σ_g^2 : Componente de varianza familiar

σ_p^2 : Componente de varianza fenotípico

$\bar{x}$: Media general del experimento

La descomposición de la varianza total en sus componentes para cada experimento, ajustado a diseño de bloques completos al azar, permitió estimar los parámetros genéticos, heredabilidades en sentido amplio (h_a^2), estricto (h_e^2) e individual (h_i^2), así como los coeficientes de variación genética aditiva (CVGA) y coeficiente de variación fenotípica (CVP), los que se presentan tabulados y resumidos para cada variable dasométrica.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Los resultados del procesamiento estadístico-genético de los datos en las seis pruebas de progenies de *Pinus cubensis* Griseb, con edades comprendidas entre 13 y 22 años mostraron diferencias significativas entre familias (tratamientos) y los testigos para las variables diámetro 1,30 m, altura total, volumen total con corteza e incremento medio anual del volumen analizadas en los Anova ($p \leq 0,05$ %) para las condiciones ensayadas.

TABLA 1
Heredabilidades y coeficientes de variación para el diámetro a 1,30 m

Progenies de <i>P. cubensis</i> Griseb./Edad	Heredabilidades			Coeficiente de variación (%)	
	h^2_a	h^2_e	h^2_i	CVGA	CVF
Pba prog.1977/22 años	0,88	0,69	0,10	15,50	10,10
Pba prog.1978/21 años	0,66	0,39	0,14	13,90	12,30
Pba prog.1979/20 años	0,66	0,49	0,26	15,10	14,90
Pba prog.1980/19 años	0,60	0,50	0,38	16,40	14,70
Pba prog.1981/18 años	0,76	0,60	0,32	18,3	15,3
Pba prog.1986/13 años	0,49	0,35	0,32	20,1	25,0
Promedio	0,68	0,50	0,25	16,5	15,4

La heredabilidad en sentido amplio (h^2_a) promedio observada es de 0,68 para el diámetro a 1,30 m, según el criterio de Salaya *et al.* (2012), puede considerarse alta y es menor que el promedio 0,96 encontrado por Álvarez *et al.* (1990) para este parámetro en la especie en un ensayo de progenies de diez años. La heredabilidad media en sentido estricto (h^2_e) estimada fue de 0,5 y menor a la reportada por el mismo autor 0,79 en el citado ensayo. En trabajos de mejora genética con *Pinus occidentalis* Sw., Pérez *et al.* (2008) reportaron heredabilidades en sentido estricto para diámetro entre 0,37 y 0,86, rango en que pudiera enmarcarse el valor aquí estimado (0,50); también González y Pérez (1983), en trabajos de mejora con *Pinus caribaea* var. *caribaea*, reportaron heredabilidades en sentido estricto para diámetro en un rango de 0,27 a 0,59, intervalo donde también puede ubicarse el valor estimado, lo que indica que este valor se enmarca dentro de los límites para el diámetro, tomando en cuenta las dos especies de pino referidas.

Lahera *et al.* (2007), al hacer referencia al programa de mejora genética para los rendimientos de madera de *P. cubensis* Griseb., citan que fueron seleccionados 202 árboles plus con un 20 % de superioridad en volumen, estableciéndose un banco de clones con 102 fenotipos y se plantaron seis pruebas de progenies, estableciéndose en este marco un huerto semillero de 32 ha. Evaluaciones tempranas a los diez años permitieron conocer que el control genético para las variables de crecimiento, diámetro 1,30 m,

altura total y volumen total con corteza se mantuvo entre el 9,2 y 16 %, el control aditivo entre el 2,4 y 11,3 % y el control genético individual; sin embargo, fue relativamente alto entre el 20,9 y 93,8 % [Álvarez *et al.*, 1990].

En este contexto el coeficiente de variación genética aditiva (CVGA) es un indicador del grado de variabilidad genética. Este parámetro resulta de gran utilidad en un programa de selección recurrente, ya que proporciona información sobre la cantidad de variación con que cuenta el fitomejorador, así como monitorear la disminución de la varianza genética a través de los ciclos de selección, observando porcentajes para las características evaluadas que presente el germoplasma básico.

Los porcentajes del CVGA y CVF observados en la *Tabla 1* indican la existencia de variación en el material básico seleccionado, evidenciado además por la existencia de diferencias significativas entre las familias y los testigos en las seis pruebas de progenies semifratrias evaluadas, lo que justificarían la ejecución de un programa de mejora por selección.

La *Tabla 2* para la altura total muestra valores promedios de (h^2_a) de 0,62, inferior a 0,84 estimado por Álvarez *et al.* (1990) en ensayo de progenies de la especie a los 10 años; sin embargo, Pérez *et al.* (2008), para la (h^2_e) de la altura en *P. occidentalis* Sw., reportaron valores comprendidos entre 0,40 y 0,67, intervalo que está en correspondencia con los resultados presentados.

TABLA 2**Heredabilidades y coeficientes de variación para la altura total en m**

Progenies de <i>P. cubensis</i> Griseb/Edad	Heredabilidades			Coeficiente de variación (%)	
	h^2_a	h^2_e	h^2_i	CVGA	CVF
Pba. prog. 1977/22 años	0,50	0,25	0,41	9,45	11,6
Pba. prog. 1978/21 años	0,58	0,32	0,17	10,25	10,09
Pba. prog. 1979/20 años	0,59	0,42	0,32	12,81	13,62
Pba. prog. 1980/19 años	0,75	0,58	0,31	22,21	18,01
Pba. prog. 1981/18 años	0,65	0,49	0,44	15,71	15,21
Pba. prog. 1986/13 años	0,62	0,48	0,16	19,11	19,17
Promedio	0,62	0,42	0,30	16,02	14,62

TABLA 3**Heredabilidades y coeficientes de variación para el volumen total con corteza en m³**

Progenies de <i>P. cubensis</i> Griseb/Edad	Heredabilidades			Coeficiente de variación (%)	
	h^2_a	h^2_e	h^2_i	CVGA	CVF
Pba. prog. 1977/22 años	0,57	0,29	0,11	30,11	33,67
Pba. prog. 1978/21 años	0,64	0,37	0,16	32,64	28,26
Pba. prog. 1979/20 años	0,66	0,46	0,3	34,92	36,33
Pba. prog. 1980/19 años	0,60	0,40	0,23	4,19	7,32
Pba. prog. 1981/18 años	0,56	0,39	0,24	26,96	30,14
Pba. prog. 1986/13 años	0,72	0,59	0,27	7,51	6,87
Promedio	0,63	0,42	0,22	22,72	23,77

La Tabla 3 muestra el volumen total con corteza, que por ser una variable dependiente del diámetro a 1,30 m, de la altura total y del coeficiente mórfo empleado, en términos de mejora debe manejarse con precaución, aunque tiene un peso considerable desde el punto de vista del carácter a mejorar. El control genético

total (h^2_a) para el volumen total con corteza es de 0,63, inferior al 0,96 estimado por Álvarez *et al.* (1990). La herencia aditiva, así como la individual, son intermedias, observándose además alta variabilidad en la población de mejora, aspecto que potencia su uso en un programa de mejora genética por selección para madera.

TABLA 4**Heredabilidades y coeficientes de variación para el Incremento medio anual del volumen total con corteza (IMAV) en m³/año**

Progenies de <i>P. cubensis</i> Griseb./Edad	Heredabilidades			Coeficiente de variación (%)	
	h^2_a	h^2_e	h^2_i	CVGA	CVF
Pba. prog. 1977/22 años	0,66	0,37	0,16	40,81	38,18
Pba. prog. 1978/21 años	0,59	0,33	0,15	28,36	26,64
Pba. prog. 1979/20 años	0,68	0,52	0,35	37,39	34,19
Pba. prog. 1980/19 años	0,84	0,70	0,21	8,03	5,61
Pba. prog. 1981/18 años	0,62	0,45	0,29	3,30	3,32
Pba. prog. 1986/13 años	0,66	0,53	0,36	4,49	4,28
Promedio	0,67	0,48	0,25	20,39	18,70

El incremento medio anual del volumen total con corteza en m³/año (Tabla 4) contiene valores altos para todas las heredabilidades y valores bajos solo para los coeficientes de variación genética aditiva y fenotípica en las pruebas de

progenies de *P. cubensis* Griseb. de 1980, 1981 y 1986, comportamiento que posiblemente deba su explicación al menor número de repeticiones en los experimentos de campo, lo que introduce un sesgo [Ordano, 2011].

TABLA 5

Promedio general de heredabilidades y coeficientes de variación por variables

Progenies de <i>Pinus cubensis</i> Griseb. Variables	Heredabilidades			Coeficiente de variación (%)	
	h^2_a	h^2_e	h^2_i	CVGA	CVF
Diámetro 1,30 (cm)	0,68	0,50	0,25	16,58	15,43
Altura total (m)	0,62	0,42	0,30	16,02	14,62
Vol. tcc (m ³)	0,63	0,42	0,22	22,72	23,77
IMAV (m ³ /año)	0,68	0,49	0,25	20,40	18,70

La Tabla 5 muestra el control genético total de las variables en estudio dentro de la población de mejora del *P. cubensis* Griseb., valores considerados como elevados, con límites que van desde el 62 hasta 68 %. La herencia aditiva favorable de ser manipulada mantiene límites entre el 42 y 50 %, y la heredabilidad individual, aunque se enmarca dentro del rango de las especies forestales (10 al 33 %), puede considerarse un tanto alta, con valores entre el 22 y 25 %.

El coeficiente de variación genética aditiva presenta valores relativamente altos, los que pudieran estar influidos, según Carballoso *et al.* (2011), por evaluaciones realizadas a ensayos de diferentes localidades.

Finalmente, Álvarez (2015) señala que actualmente dentro del contexto de mejora genética de los pinos orientales cubanos (*P. maestrensis* y *P. cubensis*) es preciso reiniciar los programas de mejora por la pérdida de casi todas sus áreas experimentales.

CONCLUSIONES

- El control genético promedio, estimado sobre las variables de crecimiento altura total, diámetro a 1,30 m, volumen total con corteza e incremento medio anual del volumen en seis pruebas de progenies semifratrias de *Pinus cubensis* Griseb. para las condiciones ensayadas, es relativamente alto (65 %). La heredabilidad en sentido estricto y la individual también presentaron valores elevados,

aunque se mantienen dentro del rango propio de las especies forestales, observándose además una alta variabilidad genética en la población de mejora.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, A. 2015. Genética Forestal. Versión para el Postgrado en genética forestal. (2ª edición). Ministerio de la Agricultura. La Habana. INAF. p. 131-137.
- Álvarez, A., Montalvo, J.M. 1990. El mejoramiento genético de *Pinus cubensis* Griseb. I. Estimaciones de heredabilidad y ganancia genética para la producción de madera. Revista Forestal Baracoa (CU) 20(2): 31- 42.
- Carballoso, V., Hector, G. Hector J., Norge B. 2011. Influencia del ambiente en la floración de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) En la región central de Cuba
- Expediente de perfeccionamiento Empresarial. EFI Mayarí. MINAG. 2014
- González, A., Pérez, M. 1983. Comportamiento de progenies de polinización libre y controlada de un huerto semillero de *Pinus caribaea*. Var. *Caribaea*. Revista Forestal Baracoa (CU) 13(1): 7-28.
- Hernández, A., *et al.* 1999. Nueva Versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Instituto de Suelos. Ciudad de La Habana. AGRINFOR. 64 p.
- Kung, F. 1972. Experimental Design and Analysis for Half Sibs Progeny Test. IUFRO. Georgia. USA.
- Lahera W., *et al.* 2007. Mejora genética de especies forestales en Granma. IV Congreso Forestal. Memorias. IIF. Ciudad de La Habana. Cuba.
- Norma Ramal 595. 1982. Silvicultura. Tratamientos silviculturales. Ministerio de la Agricultura. 25 p.
- Ordano, M. 2011. Genética cuantitativa y estimación de heredabilidad. Curso: Método en Ecología Evolutiva. Universidad Nacional de Córdoba. Fundación Miguel Lillo & CONICET.

Pérez, M.H, Torres, H., Jiménez, A. 2008. Avances y perspectivas en el mejoramiento genético de *Pinus occidentalis* Swartz. (Pino criollo). Plan Sierra. R. Dominicana. p 25-34.

SPSS 11.5.1. Copyright © 2002. Paquete estadístico. Software by SPSS Inc.

Salaya-Domínguez, J.M., López-Upton, J., Vargas-Hernández, J.J. 2012. Variación genética y ambiental en dos ensayos de progenies de *Pinus pátula*. Agrociencia (MX) 46: 519-534.

Williams, E.R., Matheson, A.C. 1994. Experimental Design and Analysis for Use in Tree Improvement. CSIRO-ACIAR, Melbourne. 195 p.

RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Wilden Lahera Fernández

Ingeniero Forestal, investigador agregado del Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, graduado en la especialidad de Posgrado en Silvicultura. Ha desarrollado investigaciones relacionadas con la conservación y el mejoramiento genético de especies forestales en el país. Es autor y coautor de varias publicaciones. Ha obtenido resultados científico-técnicos relacionados con el mejoramiento genético forestal y la silvicultura.