

COMPORTAMIENTO DE PROGENIES DE POLINIZACION LIBRE Y CONTROLADA DE UN HUERTO SEMILLERO DE *Pinus caribaea* VAR. *caribaea*

A. GONZALEZ ROQUE Y M. PEREZ SANTANA

RESUMEN

Se compara en el presente trabajo el comportamiento de numerosas familias de progenies obtenidas por polinización libre y controlada en un huerto semillero de *Pinus caribaea* var. *caribaea*. El material experimental se prueba en dos ensayos de campo ubicados en dos localidades de la provincia de Pinar del Río: 20 de Mayo, en Guane y Cajálbana, en Bahía Honda.

Este trabajo informa sobre la capacidad general de combinación de las familias representadas, en parámetros de interés económico como son la altura, diámetro, rectitud del fuste y características de la ramificación. Conocer el comportamiento de dichos caracteres es básico para ejecutar el aclareo o reordenamiento de los huertos semilleros y el programa de cruzamiento, dirigidos con vista a un segundo ciclo de mejora.

Partiendo de este material experimental se hacen estimaciones sobre la heredabilidad para la altura y el

diámetro en ambos ensayos. Los valores encontrados (altura 0,79 y 0,66 y diámetro **0,27** y 0,57) indican que la selección entre familias conduce a ganancias sustanciales en una generación de mejora. La inclusión de testigos en estas pruebas hizo posible calcular tales ganancias genéticas, así como la ganancia obtenible, si se utiliza solamente el mejor 20 % de los tratamientos representados. En este caso los porcentajes de ganancia promedio de los dos ensayos son de 20,5 % en altura, **15,6** % en diámetro, 25,8 % para rectitud del fuste y 39,9 % en características de la ramificación.

INTRODUCCION

El Pinus caribaea Morelet constituye una conífera tropical de gran interés forestal en numerosas regiones del mundo, debido a su rapidez de crecimiento, aceptable conformación fenotípica y buena calidad de la madera. La especie consta de tres variedades: Pinus caribaea var. caribaea, P. caribaea var. bahamensis y P. caribaea var. hondurensis, según Barret y Golfari.

En la literatura internacional aparecen abundantes referencias sobre el comportamiento de las tres variedades. Lamb (1973), en una monografía sobre la especie, informa los trabajos realizados o en desarrollo, en más de 30 países donde la misma ha sido introducida. Según dicho autor, el P. caribaea var. hondurensis alcanza un ritmo de crecimiento superior a las otras dos variedades, pero se caracteriza por desarrollar una mala forma y presentar un alto porcentaje de "rabos de zorra". Por el contrario, el P. caribaea var. caribaea se presenta alcanzando valores de crecimiento inferiores a las otras dos variedades, pero muestra una excelente forma del fuste y buenas características de ramificación. Sin embargo, a medida que aumenta la edad de los brinzales se observa una tendencia importante en el crecimiento. El autor citado señala que en Queensland el P. caribaea var. caribaea y el P. caribaea var. bahamensis de Isla Andros, a la edad de 10 años estaban alcanzando en crecimiento al P. caribaea var. bahamensis (procedencia de Gran Bahama), que se ha mostrado superior al P. caribaea var. hondurensis. Bangoura y Haba (1979) encontraron que a la edad de 11 años, en Topes de Collantes, Cuba, el P. caribaea var. caribaea había sobrepasado en altura a la procedencia de Isla Andros del

P. caribaea var. bahamensis, mientras que el crecimiento en diámetro era ligeramente inferior.

En Cuba el P. caribaea var. caribaea es la principal especie empleada en la reforestación. Se comporta muy bien en numerosas regiones, con altitudes que oscilan entre los 100 y los **800** msnm, por lo que el mejoramiento genético de los caracteres de interés económico reviste gran significación. Para estos propósitos, la especie muestra una variabilidad fenotípica marcada. Lamb (1968), apuntó que se notaban variaciones en las características de la ramificación entre rodales, e indicó además, que un trabajo minucioso de selección de genitores podía conducir a grandes adelantos en una generación de mejora. Para algunos autores, no obstante, el énfasis fundamental de la mejora debe dedicarse a la forma del fuste y a las características de la ramificación, pues según esas fuentes, el rendimiento se justifica por el crecimiento rápido de las especies en el trópico. Esta forma de pensar parece no tomar en consideración los efectos negativos de la selección disgenética sobre el patrimonio de la especie y la necesidad de incrementar la producción en zonas de moderada fertilidad. En nuestro programa, el vigor es un parámetro de interés primordial y por ello le prestamos gran atención.

El mejoramiento genético se inició en esta especie en 1967. Desde esa fecha se han seleccionado 270 árboles plus en rodales naturales y artificiales; se han establecido 30 ha de ensayos de progenie y 200 ha de huerto semillero que iniciarán la producción en 1981. Los estudios de progenie se han establecido en tres sitios diferentes, con el propósito de conocer la interacción genotipo-ambiente y poder optimizar el uso de los huertos semilleros.

Este informe analiza los efectos positivos de la selección fenotípica tomando como base dos ensayos de progenie plantados en 1973 y 1974. Los parámetros evaluados son: altura, diámetro, rectitud del fuste, ramificación y ahorquillamiento.

MATERIALES Y METODOS

Se analiza en este trabajo el comportamiento de numerosas progenies producidas por medio de dos sistemas de apareamiento diferentes. Uno de ellos consiste en un policruzamiento obtenido a través de polinización controlada, mientras que el otro está

conformado con semillas de polinización libre, cosechadas en un huerto semillero y en las condiciones del bosque natural.

Con el material obtenido se plantaron dos ensayos de campo en Pinar del Río, extremo occidental del país. Uno de los ensayos se encuentra en la localidad de 20 de Mayo, municipio de Guane, mientras que el otro está ubicado en la zona de Cajalbana, municipio de Bahía Honda, a una distancia de 160 km del anterior. Ambos sitios representan extremos del área natural de la especie en lo que se refiere a suelos y productividad. En 1979, a la edad de 7 y 6 años, respectivamente, se evaluaron en los mismos cinco características de interés económico que se mencionaron anteriormente.

Se dan a continuación las particularidades fundamentales de cada experimento y de los sitios de ensayos.

20 de Mayo

Las progenies de polinización controlada fueron plantadas en esta localidad en 1973. Los cruzamientos se realizaron en el primer huerto semillero creado en esta especie. Como progenitor masculino se usó una mezcla de polen, a partes iguales, de tres clones del mismo huerto, identificados con los números 35, 53 y 54. Aunque el huerto consta de 36 clones, solamente se obtuvieron cantidades aceptables de semillas en 15 cruzamientos.

En la etapa de vivero se empleó un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones. Se utilizaron bolsas de tipo "café" cuyas dimensiones son 20 cm de altura por 30 cm de ancho (vacías). Durante esta fase se hizo una aplicación de superfosfato triple a razón de 2 g por bolsas, disuelto en agua.

La plantación se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar con 7 réplicas, 17 tratamientos y 14 plantas por parcela. El espaciamiento fue de 4 m x 3 m. Como las cantidades de posturas por tratamiento eran variables, se estableció un bloque con 17 tratamientos, 3 bloques con 12 tratamientos y 3 bloques con 6 tratamientos. En este trabajo se omiten los tres últimos bloques. Dentro de los tratamientos se incluyen dos lotes testigos que representan lotes comerciales de la masa semillera de Cajalbana.

Los suelos de esta región se clasifican morfológicamente como miembros de la familia Guane; genéticamente podrían ubicarse dentro del tipo Ferralítico Cuarcítico, Rojo Amarillento, derivados de materiales geológicos pertenecientes a la formación San Cayetano como el esquistos cuarcítico y arenisca cuarcítica metamorfoseada.

Este suelo presenta un buen drenaje interno y externo, de textura loam o loam arenosa en los horizontes superficiales y loam arcillosa a arcillosa en profundidad, con profundidades variables de acuerdo con la intensidad de erosión que han sufrido. Desde el punto de vista químico son muy pobres en materia orgánica, nitrógeno asimilable, fósforo y potasio, así como en los nutrientes cambiables; el pH es ácido debido, fundamentalmente, al intenso proceso de lavado que han sufrido. La altitud del lugar es de 150 msnm.

La temperatura media anual es de 25,5 °C, mientras que la precipitación promedio asciende a 1 300 - 1 500 mm anuales.

El área del ensayo fue subsolada a 50 - 60 cm de profundidad.

Cajalbana

Con las semillas de polinización libre se plantó en esta localidad otro experimento en 1974. El conjunto de tratamientos representados consta de 31 familias, obtenidas de la polinización libre en el huerto mencionado, nueve familias logradas de árboles plus en las condiciones del bosque natural y dos testigos comerciales idénticos a los empleados en el otro ensayo.

El material se produjo en vivero en bolsas del tipo estándar cuyas dimensiones son 18 cm de altura por 12 cm de ancho (vacías). La plantación se realizó siguiendo un diseño de bloques al azar con parcelas monoárbol. En total se plantaron 42 bloques a un espaciamiento entre plantas de 4 m x 4 m. El área fue previamente subsolada a una profundidad de 50 - 60 cm.

El ataque de la bibijagua (*Atta insularis*) causó gran cantidad de fallas a pesar de la lucha establecida desde la plantación. Este insecto constituye una infestación seria en esta localidad y manifiesta una gran predilección por las acículas y brotes tiernos de las plántulas de esta especie.

El suelo donde se asienta el ensayo pertenece morfológicamente a la serie Nipe, y genéticamente se clasifica como del tipo Ferrítico típico derivado de serpentina profundo o muy profundo (promedio mayor de 60 cm), de coloración rojiza por todo el perfil, de textura loam en los primeros horizontes y loam-arcillosa en profundidad, con ligero contenido de concreciones ferruginosas; el drenaje, tanto interno como externo, resulta bueno. Químicamente hablando, este tipo de suelo es muy pobre producto del intenso lavado que ha sufrido, resultado del cual el pH es ácido; su contenido de nutrientes esenciales como **P** y **K**, materia orgánica

(3,5 %), así como en contenido catiónico, es muy deficiente, excepto en Mg, debido al material de origen serpentínico.

Este suelo resulta ser el mejor para el desarrollo de la especie dentro de su área natural. La altitud del lugar es de 80 msnm.

La temperatura media anual es de 24,7 °C, mientras que la precipitación alcanza los 1 750 mm anuales.

Mediciones y evaluaciones efectuadas

La altura total se determinó utilizando una vara formada con secciones superponibles de tubos de aluminio. La aproximación de la medición osciló en el decímetro. El diámetro se determinó empleando cinta diamétrica.

Los parámetros rectitud del fuste y características de las ramas fueron evaluados subjetivamente empleando una escala con intervalo 1 - 5. Este método evaluativo propuesto por Eldridge (1973) en reunión de IUFRO en Kenya, define las categorías de la forma siguiente:

Rectitud del fuste

1. Muy encorvado, torcedura grande, bolo en espiral, inclinaciones severas, abultamientos grandes en los verticilos.
2. Intermedia, por debajo del promedio.
3. Promedio.
4. Intermedia, por encima del promedio.
5. Pequeña o ninguna desviación de rectitud y verticalidad.

Ramificación

1. Ramas muy largas, gruesas y agudas, espaciadas irregularmente; presencia de ramicornios.
2. Intermedia, por debajo del promedio.
3. Promedio.
4. Intermedia, por encima del promedio.
5. Poco o ningún defecto evidente. Ramificación reluciente, extendida y multinodal en una copa estrecha y densa.

Ahorquillamiento

Las horquillas o doble líder constituyen una malformación importante que disminuye grandemente el valor del árbol. Este carácter puede evaluarse fácil y rápidamente en rodales donde la altura predominante esté sobre los **12 m**, señalando para cada árbol la presencia o ausencia de horquillas por debajo de esa altura.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el ensayo por polinización controlada de 20 de Mayo se efectuó el análisis de varianza para el primer bloque con **17** tratamientos bajo un modelo completamente al azar y también se hizo el análisis para **12** tratamientos con cuatro réplicas. En el primer caso se obtuvieron diferencias altamente significativas para altura y diámetro, mientras que en el segundo análisis las diferencias fueron significativas para el diámetro y altamente significativas para la altura (Tablas 1 y 2).

Análisis de varianza

TABLA 1. Prueba de progenies de P. caribaea (polinización controlada) "20 de Mayo".

Parámetros	Altura y diámetro				
Tratamientos	17				
Espaciamiento	4 m x 3 m				
Tipo de análisis	Completamente al azar				

Carácter: Altura						
Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Componentes de varianza	
Familias	16	77,549 8	4,846 8	5,70"	29,95	
Error	170	144,444 8	0,849 6		70,04	
Total	186	221,994 6			100,00	

Carácter: Diámetro						
Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Componentes de varianza	
Familias	16	96,897 7	6,181 1	2, 16"	9, 56	
Error	170	485,818 9	2,857 7		90,44	
Total	186	584,716 6			100,00	

Análisis de varianza

TABLA 2. Prueba de progenies de P. caribaea (polinización controlada) "20 de Mayo".

Parámetros	Altura y diámetro											
Bloques	4											
Tratamientos	12											
Espaciamiento	4 m x 3 m											
Tipo de análisis	Bloques al azar											
Carácter: Altura												
Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Componentes de varianza							
Bloques	3	7,060 8	2,353 6	12,32"	31,65							
Familias	11	10,811 6	0,982 8	5,14"	34,78							
Error	33	6,309 4	0,191 1		33,57							
Total	47	24,181 8			100,00							
Prueba de rangos múltiples												
Familias	T2	T1	69	36	35	62	51	67	55	66	18	48
Promedio	5,75	6,05	6,42	6,62	6,68	6,71	6,76	6,82	6,87	7,04	7,18	7,63

TABLA 2. (Continuación).

Carácter: Diámetro

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Componentes de varianza							
Bloques	3	16,212 0	5,404 0	7,77"	30,16							
Familias	11	17,013 0	1,546 6	2,22"	16,35							
Error	33	22,960 5	0,695 7		53,49							
Total	47	56,185 5			100,00							
Prueba de rangos múltiples												
Familias	T2	T1	69	62	51	36	66	35	55	67	18	48
Promedio	8,73	9,47	9,91	10,24	10,27	10,30	10,41	10,49	10,60	10,64	10,64	11,08

En este ensayo, los testigos (T-1 y T-2), que representan la masa semillera de Cajálbana, poseen valores inferiores a los otros tratamientos representados en todos los parámetros evaluados (Tabla 3). Este comportamiento resulta muy alentador, pues muestra un efecto altamente efectivo de la selección en todos los parámetros objeto de mejora.

TABLA 3. Promedios por familia para la altura, diámetro, rectitud del fuste, ramificación y ahorquillamiento. Prueba de progenies de "20 de Mayo".

Bloques	4				
Espaciamiento	4 m x 3 m				
Plantas parc.	14				
Edad	7 años				
Familias	Altura (m)	Diámetro (cm)	Rectitud (Esc. 1-5)	Ramific. (Esc. 1-5)	Ahorquill.
48	7,63	11,06	4,03	3,65	1
18	7,18	10,70	4,35	3,58	1
66	7,04	10,41	4,51	3,65	0
53	7,03	10,27	4,05	3,43	0
55	6,88	10,60	4,45	3,20	4
67	6,82	10,64	4,43	3,34	1
51	6,76	10,27	4,38	3,38	3
62	6,71	10,25	4,39	3,59	2
35	6,68	10,50	4,31	3,23	2
36	6,63	10,31	4,24	3,43	0
69	6,43	9,91	4,10	3,54	1
32	6,21	9,18	4,64	4,01	0
52	6,20	8,82	3,58	3,18	5
68	6,18	10,18	4,29	3,48	1
T-1	6,05	9,48	3,14	2,73	3
4	5,92	8,91	4,46	3,63	1
T-2	5,73	8,73	3,66	2,55	4
Media	6,59	10,01	4,18	3,39	1,71

Los parámetros evaluados subjetivamente (rectitud del fuste y características de la ramificación) no fueron analizados estadísticamente. Los promedios por familias para estas características aparecen también en la Tabla 3

En el ensayo establecido en Cajalbana con semillas de huerto semillero y de árboles plus se efectuó el análisis de varianza bajo un modelo completamente al azar, debido a la gran cantidad de parcelas perdidas el primer año de plantación. El análisis mostró diferencias altamente significativas para la altura y el diámetro (Tabla 4).

Análisis de varianza

TABLA 4. Prueba de progenies de *P. caribaea* (semillas de polinización libre huerto semillero de Artemisa).

Parámetros	Altura y diámetro				
Tratamientos	42				
Espaciamiento	4 m x 4 m				
Tipo de análisis	Completamente al azar				
Carácter: Altura					
Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Componentes de varianza
Familias	41	167,320 4	4,080 9	2,96"	
Error	1 095	1 507,800 3	1,376 9		
Total	1 136	1 675,120 7			
Carácter: Diámetro					
F entes de variac ibn	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Componentes de varianza
Familias	41	405,623 2	9,893 2	2.37"	
Error	1 095	4 564,580 4	4, 163 5		
Total	1 136	4 970,207 6			

TABLA 4. (Continuación).

P. de Duncan	Altura			P. de Duncan	Diámetro		
	$\bar{x}$	Proge- nie	No. arb.		$\bar{x}$	Proge- nie	No. arb.
	6,00	66	29		10,33	64	27
	5,76	58	27		9,69	70	26
	5,70	32	32		9,61	53	28
	5,68	18	27		9,55	66	29
	5,68	70	26		9,54	62	28
	5,60	48	30		9,50	50	30
	5,59	53	28		9,47	32	32
	5,57	62	28		9,41	58	27
	5,56	71	28		9,38	60	29
	5,55	64	27		9,32	55	28
	5,48	49	26		9,21	71	28
	5,48	60	29		9,21	51	28
	5,47	35	26		9,18	27	28
	5,47	54	27		9,18	18	27
	5,40	50	30		9,15	54	27
	5,39	51	28		9,14	65	29
	5,38	55	28		9,10	48	30
	5,37	9	24		9,04	35	26
	5,36	27	28		9,04	6	27
	5,35	15	27		8,96	15	27
	5,33	29	28		8,92	25	25
	5,28	68	24		8,91	33	32
	5,25	65	29		8,87	9	24
	5,22	47	26		8,85	49	26
	5,20	6	27		8,82	29	28
	5,18	33	22		8,79	68	24
	5,16	25	25		8,78	61	27
	5,14	4	22		8,68	T1	28
	5,08	56	27		8,67	69	30
	5,06	61	27		8,63	56	27
	5,04	2	27		8,63	2	27
	5,03	69	30		8,54	36	26
	4,96	36	26		8,41	4	22
	4,95	23	24		8,35	47	26
	4,89	52	30		8,34	28	29
	4,82	T1	28		8,30	T2	27
	4,80	28	29		8,25	23	24
	4,76	T2	27		8,17	52	30
	4,75	42	25		7,93	7	28
	4,70	7	28		7,71	40	24
	4,44	40	24		7,56	42	25
	3,98	37	27		7,33	37	27

Como se mencionó anteriormente, este experimento está constituido de 31 familias obtenidas en huertos semilleros, dos testigos comerciales y nueve familias de polinización libre de árboles plus. Los valores de los cinco parámetros evaluados aparecen en la Tabla 5, en la cual puede observarse que prácticamente todas las familias de polinización libre del huerto semillero están por encima de los testigos en todos los parámetros evaluados. Sin embargo, las nueve familias obtenidas de árboles plus bajo condiciones de bosque natural en parámetros de rendimiento (altura y diámetro) se encuentran, en su mayoría, por debajo de dichos testigos o ligeramente por encima. Este comportamiento pobre de esas familias puede deberse al hecho de que el progenitor masculino no es mejorado en tales casos, o a que las semillas de polinización libre no serán las más recomendadas para la determinación de la capacidad general de combinación en esta especie.

Si se compara el ordenamiento de las familias en ambos ensayos (Tablas 3 y 5) se observa que para la altura y el diámetro la ubicación de los tratamientos concuerda en gran medida.

Esto sugiere que la correlación genotipo-ambiente es muy baja entre los dos sitios estudiados, ya que las mejores familias en "20 de Mayo" son asimismo las mejores en "Cajalbana". En los otros dos parámetros la concordancia en el ordenamiento es menos aparente, pero también en estas características los valores promedios por familias son, en general, buenos.

TABLA 5. Promedios por familia para 5 características en progenies del huerto semillero y de árboles plus

Bloques	32				
Espaciamiento	4 m x 4 m				
Plant. /parcela	1				
	6 años				
Familias	Altura (m)	Diámetro (cm)	Rectitud (Esc. 1-5)	Ramific. (Esc. 1-5)	Ahorquill.
66	6,00	9,55	4,21	3,52	
58	5,76	9,41	4,33	3,44	
32	5,70	9,47	4,63	3,22	
18	5,68	9,18	4,04	3,07	
70	5,68	9,69	4,50	3,65	
48	5,60	9,10	4,23	3,33	
53	5,59	9,61	4,18	3,11	

TABLA 5. (Continuación).

Familias	Altura (m)	Diámetro (cm)	Rectitud (Esc. 1-5)	Ramific. (Esc. 1-5)	Ahorquill.
62	5,57	9,54	4,18	2,75	
71	5,56	9,21	4,18	3,25	3
64	5,55	10,33	3,96	3,04	1
49	5,48	8,85	4,23	3,35	1
60	5,48	9,38	4,28	3,31	
35	5,47	9,04	4,50	3,00	
54	5,47	9,15	4,44	3,07	
50	5,40	9,50	4,53	3,17	1
51	5,39	9,21	4,32	2,89	
55	5,38	9,32	4,07	2,96	
9	5,37	8,87	4,33	3,21	
27 ^{II}	5,36	9,18	4,14	3,11	
15	5,35	9,96	3,78	2,89	
29	5,33	8,82	4,32	3,04	2
68	5,28	8,79	4,00	3,04	
65	5,25	9,14	4,59	3,45	1
47 ^{II}	5,22	8,35	4,42	3,04	2
6 ^{II}	5,20	9,04	4,30	2,85	1
333	5,18	8,91	4,50	3,18	
25 ^{II}	5,16	8,92	4,04	2,44	2
4	5,14	8,41	4,23	3,23	
56	5,08	8,63	4,52	3,11	
61	5,06	8,78	4,04	2,78	
2	5,04	8,63	4,26	3,00	1
69	5,03	8,67	4,30	3,30	
36	4,96	8,54	4,27	2,69	1
23 ^{II}	4,95	8,25	3,84	2,60	
52	4,89	8,17	4,00	2,70	1
T-1	4,82	8,68	3,61	2,50	
28	4,80	8,34	4,07	2,31	1
T-2	4,76	8,30	3,96	2,48	
42 ^{II}	4,75	7,56	4,44	3,68	
7 ^{II}	4,70	7,93	4,14	2,50	
40 ^{II}	4,44	7,71	4,21	2,75	
37 ^{II}	3,98	7,33	4,15	3,27	
Media	5,23	8,87	4,22	3,03	0,45

^{II} Semillas de árboles plus en bosque natural.

En las Tablas 3 y 5 se informa el número de árboles bifurcados en cada tratamiento. Por término medio, la incidencia de este fenómeno es baja en estas pruebas, siendo de un 3 % en "20 de Mayo" y de 1,5 % en Cajálbana. La mayor frecuencia encontrada en "20 de Mayo" parece estar asociada a condiciones edafoclimáticas más adversas. Para esta localidad las familias T-2 y 55 presentaron el fenómeno en un 7 %, mientras que el valor más alto, 9 %, se observó en la familia No. 52. A la luz de estos resultados se recomienda seguir observando la manifestación de este fenómeno en otras pruebas a fin de poder determinar con exactitud el patrón de variación en este carácter.

Heredabilidad

La heredabilidad de un carácter métrico expresa la proporción de la variante total que se debe a la acción de los genes.

Existen dos conceptos de heredabilidad:

1. Heredabilidad en sentido amplio:

$$h_{sa}^2 = \frac{V_G}{V_F} = \frac{V_G}{V_A + V_E}$$

2. Heredabilidad en sentido estricto:

$$h_{se}^2 = \frac{V_A}{V_F} = \frac{V_A}{V_A + V_{NA} + V_E}$$

Tenemos que:

V_A = Varianza genética aditiva	V_F = Varianza fenotípica
V_{NA} = Varianza genética no aditiva	V_G = Varianza genética total
V_E = Varianza ambiental	

La varianza genética está constituida por tres componentes: 1) una porción aditiva que se debe a la acción de muchos genes con pequeños efectos acumulativos; 2) un efecto de dominancia que se debe a la interacción entre genes alelos o interacciones dentro de los loci y 3) un efecto de interacción entre genes no alelos. Cuando esta interacción está presente se dice que tales combinaciones presentan epistasia.

La varianza aditiva es el componente más importante, pues es la causa principal de la semejanza entre parientes y la respuesta de la población a la selección será mayor o menor según la magnitud en que se encuentre este componente (Falconer, 1964). Según dicho autor, éste es el único componente que puede estimarse fácilmente de observaciones hechas sobre la población y en la práctica la división se realiza entre varianza genética aditiva versus el resto, siendo el resto la varianza genética no-aditiva y la varianza ambiental.

En este trabajo se hacen estimaciones de heredabilidad para la altura y el diámetro con los datos de ambos experimentos.

En la Tabla 6, se presenta el análisis de varianza con los cuadrados medios y los componentes de varianza.

TABLA 6. Análisis de varianza y componentes esperados de los cuadrados medios para la estimación de la heredabilidad. Ensayo de polinización controlada, "20 de Mayo".

Carácter: Altura				
Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Componentes de varianza
Bloques	3	37,343 4	29,114 5	
Familias	11	140,359 7	12,760 0	$\sigma_w^2 + w\sigma_e^2 + bw\sigma_f^2$
Bloq./fam	33	92,024 0	2,788 6	$\sigma_w^2 + w\sigma_e^2$
Dentro de parcela	592	417,549 0	0,705 3	σ_w^2
Total	639	737,276 1		
Carácter: Diámetro				
Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Componentes de varianza
Bloques	3	202,192 9	67,397 6	$\sigma_w^2 + w\sigma_e^2 + bw\sigma_f^2$
Familia	11	216,750 7	19,704 6	
Bloq./fam.	33	309,105 6	9,366 8	$\sigma_w^2 + w\sigma_e^2$
Dentro de parcelas	592	1 508,194 6	2,547 6	σ_w^2
Total	639	2 236.243 8		

Despejando el valor de cada componente, tenemos:

Altura:

$$\sigma_w^2 = 0,7053$$

$$\sigma_e^2 = 0,1823$$

$$\sigma_f^2 = 0,2181$$

$$\sigma_T^2 = 1,1057$$

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{4} V_A$$

$$V_A = 4 \sigma_f^2$$

$$h_{se}^2 = \frac{0,2181 \times 4}{1,1057} = 0,79$$

$$h_{se}^4 = 0,79$$

Diámetro:

$$\sigma_w^2 = 2,5476$$

$$\sigma_e^2 = 0,5966$$

$$\sigma_f^2 = 0,2261$$

$$\sigma_T^2 = 3,3703$$

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{4} V_A$$

$$V_A = 4 \sigma_f^2$$

$$h_{se}^2 = \frac{0,2261 \times 4}{3,3703} = 0,27$$

$$h_{se}^4 = 0,27$$

Ganancia genética

Basándose en los valores medios de las progenies y en la media de los testigos, se calculó la ganancia genética en los cuatro caracteres objetos de estudios. Los cálculos de la ganancia se hicieron considerando el total de los tratamientos (columna 4), o sólo el 20 % de los tratamientos representados (columna 5, Tabla 7).

TABLA 7. Ganancia genética para 4 caracteres de interés económico y valor de la heredabilidad en altura y diámetro en ambos ensayos.

"20 de Mayo"

Carácter	x general (progenies)	$\bar{x}$ testigos (Pobl. base)	Ganancia genética	Ganancia pa- ra el mejor 20 % de las progenies	Here- dabi- lidad
Altura	6, 68	5,89	13,41	22,58	0, 79
Diámetro	10,13	9,11	11,20	18,02	0, 27
Rectitud fuste	4,28	3,40	25,88	32,35	-
Ramificación	3,49	2,64	32,20	41,29	-

"Cajalbana"

Carácter	$\bar{x}$ general (progenies)	$\bar{x}$ testigos (Pobl. base)	Ganancia genética	Ganancia pa- ra el mejor 20 % de las progenies	Here- dabi- lidad
Altura	5,25	4, 79	9,60	18,58	0,66
Diámetro	8,89	8,49	4,71	13,19	0, 59
Rectitud fuste	4,24	3,79	11,87	19,26	-
Ramificación	3, 06	2,49	22,89	38,55	-

Podemos observar en dicha Tabla que aun considerando el total de los tratamientos, las ganancias son, en sentido general, buenas; pero cuando el cálculo se hace basándose en los tratamientos mejores (20 %), se obtienen ganancias medias para ambos ensayos de alrededor del 20 %, para altura; 15 % para diámetro; 25 % para rectitud del fuste y 40 % para características de la ramificación, que sí constituyen logros sustanciales del programa de mejoramiento selectivo en esta especie.

En el carácter "ramificación" que comprende longitud, grosor, ángulo y distribución de las ramas, se obtienen los valores más altos de ganancia con 41,29 % en el primer caso y 38,55 % en el segundo. Por el contrario, los valores más bajos se obtuvieron para el diámetro, lo que resulta lógico, ya que este carácter tiene una respuesta más **débil** a la selección.

En la columna 5 de la Tabla 7 se expresan los valores de la heredabilidad para la altura y el diámetro. Estos valores, al igual que los encontrados por Zayas y Burley (1973) (altura 0,69, diámetro 0,76), son más bien altos y muestran que existe una gran variación entre familias. Sin embargo, aunque en este trabajo no se analizó la heredabilidad para árboles individuales, cabe destacar que los autores citados encontraron valores de 0,316 para altura y 0,377 para el diámetro en progenies de esta misma especie. Por lo antes expuesto se puede concluir que existe una gran variabilidad entre las familias y dentro de ellas, lo que indica que la selección a ambos niveles puede ser muy efectiva.

CONCLUSIONES

Tanto los análisis efectuados como los valores medios de todos los parámetros evaluados muestran un efecto muy significativo de la selección en caracteres de interés comercial, comparados con lotes de control que representan fuentes de producción comercial de la especie. En ambos ensayos los tratamientos de peor comportamiento son los testigos o las progenies de polinización libre de árboles plus.

Los estimados de heredabilidad (0,79 para altura y 0,27 para diámetro) indican que para el primer carácter una porción considerable de la variación está bajo control genético aditivo. Por lo tanto, se pueden lograr progresos significativos con la selección entre las familias y dentro de ellas que componen la población. En lo que respecta al diámetro debe señalarse que este carácter está muy influido por factores del medio y por ello el control genético es más débil y la selección menos efectiva.

Los resultados de este estudio permiten predecir la obtención de logros sustanciales con la utilización de semillas de los huertos semilleros. Se recomienda que en el manejo de dichos huertos se realice una discriminación fuerte entre los clones de modo que queden como productores el 30 - 35 % del total de clones representados en el huerto.

RECONOCIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento a todos los que de una forma u otra, han cooperado en la realización de este trabajo. En especial, cabe destacar la ayuda del Ing. agr. Radamés Carralero, en todo lo concerniente a los análisis biométricos, a los

silvicultores A. .Betancourt, A. Zayas e Ing. Alfredo Ancízar por la revisión del manuscrito y las sugerencias aportadas, así como de todo el personal técnico de la Estación Experimental de Viñales.

ABSTRACT

PROGENY BEHAVIOUR OF FREE AND CONTROLLED POLLINATION OF A SEED ORCHARD OF *Pinus caribaea* VAR. *caribaea*

The behaviour of numerous progenies obtained through free and controlled pollination in a seed orchard of *Pinus caribaea* var. *caribaea* is compared in this paper. The experimental material is tested in two field trials situated in two localities of the province of Pinar del Rfo, 20 de Mayo, Guane and Cajalbana, Bahía Honda.

This paper deals with the general capacity of the combination of represented families in economic interest parameters, such as height, diameter, trunk straightness and branching characteristics. To know the behaviour of these characteristics is essential in order to perform thinnings or remanagements of the seed orchard and the crossing programme aiming at a second improvement cycle.

Based on this experimental material, estimates are made on the heritability of height and diameter in both trials. The values found (height 0,79 and 0,66, and diameter 0,27 and 0,57) indicate that the selection amongst families leads to substantial gains in an improvement generation.

The inclusion of controls in these trials made it possible to calculate said genetic gains, as well as obtainable gains, if only the best 20 % of the represented treatments is used. In this case the average gain percentages of the two trials are 20,5 % in height, 15,6 % in diameter, 25,8 % for trunk straightness and 39,9 % in branching characteristics.

BIBLIOGRAFIA

- BANGOURA, I. y C. HABA. 1979. Comportamiento de algunas especies exóticas en Cuba. Trabajo de Diploma. Pinar del Río, Unidad Docente de Ingeniería Forestal.
- BETANCOURT', A. y A. GONZALEZ. 1972. Trabajos realizados en Cuba sobre el mejoramiento del P. caribaea var. caribaea Barr ett y Golfari. En: Memorias Especiales de Cuba al VII Congreso Forestal Mundial. La Habana, INDAF. p. 9-26.
- BURLEY, J. 1973. Forestry Research and Training Centre. Informe preparado para el Gobierno de Cuba por la Org. de Naciones Unidas. Roma, FAO.
- ELDRIDGE, K. G 1973. Minimum standars for evaluating progeny trials of Pinus radiata. En: IUFRO Meeting on Tropical Provenance an Progeny Research. Nairobi.
- FALCONER, D. S. 1964. Introduction to quantitative genetics. Edinburgh, University of Edinburgh.
- LAMB, A. F. A. 1968. Algunos aspectos de la silvicultura y el mejoramiento forestal en Cuba. informe preparado para el Gobierno de Cuba por la Organización de las Naciones Unidas. Roma, FAO.
- LAMB, A. F. A. 1973. Pinus caribaea. Fast growing Tirnber T r e e s of the Lowland Tropics. No. 6, v. 1. Oxford University o f Oxford. 254 p.
- SHELBOURNE, C. J. A. 1969a. Predicted genetic improvement from different breeding methods. En: Second orld consultation on forest tree breeding. Washington, Food and Agriculture Organization, 5 p.
- SHELBOURNE, C. J.A. 1969b. Progeny and cloral test design for New Zealand S. Tree Breeding Programma. New Zealand, Forest Research Institute. 15 p.
- SHELBOURNE, C. J. A. 1970. Growth and morphological properties in a combined provenance and progeny test of slash pine (P. elliottii var. elliottii Eng.) New Zealand, Forest Research Institute. 16 p.

ZAYAS, P. A. y J. BURLEY, 1973. Progeny test of Pinus caribaea var. caribaea at Cajalbana. En: IUFRO Meeting on Tropical Provenance and Progeny Research. Nairobi, p. 510-516.