

Variación genética de progenies de *Prosopis alba*

C. López*, A. Maldonado, V. Salim

Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques (IN.SI.MA) - Facultad de Ciencias Forestales.
Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (S) 1912 - 4200 Santiago del Estero.
Argentina
crl@unse.edu.ar

RESUMEN

El algarrobo blanco, *Prosopis alba*, es una especie autóctona de amplia difusión en la Argentina y de gran importancia económica por la provisión de materia prima óptima para el consumo humano y del ganado. Las excelentes propiedades tecnológicas de su madera generó la intensa tala de las poblaciones naturales y en consecuencia una fuerte degradación de los recursos genéticos existentes. Para mejorar el material disponible para obtener semilla de buena calidad para la repoblación, fue instrumentado un plan de mejora por selección fenotípica individual para forma del fuste y crecimiento volumétrico en poblaciones naturales de cuatro provincias argentinas.

Como resultado del programa de selección se estableció en 1990 en Santiago del Estero, Argentina, un ensayo de progenies con cincuenta y siete familias de polinización abierta de *Prosopis alba* de ocho diferentes orígenes de su área de distribución natural, para evaluar su desempeño y utilidad dentro de un programa de mejora genética.

Los resultados de las evaluaciones efectuadas en altura y diámetro a la edad de ocho años, mostraron un comportamiento diferenciado de los orígenes y familias ensayadas. El mejor origen superó claramente al promedio general diferenciándose en 20 % en diámetro y 23,8 % en altura del origen con peor desempeño.

Las estimaciones de parámetros genéticos y ganancias esperadas revelaron buenas perspectivas de mejoramiento por selección entre y dentro de familias. Las heredabilidades a escala familiar e individual se situaron alrededor de 0,5 y 0,4 respectivamente, promoviendo ganancias por selección del 13,5 % para altura y 21,2 % para diámetro.

PALABRAS CLAVE: Prosopis alba
Progenies
Orígenes

* Autor para correspondencia
Recibido: 27-4-00
Aceptado para su publicación: 15-3-01

INTRODUCCIÓN

Gran parte del territorio de la provincia de Santiago del Estero es semiárida y una de las regiones más pobres de la Argentina. Sin embargo, en esta región existen recursos forestales potencialmente capaces de satisfacer las necesidades más urgentes de sus habitantes. El algarrobo blanco (*Prosopis alba*) es la especie autóctona que despierta mayor interés para esta finalidad debido a sus múltiples usos. Sus frutos constituyen una importante fuente proveedora de alimento humano y del ganado, su madera es de gran valor por sus características tecnológicas y es apta para mueblería fina, carpintería de obra y parqueté. Crece espontáneamente en las provincias de Formosa, Salta, Santiago del Estero, Córdoba, Tucumán, Chaco y Santa Fe (Fig. 1).

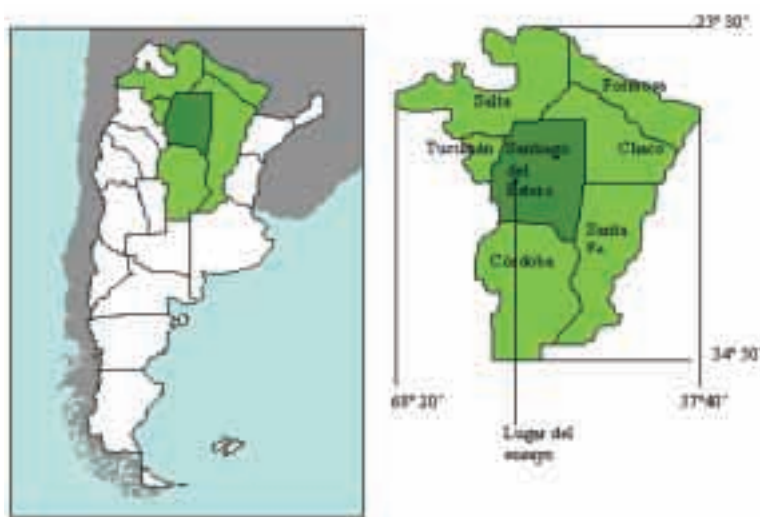


Fig. 1.—Área de distribución natural del Algarrobo blanco

Sin embargo, la explotación forestal tradicional, caracterizada por la extracción de los mejores ejemplares, condujo a una fuerte erosión de los recursos genéticos disponibles y a la merma de su capacidad para atender las necesidades del mercado altamente insatisfechas de productos leñosos.

Recientemente, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación la incluyó entre las especies que gozan de subsidios para el establecimiento de plantaciones para alimentar a la industria maderera.

Esta situación justifica la necesidad de ejercer acciones para que el bosque continúe cumpliendo con sus funciones y mejorar el material disponible para obtener semilla de buena calidad genética para los planes de forestación y reforestación.

La existencia de variabilidad genética en las poblaciones es un presupuesto fundamental para la obtención de ganancias en los programas de mejoramiento. El conocimiento de la estructura genética de las poblaciones y la caracterización de la variación genética, son factores preponderantes para la definición de estrategias efectivas en los programas de mejoramiento y para la comprensión de las consecuencias de la manipulación de esa variabilidad (Namkoong, 1984; Fonseca, 1982; Kageyama, 1980).

Los ensayos de orígenes y progenies de genotipos selectos de estas poblaciones, pueden brindar el conocimiento de los patrones de variación genética y probar su desempeño y adecuación a las condiciones ambientales de los sitios de destino.

En este marco los objetivos del presente trabajo son:

- a) Evaluación del comportamiento de orígenes y familias de polinización abierta en diámetro y altura.
- b) Estimación de parámetros genéticos y ganancias esperadas en las poblaciones mejoradas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Fueron utilizadas 57 familias de polinización abierta de *Prosopis alba*, recolectadas de 8 orígenes que corresponden a la Provincia Fitogeográfica del Chaco (Tabla 1).

Tabla 1
Origen y familias de los materiales ensayados

Origen	Número de Familias
Ibarreta (Formosa)	5
Castelli (Chaco)	4
Zona de Riego Río Dulce (Sgo. Del Estero)	11
Sumampa (Sgo. del Estero)	8
Gato Colorado (Santa Fe)	6
Quimili (Sgo. del Estero)	8
Añatuya (Sgo. del Estero)	8
Pinto (Sgo. del Estero)	7

Sitio de ensayo

El ensayo está ubicado en la localidad de San Carlos, departamento Banda, provincia de Santiago del Estero. Las características climáticas del sitio se consignan en la Tabla 2.

Pese a que las temperaturas mínimas absolutas alcanzan 7 °C bajo cero, toda la región posee un período libre de heladas de más de 300 días.

El ensayo fue establecido en 1990 conforme a un diseño de bloques completos al azar con 7 repeticiones. Las 57 familias dispuestas en parcelas cuadradas de 4 plantas totalizan 28 árboles por origen. El distanciamiento es de 4 m y la bordura perimetral es simple.

Tabla 2
Características climáticas del sitio de implantación

Latitud	27°45'S
Longitud	64°15' W
Temperatura media anual	19,9°
Temperatura máxima absoluta	44,0°
Temperatura mínima absoluta	-7,2 °C
Precipitación media anual	605 mm
Evapotranspiración potencial	1.056 mm
Déficit hídrico climático (Thornthwaite)	451 mm anual
Vientos predominantes	Norte y Sur.
Suelo	Salinos

Las variables adoptadas para el presente estudio fueron altura total y diámetro a 0,20 m de altura debido a que a los 8 años de edad la mayoría de las familias aún carecen de frutos.

Se efectuó el análisis de la varianza al nivel de plantas individuales con el siguiente modelo matemático (Vencovsky y Barriga, 1992):

$$Y_{ijk} = m + t_i + b_j + e_{ij} + d_{ijk}$$

donde:

- Y_{ijk} : característica «Y», medida en el individuo «k», tratamiento «i», bloque j».
- m: media general del experimento
- t_i : efecto de tratamientos
- b_j : efecto de bloques
- e_{ij} : error experimental asociado a la parcela que contiene al tratamiento «i» en la repetición «j».
- d_{ijk} : contribución genética y del ambiente sobre «Y».

Se realizó la comparación múltiple de medias con la prueba de Duncan al 95 % de confianza, para testar las diferencias entre familias. Las posibles diferencias entre orígenes fueron probadas mediante contrastes ortogonales.

El análisis de la varianza, con efecto aleatorio de tratamientos, fue el siguiente:

F.V.	G.L.	CM	E(CM)
Bloques	r-1		
Familias	p-1	Q1	$\sigma_d^2 + k \cdot \sigma_e^2 + k \cdot r \cdot \sigma_g^2$
Error entre	(p-1)(r-1)	Q2	$\sigma_d^2 + k \cdot \sigma_e^2$
Error dentro	pr(k-1)	Q3	σ_d^2
Total	prk-1		

donde:

- r: número de repeticiones
 p: número de tratamientos (familias)
 k: número de plantas por parcela
 Q1, Q2, Q3, σ_g^2 , σ_e^2 , σ_d^2 : cuadrados medios y varianzas de tratamientos y error entre y dentro de parcelas respectivamente.

Los componentes de varianza expresados en porcentaje, aíslan la incidencia de cada uno de los efectos en el modelo utilizado y valoran su naturaleza y magnitud.

Las estimaciones de los componentes de varianza genética y ambiental fueron obtenidas de la descomposición de los cuadrados medios por Máxima Verosimilitud Restringida.

Los coeficientes de heredabilidad en sentido estricto fueron estimados a nivel familiar ($h_{\bar{x}}^2$), dentro de familias (h_d^2), e individual (h_i^2), con las siguientes expresiones:

$$h_{\bar{x}}^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_e^2}{r} + \frac{\sigma_d^2}{r \cdot k}} \quad h_d^2 = \frac{3/4 \sigma_A^2}{\exists \sigma_d^2} \quad h_i^2 = \frac{4\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_e^2 + \sigma_d^2}$$

Según Vencovsky y Barriga (1992), las estimaciones de parámetros obtenidos de datos experimentales son variables aleatorias y por lo tanto contienen errores inherentes. Consecuentemente las estimaciones de heredabilidad están sujetas a errores que pueden ser calculados conforme la expresión:

$$\exists \text{ var } (h_{\bar{x}}^2) = 2(1 - h_{\bar{x}}^2)^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1 + 2} + \frac{1}{n_2 + 2} \right)$$

donde n_1 y n_2 son los grados de libertad de tratamientos y error entre parcelas respectivamente.

El progreso esperado de la selección combinada, entre y dentro de familias de medios hermanos, fue estimado mediante la siguiente fórmula:

$$Gs = \frac{k_1 \left(\frac{1}{4} \right) \sigma_A^2}{\sqrt{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_e^2}{r} + \frac{\sigma_d^2}{r \cdot k}}} + \frac{k_2 \left(\frac{3}{4} \right) \sigma_A^2}{\sigma_d}$$

donde:

- K1, K2: coeficientes correspondientes a las intensidades de selección escogidas.
 σ_A^2 : varianza aditiva
 $\bar{k}$: media armónica del número de árboles por parcela.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del análisis de varianza

El análisis residual no detectó incumplimientos preocupantes de los supuestos del análisis de la varianza.

La prueba de «F» reveló diferencias significativas entre familias en las variables estudiadas, evidenciando un comportamiento diferenciado en los materiales probados.

Los coeficientes de variación experimental son altos debido a la imprecisión del diseño experimental utilizado y a la heterogeneidad del material recolectado (Tabla 4).

La aplicación de la prueba de Duncan generó un ordenamiento en el que se destacan en **altura**, la familia **5** originaria de Ibarreta, Formosa y, la **8** y **6** de Castelli, Chaco. En secuencia se ordenan las familias **56** y **10** de Pinto y Zona de Riego respectivamente, ambas de Santiago del Estero. Las familias que muestran los peores desempeños, son la **32** y **31** de Gato Colorado, Santa Fe y la **51** de Añatuya, Santiago del Estero (Fig. 2).

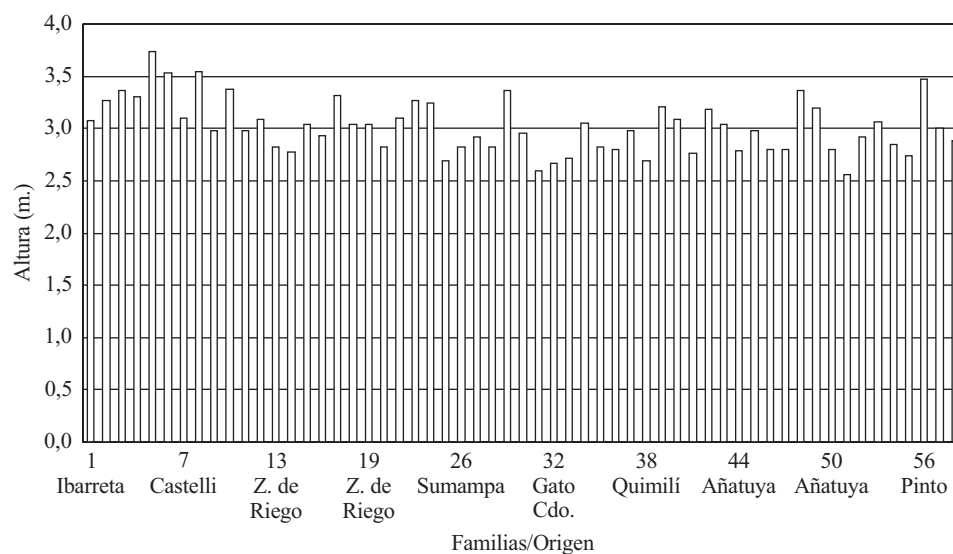


Fig. 2.—Desempeño de Familias/Orígenes en Altura

En **diámetro** se destacan los tratamientos **5**, **29** y **12** correspondientes a Ibarreta, Sumampa y Zona de Riego respectivamente. En último orden se ubican el **31** de Gato Colorado, Santa Fe y **25** de Sumampa, Santiago del Estero (Fig. 3).

La Tabla 3 muestra los niveles de significación de los contrastes efectuados que revelan las diferencias existentes entre orígenes y confirmando la superioridad de los materiales provenientes de Ibarreta, Castelli y Zona de Riego.

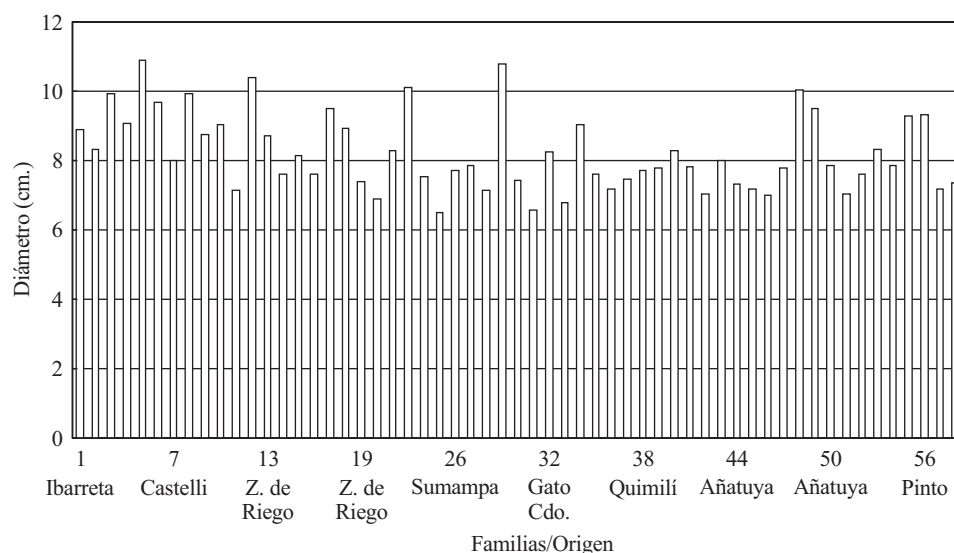


Fig. 3.—Desempeño de Familias/Orígenes en Diámetro

Tabla 3
Contrastes entre orígenes para altura total y diámetro en la base

Variables	Contrastes			
	Ibarreta Vs. Castelli	Ibarreta-Castelli Vs. Zona de R.- Sumampa	Ibarreta Vs. Gato Col.	Zona de R. Vs. Quimilí
Diámetro	0,94 ^{ns}	0,0004 **	0,0001 **	0,046 *
Altura	0,70 ^{ns}	0,0001 **	0,0001 **	0,52 ^{ns}

** : significativo a nivel del 99 % de probabilidades

* : significativo a nivel del 95 % de probabilidades

ns: no significativo

Estas consideraciones se ven reflejadas en las Figuras 4 y 5 que muestran el desempeño de los orígenes para ambas variables estudiadas.

Ibarreta y Castelli son orígenes que superan claramente al promedio general en diámetro y altura, por lo que su selección promovería ganancias importantes. En altura y diámetro, las diferencias entre el mejor y el peor origen (Ibarreta y Gato Colorado respectivamente), son del 20 % y 23,8 %.

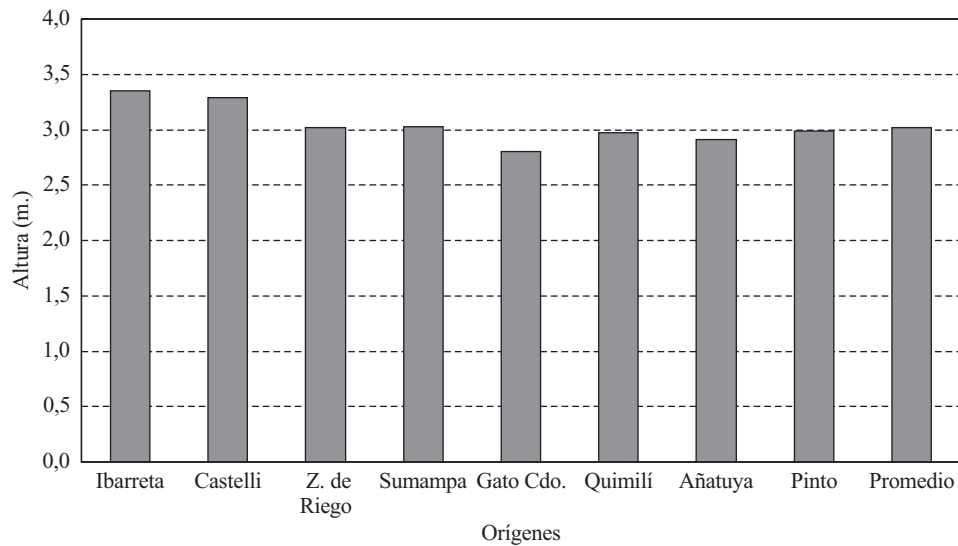


Fig. 4.—Desempeño de los Orígenes en Altura

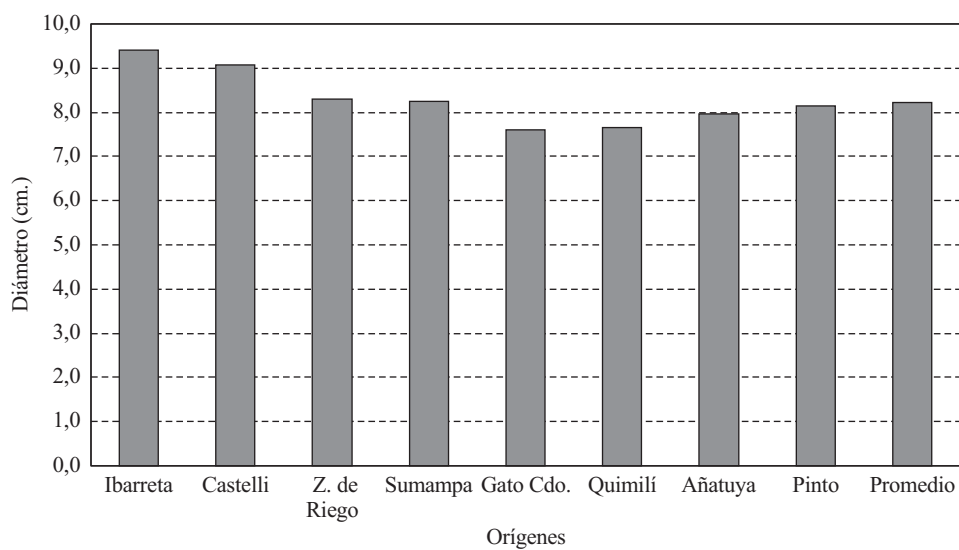


Fig. 5.—Desempeño de los Orígenes en Diámetro

Las proporciones de varianzas genéticas y ambientales son semejantes en ambas variables (Tabla 4). La variabilidad dentro de las parcelas es significativamente alta como consecuencia del reducido número de árboles incluidos en las parcelas según destacan Ven-

covsky y Barriga (1992), y de la heterogeneidad del material. Las magnitudes de varianza entre tratamientos sugieren buenas perspectivas de ganancia por selección (López, 1992).

Tabla 4
Parámetros estimados

Parámetros	Altura Total	Diámetro a 0,20 m
σ_g^2 (%)	9,20	9,13
σ_s^2 (%)	42,92	38,33
σ_d^2 (%)	47,87	52,53
$h_{\bar{x}}$	0,487	0,496
$\sigma(h_{\bar{x}}^2)$ (%)	7,48	7,2
h_{d_2}	0,57	0,52
h_t	0,368	0,365
Gs (%)	13,53	21,2
Promedio	3,081 m	8,20 cm
CV exp.	14,18	21,38

Coefficientes de heredabilidad

En Altura y Diámetro la heredabilidad a escala familiar e individual se sitúan alrededor de 0,5 y 0,3 respectivamente. Estos valores son considerablemente altos (Torggler, 1987) y son coherentes con los niveles de varianzas tanto genéticas como fenotípicas.

Las varianzas de las estimaciones de la heredabilidad familiar son notablemente bajas, tornando confiables estas estimaciones y el de la ganancia esperada.

Ganancia genética

La ganancia esperada en la selección combinada, considerando una intensidad de selección entre familias del 60 % ($k_1 = 0,63$) y dentro de familias del 25 % ($k_2 = 1,27$), es de 13,5 % y 21,2 % con relación a la media de la población ensayada. Estos valores son considerablemente altos, correspondiendo el mayor avance al diámetro. El porcentaje de selección entre familias y de los mejores individuos dentro de las mejores familias es consecuencia del número de familias que superan el promedio general en ambas variables, y del distanciamiento final del ensayo que promueve el intercambio génico más apropiado en su conversión en un área productora de semillas por raleo (aproximadamente 100 árboles por hectárea). La selección definitiva de los individuos para su propagación agámica y consecuente establecimiento de un huerto semillero clonal se hará una vez que estén disponibles los datos de producción de vainas, valorando los clones mediante un índice de selección donde participen las tres variables simultáneamente.

Es probable que los valores estimados de parámetros genéticos se encuentren influidos por la interacción de los genotipos con el ambiente. Para el cálculo de valores más precisos, es necesario descontar su influencia cuando se trata de recomendar determinados materiales genéticos para otros sitios. Sin embargo, la falta de replicación del ensayo en otros sitios imposibilita su estimación.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos surgen las siguientes conclusiones:

Existe un comportamiento diferenciado en los materiales evaluados en altura y diámetro a la base, tanto al nivel de orígenes como de familias de medios hermanos. La variabilidad genética disponible justifica su conservación como banco de germoplasma.

Las estimaciones de parámetros genéticos muestran excelentes perspectivas de mejoramiento en la selección combinada entre y dentro de las familias ensayadas.

Las varianzas genéticas detectadas son altamente significativas y en consecuencia, la ganancia esperada en las poblaciones mejoradas son considerablemente altas.

SUMMARY

Genetic variation in progenies of *Prosopis alba*

Prosopis alba is the most widely spread native species in Argentina. It is economically important because it is good for both, the human and the livestock consumption. Over the last decade, excessive logging of the natural stands and a strong degradation of the available genetic resources has occurred because of the excellent technological properties of its wood. To improve the available material to obtain good quality seed for reforestation, an improvement plan by phenotypic individual selection for form stem and volumetric growth in natural populations of four Argentinean provinces was conducted.

Fifty-seven open pollinated progeny families from eight different provenances of *Prosopis alba* were established at San Carlos, Santiago del Estero, Argentina, in 1990. The trial, laid out in a Complete block design, was assessed in 1998 for height and diameter growth.

Results revealed differences among and within provenances. The best provenance is 20 % and 23.8 % superior compared to the worst, for height and diameter growth respectively.

Large genetic variations among families were found for the traits studied. Estimates of genetic parameters indicate genetic gains of 13.5 % for height and 21.2 % for diameter for selection among and within families.

KEY WORDS: *Prosopis alba*
Progeny
Provenances

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FONSECA S., 1982. *Variação fenotípica e genética em bracatinga*. Tesis de maestría. ESALQ - Universidad de San Pablo, Piracicaba, S.P. Brasil, 86 pp.
- KAGEYAMA P., 1980. *Variação genética em progênies de uma população de E. grandis*. Tesis doctoral. ESALQ - Universidad de San Pablo, Piracicaba, S.P. Brasil, 125 pp.
- LOPEZ C.R., 1992. *Variação fenotípica e genética em clones de E. urophylla da Ilha Flores*. Tesis de maestría. ESALQ - Universidad de San Pablo, Piracicaba, S.P. Brasil, 101 pp.
- NAMKOONG G., 1984. Inbreeding, hybridization and conservation in provenances of tropical trees. In: *Joint Meeting of IUFRO working Parties of Provenance and Genetic Improvement Strategies in Tropical Forest Trees*. Mutare, 7 pp.
- TORGGLER M., 1987. *Variação genética entre progênies dentro de procedências de E. saligna*. Tesis de maestría. ESALQ - Universidad de San Pablo, Piracicaba, S.P. Brasil, 198 pp.
- VENCOVSKY R., BARRIGA P., 1992. *Genética Biométrica no Fitomelhoramento*. Ed. Sociedad Brasileira de genética. R. Preto, San Pablo, Brasil, 486 pp.