

ESTUDIO DE HEREDABILIDAD Y AVANCE GENÉTICO EN FREJOLES CHILENOS¹

Heritability and genetic gain in Chilean dry beans

Mario Paredes C.², Juan Tay U.², Gabriel Bascur B.³ y Shree Singh⁴

S U M M A R Y

Heritability and genetics gain for three quantitative traits were evaluated in crosses between Chilean bean (race Chile) and genotypes from other races and gene pools. The evaluation of these genetic parameters were carried out in two locations: Santiago and Chillán.

The results indicated that seed yield, 100-seed weight, and days to maturity are all heritable traits and substantial progress could be made by selection among early generation populations. Moreover, Chilean germplasm seems to show superiority over other material included in the study. For adequate utilization of any introduced germplasm from other races of common bean, the earliness seems to be crucial.

Key words: Bean, heritability, genetic gain, Chilean germplasm.

INTRODUCCIÓN

El frejol ($2n=2x=22$) juega un papel importante en la agricultura nacional, desde el punto de vista económico, social, nutricional y agronómico.

El aumento del potencial de rendimiento y la resistencia a factores bióticos ha sido uno de los principales objetivos de los programas de mejoramiento de frejol. De estos dos aspectos, la obtención de variedades resistentes a diferentes enfermedades ha sido muy exitoso, sin embargo, el proceso de liberación de variedades con alto potencial de rendimiento ha sido más lento y complejo.

Tradicionalmente en Chile el mejoramiento de frejol se ha enfocado a algunas clases comerciales, debido a la estrecha relación entre el color y forma del grano y la aceptación de la variedad por el consumidor. Esta situación ha obligado a los fitomejoradores a la elección de los progenitores, dentro o muy cerca de la clase comercial, para facilitar la recuperación de recombinantes con buenas características agronómicas y comerciales. Estudios morfológicos y agronómicos (Singh *et al.*, 1989), bioquímicos (Singh *et al.*, 1991) y moleculares (Chase *et al.*, 1991; Nodari *et al.*, 1992; Becerra y Gepts, 1994) han encontrado la existencia de una amplia variación entre los pools de genes de la especie, que de ser utilizada en buena forma podría significar un gran avance en el mejoramiento genético de la especie. Es así como genotipos indeterminados de tipo II y III pertenecientes al pool de genes mesoamericano tienen un mejor rendimiento que los materiales andinos (CIAT, 1995). Además, se conoce que el rendimiento potencial del frejol está determinado principalmente por el hábito de crecimiento (White y otros, 1992;

¹Recepción de originales: 30 de enero de 1998.

²Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile.

³Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

⁴Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

Kornegay y otros, 1992), tamaño de la semilla (White y González, 1990), precocidad (Cerna y Beaver, 1990), resistencia a enfermedades y condiciones de manejo del cultivo.

Las principales clases comerciales de frejoles consumidos en Chile son "Tórtola" y "Coscorrón", los cuales constituyen una clase comercial única en el mundo. Pertenecen al pool de genes andino (Singh, 1989) y constituyen parte de la raza Chile (Singh *et al.*, 1991). La base genética de estas clases comerciales es muy estrecha (Becerra y Gepts, 1994; Paredes y Gepts, 1995b), aunque presentan un alto nivel de introgresión de alelos andinos a nivel izoenzimático (Paredes y Gepts, 1995a). Estas variedades se caracterizan por ser tardías, de hábito de crecimiento postrado y susceptibles a enfermedades virosas, características que es necesario mejorar para aumentar su productividad, rentabilidad y reducir su vulnerabilidad genética (Paredes, 1994).

La incorporación de nuevos genes mejorantes podría provenir de otras razas o pool de genes, como podría ser del tipo mesoamericano.

Estudios realizados en otras clases comerciales de frejol y en diferentes ambientes indican un rango de valores de heredabilidad para rendimiento en el sentido amplio que van desde 0,05 a 0,94 (Davis y Evans, 1977; Mutschler y Bliss, 1981; Zimmerman *et al.*, 1984a,b) y en el sentido estrecho de 0,02 a 0,43 (Chung y Stevenson, 1973; Nienhuis y Singh, 1988; CIAT, 1992). Para precocidad, evaluada como días a floración, se han determinado valores de heredabilidad en el sentido amplio de 0,96 (Davis y Evans, 1977) y en el sentido estrecho de 0,09 a 0,83 (Chung y Stevenson, 1973). Para fecha de madurez de cosecha, se estimó un valor de heredabilidad en el sentido amplio de 0,56 para frejoles trepadores y de 0,44 para frejoles arbustivos (Conti, 1982). En el caso de peso de 100 semillas, las estimaciones de heredabilidad en el sentido amplio son de 0,42 a 0,78 (Davis y Evans, 1977) y en el sentido estrecho de 0,56 a 0,81 (Chung y Stevenson, 1973; Nienhuis y Singh, 1988).

Los principales objetivos de esta investigación fueron: 1) Estimar la heredabilidad de tres características cuantitativas de materiales provenientes de cruces entre variedades chilenas y genotipos pertenecientes a otras razas del pool de genes andino y mesoamericano; 2) Estimar la ganancia genética por la selección para estas características; y 3) Determinar posibles relaciones entre rendimiento de grano, días a madurez fisiológica y peso de 100 semillas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se planificó una serie de cruzamientos en los que se incluyeron variedades chilenas y genotipos que poseían un alto potencial de rendimiento, buena habilidad combinatoria general y provenientes de diferentes razas y pool de genes.

En una primera etapa se planificó un estudio tendiente a estimar la magnitud de algunos parámetros genéticos, como heredabilidad, avance genético, y las correlaciones entre algunas características agronómicas como rendimiento de grano seco, precocidad y peso de 100 semillas. Hasta ahora esta información no estaba disponible en dos importantes clases comerciales de frejoles chilenos como son "Tórtola" y "Coscorrón".

Durante la temporada 1991/92 se evaluaron 51 genotipos de fréjol, 15 familias en generaciones F_3 y F_4 y 17 progenitores. Como padres se seleccionaron 3 genotipos representativos de la raza Chile (Coscorrón Corriente, Frutilla Corriente y Tórtola Diana) y 14 selecciones provenientes de otras razas de origen andino y mesoamericano, tales como: FEB170 x Pinto U.I.114; FEB114 x Frutilla Corriente; C20 x Mussolini; MAN13 x Pinto U.I.114; Pinto U.I.114 x Frutilla Corriente; A457 x Mussolini; A750 x Don Timoteo; Pinto U.I.114 x A195; Coscorrón Corriente x Tórtola Diana; Tórtola Diana x Frutilla Corriente; Frutilla Corriente x Mussolini; Coscorrón Corriente x XAN170; Tórtola Diana x EMP178; Frutilla Corriente x A195; Mussolini x PEF6.

El ensayo se realizó en dos localidades: zona central, en el campo experimental de INIA, Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago, y en la zona centrosur, en el campo experimental de INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán.

El diseño experimental usado en la evaluación del material genético fue un block completamente al azar con cuatro repeticiones. La parcela fue de 2,4 m², lo que correspondió a 4 surcos sembrados a 0,60 m por 5,0 m de largo. La dosis de semilla fue de 25 semillas por m². Debido a la pérdida de algunos materiales, en la localidad de Chillán se analizaron sólo las 12 familias que llegaron a cosecha en ambas localidades.

El material evaluado en este estudio fue generado en el Centro de Agricultura Tropical (CIAT) como parte de un proyecto colaborativo INIA-CIAT sobre el Mejoramiento Genético de los Frejoles Chilenos.

En este ensayo se evaluó rendimiento de grano, días a madurez fisiológica y peso de 100 semillas. El rendimiento de grano se calculó pesando la semilla cosechada de cuatro metros de los dos surcos centrales, eliminando 0,5 m de borde a cada extremo de la parcela. Los días a madurez fisiológica se contaron desde la fecha de siembra hasta cuando las vainas empezaron a secarse en un 50% de las plantas. El peso de 100 semillas se evaluó muestreando al azar 100 semillas de cada familia.

La estimación de los valores de heredabilidad en el sentido estrecho se realizó mediante el método de regresión padres-hijos, utilizando familias F_4 y F_3 (Smith y Kinman, 1965), ganancia genética esperada (F_3) y observada (F_4) con una presión de selección de un 20%. Posteriormente, se realizó un análisis de correlación simple entre las características evaluadas en la generación F_3 y F_4 y en las dos localidades estudiadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Heredabilidad

Las características evaluadas en este estudio fueron afectadas por el medio ambiente, lo que influyó en las estimaciones de heredabilidad; el efecto ambiental debería ser considerado en el desarrollo futuro del programa de mejoramiento genético de frejol. La estimación de heredabilidad para rendimiento obtenida en Chillán fue de un 24%, y en Santiago de un 31% (Cuadro 1). Los valores relativamente bajos de heredabilidad indican que sería recomendable iniciar el proceso de selección por rendimiento en generaciones avanzadas, donde el material segregante ha logrado una mayor estabilidad genética y se pueda lograr un mejor control o cuantificación de la influencia ambiental. Los resultados obtenidos en este trabajo están de acuerdo a los obtenidos por Chung y Stevenson (1973) y Nienhuis y Singh (1988).

En este estudio, las estimaciones de heredabilidad para precocidad, expresados en días desde la siembra a la madurez fisiológica, presentaron un mayor componente genético, lo que se vio reflejado en un mayor valor de heredabilidad (Cuadro 1), comparado con el rendimiento de grano. Los datos de heredabilidad obtenidos para precocidad concuerdan con estimaciones realizadas previamente por Conti (1982) en otras familias y tipos de frejol.

El peso de las 100 semillas fue la característica que presentó un mayor valor de heredabilidad, llegando a 64% en la localidad de Chillán y a un valor de 47% en Santiago (Cuadro 1). Estos resultados indican que a diferencia del rendimiento de grano, el peso de 100 semillas y la precocidad son características que podrían ser seleccionadas en generaciones tempranas. Las estimaciones de heredabilidad para este carácter realizadas por Chung y Stevenson (1973) y Nienhuis y Singh (1988) concuerdan con los datos obtenidos en este estudio.

Cuadro 1. Estimaciones de heredabilidad (h^2) y error estandard del rendimiento de grano, días a madurez fisiológica y peso de 100 semillas de frejol en dos localidades

Table 1. Heritability (h^2) estimates and standard error of grain yield, days to physiological maturity and 100-seed weight of bean at two locations

Característica	Localidades	
	Santiago	Chillán
Rendimiento	0,31 ± 0,17	0,24 ± 0,28
Días a madurez	0,35 ± 0,26	0,45 ± 0,31
Peso de 100 semillas	0,47 ± 0,12	0,64 ± 0,15

Avance genético

El avance genético observado en las tres características evaluadas fue variable y dependió de la localidad en estudio. Por ejemplo, en la localidad de Chillán se detectó un mayor avance genético en rendimiento y peso de 100 semillas comparado con la localidad de Santiago (Cuadro 2), sin embargo, el mayor avance genético en precocidad se observó en la localidad de Santiago (Cuadro 2). Estos resultados podrían indicar la presencia de factores ambientales tales como fotoperíodo, altas temperaturas o humedad que están influenciando fuertemente el hábito de crecimiento, rendimiento, precocidad, peso del grano (Wallace, 1985; Acosta y Shibata, 1989; White y Laing, 1989; White y González, 1990; White *et al.*, 1992a,b).

Los valores de avance genético logrados para rendimiento en este estudio fue cercano al 10% en ambas localidades, lo que se puede considerar adecuado para esta especie. Con respecto a la precocidad, el avance genético logrado en este estudio se puede catalogar de insuficiente, por lo que se necesita continuar trabajando fuertemente en la incorporación de genes de precocidad a los materiales generados.

Cuadro 2. Estimaciones de avance genético¹ en rendimiento en grano (kg/ha), días a madurez fisiológica y peso de 100 semillas (g) de frejol en dos localidades

Table 2. Expected genetic gain for grain yield (kg/ha), days to physiological maturity and 100-seed weight (g) of bean at two locations

Característica	Localidades	
	Santiago	Chillán
Rendimiento (kg/ha)		
Esperado	170	350
Observado	175	466
Días a madurez		
Esperado	2,0	1,4
Observado	3,0	1,0
Peso 100 semillas (g)		
Esperado	6,1	6,4
Observado	9,0	11,0

¹Presión de selección del 20%.

Correlaciones entre las características evaluadas

Los resultados indicaron que no existe correlación significativa ($P < 0,005$) entre las características evaluadas, dentro y entre localidades, con excepción del peso de las 100 semillas, el cual mostró una correlación positiva y significativa entre generaciones dentro y entre localidades (Cuadro 3). La presencia de coeficientes de correlación positivos y significativos entre localidades, podría indicar que el comportamiento de los materiales evaluados en las dos localidades son similares, y que todo el trabajo de mejoramiento genético se podría concentrar en una sola localidad, aun cuando presenten distintos potenciales de rendimiento. Este aspecto podría significar un ahorro importante de esfuerzos y recursos.

Cuadro 3. Coeficiente de correlación simple entre rendimiento (kg/ha), días a madurez fisiológica y peso de 100 semillas (g) en generación F₃ y F₄ en dos localidades

Table 3. Simple correlation coefficient between grain yield (kg/ha), days to physiological maturity and 100-seed weight (g) in F₃ and F₄ generation at two locations

Localidades						
Santiago		Chillán				
Rend ¹ .	Rend F ₃	Rend F ₄	DMF F ₃	DMF F ₄	P100F ₃	P100F ₄
F ₃	-0,42	-0,03	0,15	-0,38	-0,23	0,07
F ₄	0,17	0,53	0,12	-0,61*	0,25	0,43
DMF ²						
F ₃	0,37	0,16	0,25	-0,03	0,29	0,20
F ₄	0,47	-0,20	0,16	-0,43	0,25	0,25
P100 ³						
F ₃	0,49	-0,11	-0,31	-0,56	0,95*	0,90*

¹Rend: Rendimiento en grano seco (kg/ha).

²DMF: Días a madurez fisiológica.

³P100: Peso de 100 granos (g).

*Diferencia significativa $P \leq 0,05$.

El buen rendimiento de los materiales obtenidos en Chillán podría indicar que esta localidad sería adecuada para seleccionar frejoles por potencial de rendimiento y otras características agronómicas.

En los trabajos futuros de mejoramiento de frejol es imprescindible incluir progenitores más precoces, para mejorar esta característica que es muy importante para el éxito en el desarrollo de las nuevas variedades chilenas de frejol. Al respecto, recientemente se han identificado algunas fuentes de precocidad que podrían ser útiles para este propósito (Singh *et al.*, 1996).

Otra característica importante a considerar en los trabajos futuros, es el mejoramiento del hábito de crecimiento postrado de las variedades chilenas, que no es apto para una cosecha mecanizada. En este sentido, muchos de los materiales generados en este trabajo presentaron un hábito de crecimiento postrado, similar a las variedades chilenas. Por esta razón, debe ponerse

mayor énfasis en la selección de progenitores que presenten un hábito de crecimiento erecto, que sean precoces y que posean un buen rendimiento en grano.

En este estudio no se observó un mayor progreso genético en ninguna de las características que pudiera estar asociado específicamente a progenitores provenientes de cualquiera de los dos pool de genes o alguna raza específica.

CONCLUSIONES

1. Los valores de heredabilidad en el sentido estrecho y avance genético obtenidos para rendimiento en grano seco, días a madurez fisiológica y peso de los granos fue variable y dependió de la característica estudiada y de la localidad.
2. El avance genético en precocidad fue bajo, lo que implica que se debe realizar un mayor esfuerzo para mejorar esta característica.

3. La presencia de coeficientes de correlación positivos y significativos entre localidades, sugiere la posibilidad de concentrar los esfuerzos en la generación del material

mejorante en una sola localidad, y realizar las selecciones posteriores a través de ensayos preliminares y regionales distribuidos a lo largo de la zona productora de frejol.

RESUMEN

En dos localidades, zona central (Santiago) y zona centro sur (Chillán), se evaluó la heredabilidad y el avance genético de tres características cuantitativas relacionadas con la producción del frejol: rendimiento, peso de 100 semillas y días a madurez fisiológica. Las familias F_3 y F_4 evaluadas fueron producto de cruzamientos entre genotipos pertenecientes a la raza Chile y otras razas pertenecientes al pool de genes andino y mesoamericano. Los resultados obtenidos indican que las tres características

analizadas tienen un control genético adecuado para poder lograr avances genéticos importantes en programas de selección. En Santiago, las características de precocidad y peso de 100 semillas obtenidos en el F_3 estuvieron positiva y significativamente correlacionados con aquellos obtenidos en el F_4 .

Palabras claves: frejoles, heredabilidad, ganancia genética, germoplasma chileno.

LITERATURA CITADA

- ACOSTA, J. AND SHIBATA, J.K. 1989. Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. *Field Crops Res.* 20: 89-93.
- BECERRA, V. AND GEPTS, P. 1994. RFLP diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris*) in its centres of origin. *Genome* 37: 256-263.
- CERNA, J. AND BEAVER, J.S. 1990. Inheritance of early maturity of indeterminate dry bean. *Crop Sci.* 30: 1215-1218.
- CHUNG, J.H. AND STEVENSON, E. 1973. Diallel analysis of the genetic variation in some quantitative traits in dry beans. *N.Z.J. Agric. Res.* 16: 223-231.
- CHASE, C.D.; ORTEGA, V.M. AND VALLEJOS, C.E. 1991. DNA restriction fragment length polymorphisms correlate with isozyme diversity in *Phaseolus vulgaris*. *Theor. Appl. Genet.* 81: 806-811.
- CONTI, L. 1982. Bean germplasm evaluation from the collection at Monoprio (Como, Italy) in view of a breeding program for the improvement of the proteic content of the seed. *Genet. Agrar.* 36: 375-392.
- CIAT. 1995. Bean Program. Annual Report 1992. Cali, Colombia. Working Document 147. p. 13-27.
- DAVIS, J.H.C. AND EVANS, A.M. 1977. Selection indexes using plant type characteristics in navy beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agric. Res., Camb.* 89: 341-348.
- KORNEGAY, J.; WHITE, J.W. AND ORTIZ DE LA CRUZ, O. 1992. Growth habit and gene pool effect on inheritance of yield in common bean. *Euphytica* 62: 171-180.
- MUTSCHLER, M.A. AND BLISS, F.A. 1981. Inheritance of bean seed globulin content and its relationship to protein content and quality. *Crop Sci.* 21: 289-294.

- NIENHUIS, J. AND SINGH, S.P. 1988. Genetics of seed yield in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of Middle-American origin: II. Genetic variance, heritability and expected response from selection. *Plant Breed.* 101: 155-163.
- NODARI, R.O.; KOINANGE, E.M.K.; KELLY, J. AND GEPTS, P. 1992. Towards an integrated linkage map of common bean. I. Development of genomic DNA probes and levels of restriction fragment length polymorphism. *Theor. Appl. Genet.* 84: 186-192.
- PAREDES, M. 1994. Nuevos antecedentes a considerar en el programa de mejoramiento genético de frejol en Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 54: 302-309.
- PAREDES, M. AND GEPTS, P. 1995a. Extensive introgression of Middle American germplasm into Chilean common bean cultivars. *Genet. Res. & Crop Evol.* 42: 29-41.
- PAREDES, M. AND GEPTS, P. 1995b. Segregation and recombination in inter-gene pool crosses of *Phaseolus vulgaris* L. *J. Hered.* 86: 98-106.
- SINGH, S.P. 1989a. Patterns of variation in cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Econ. Bot.* 43: 39-57.
- SINGH, S.P.; CAJIAO, C.; GUTIÉRREZ, J.A.; GARCÍA, J.; PASTOR-CORRALES, M.A. AND MORALES, F.J. 1989b. Selection for seed yield in inter-gene pool crosses of common bean. *Crop Sci.* 29: 1126-1131.
- SINGH, S.P.; GEPTS, P. AND DEBOUCK, D. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Econ. Bot.* 45: 379-396.
- SINGH, S.P.; SAINDON, G.; VANDERBERG, A.; SLINKARD, A.; BRICK, M.A.; SCHWARTZ, H.; ACOSTA-GALLEGOS, J.; ROSAS, J.C. AND PAREDES, M. 1996. Sources of adaptation and earliness in common bean for higher latitude environments in the Americas. *Bean Improv. Coop.* 39: 207-208.
- SMITH, J.D. AND KINMAN, M.L. 1965. The use of parents-offspring regression as an estimator of heritability. *Crop Sci.* 6: 595-597.
- WALLACE, D.H. 1985. Physiological genetics of plant maturity, adaptation, and yield. *Plant Breed. Rev.* 3: 21-167.
- WHITE, J.W. AND GONZÁLEZ, A. 1990. Characterization of the negative association between seed yield and seed size among genotypes of common bean. *Field Crop Res.* 23: 159-175.
- WHITE, J.W.; KORNEGAY, J.; CASTILLO, J.; LOLANO, C.H.; CAJIAO, C. AND TEJEDA, G. 1992a. Effect of growth habit on yield of large-seeded bush cultivars of common bean. *Field Crop Res.* 29: 151-161.
- WHITE, J.W.; SINGH, S.P.; PINO, C.; RÍOS, B.M.J. AND BUDDENHAGEN, I. 1992b. Effects of seed size and photoperiod response on crop growth and yield of common bean. *Field Crop Res.* 28: 295-307.
- ZIMMERMAN, M.J.; ROSIELLE, A.A. AND WAINES, J.G. 1984. Heritabilities of grain yield of common bean in sole crop and in intercrop with maize. *Crop Sci.* 24: 641-644.
- ZIMMERMAN, M.J.; ROSIELLE, A.A.; WAINES, J.G. AND FOSTER, K.W. 1984. A heritability and correlation study of grain yield, yield components, and harvest index of common bean in sole crop and intercrop. *Field Crop Res.* 11: 109-118.