

NUEVOS ANTECEDENTES A CONSIDERAR EN EL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENETICO DE FREJOL EN CHILE¹

New information to be considered in a bean breeding program in Chile

Mario Paredes C.²

S U M M A R Y

Bean is an important crop cultivated mainly by small and medium farmers. This species like other traditional crops faces competition and profitability problems as compared with other crops. One way to approach this problem is to: by producing higher yielding varieties, reducing production cost, increasing quality and incorporating industrial processes to the product. This paper reviews the current aims of the Bean Breeding Program at INIA, analyzes the new information available and suggests a new strategy to develop new bean cultivars.

Key words: bean, production, germplasm, breeding methods, gene pools, genetic recombination.

INTRODUCCION

El fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) juega un papel importante en la agricultura nacional, desde el punto de vista económico, social, nutricional y agronómico.

El objetivo de este trabajo es revisar la información técnica más relevante generada en los últimos años, la cual puede servir como antecedente para incorporar nuevos criterios de selección en el programa de mejoramiento genético de esta especie.

El trabajo se divide en cuatro partes. En primer lugar se presentan algunos antecedentes técnicos sobre el sistema de producción de fréjoles en Chile y los objetivos del Programa de Mejoramiento Genético del INIA; en la segunda parte, se presenta un análisis de la información técnica más relevante que está directamente relacionada con los problemas y objetivos planteados anteriormente; en tercer lugar, se discute el estado de avance y potenciales aportes de nuevas técnicas y metodologías, tales como: cultivo de tejidos, mapa de ligamiento y marcadores moleculares; y en cuarto lugar, se plantean algunas líneas de trabajo relacionadas con la nueva estrategia planteada.

SISTEMAS DE PRODUCCION

El fréjol, en nuestro país, se cultiva desde Arica (18° 28' lat. S) hasta Chiloé (42° 29' lat. S). Sin embargo, aproximadamente, el 90% de la producción comercial de fréjoles, se concentra en la zona central (V y VI Región) y centro-sur (VII a VIII Región) del país. El fréjol es cultivado, principalmente, por medianos y pequeños agricultores con rendimientos promedios nacionales que fluctúan entre 1.100 a 1.300 kg/ha (ODEPA, 1992). El nivel tecnológico usado en la producción de fréjoles es bajo y variable dependiendo de la zona. Este aspecto está caracterizado por un alto uso de mano de obra, especialmente, en las labores de control de malezas y cosecha, lo cual incide fuertemente en la rentabilidad del cultivo y en la realización oportuna de las labores. El nivel de mecanización, uso de semilla de buena calidad, fertilizantes, y prácticas recomendadas de riego es bajo y variable, dependiendo de la zona, tipo de agricultor, sistema de producción de la empresa agrícola y expectativas de precios (Miranda y Belmar, 1977; Paredes, y otros, 1983; Gallardo y Paredes, 1990; Longeri y otros, 1992; Tapia y otros, 1992).

En algunas zonas del país (Santiago a Talca) el sistema de segunda siembra de fréjoles, después de trigo, ha tenido cierta aceptación en los últimos años (Gabriel Bascur B., INIA, comunicación personal). Sin embargo, esta práctica se podría extender hasta la zona de Chillán (Del Canto y otros, 1987, 1988), si existiera una mayor cantidad de variedad

¹Recepción de originales: 22 de marzo de 1994.

²Centro Regional de Investigación Quilamapu (INIA), Casilla 426, Chillán, Chile.

des precoces (90 días de siembra a cosecha). Estas variedades deberían cubrir un amplio número de clases comerciales, ya que la variabilidad en la demanda del mercado internacional para diferentes tipos de fréjol es bastante grande.

En el país, la producción de fréjoles está, principalmente, destinada a la producción de grano seco (60 a 120 mil ha); sin embargo, una pequeña, pero importante, superficie (10 mil ha) está dedicada a la producción para "verde" y "granado", especialmente en la zona central del país (ODEPA, 1992). Esta zonificación de la producción hortícola de fréjoles se debe a las cercanías de los grandes centros de consumo y a los mejores precios obtenidos por estos productos por su condición de primores. Sin embargo, esta situación podría cambiar drásticamente dada la creciente industrialización de estos productos (por ejemplo, congelados, enlatados).

Los principales tipos de fréjoles consumidos en el país son "tortola" y "coscorrón", los cuales constituyen una clase comercial única en el mundo pertenecientes al "pool" de genes Andino N° 10 (Singh, 1989) y a la raza Chile (Singh y otros, 1991a). Además de los tipos coscorrón y tortola, los agricultores siembran otras clases comerciales de fréjoles, los cuales están destinados principalmente a la exportación, tales como: "negro", "arroz", "great northern", "pinto", "cranberry", "cristal" y "kidney", dependiendo de las condiciones internacionales del mercado. En este sentido, el Programa de Leguminosas de Grano del INIA ha entregado a los agricultores una serie de variedades de fréjol que han venido a suplir las necesidades del mercado interno y de exportación (Bascur y Herrera, 1986; Bascur y Tay, 1990; Tay y otros, 1982a; b; c; 1986).

La cantidad y severidad con que las enfermedades atacan el fréjol en nuestro país no es tan grave comparado con otros países. Estos son diferentes razas del mosaico común y amarillo (Alvarez, 1977; Alvarez y Ziver, 1965; Bruna y Urbina, 1976; Alvarez y Sepúlveda, 1982; Herrera y Sepúlveda, 1986). Sin embargo, en las últimas temporadas se ha detectado la presencia de otros virus (Paulina Sepúlveda R., INIA, comunicación personal), atacando a la planta de fréjol en la zona central del país. La presencia de estos nuevos patógenos está siendo evaluada en otras zonas del país, para cuantificar su magnitud y poder tomar algunas medidas tendientes a contrarrestar su daño, si las condiciones técnico-económicas así lo justifican.

Entre las plagas más importantes que atacan al fréjol están *Delia platura* (Quiroz, 1987), *Acanthoscelides obtectus* (Dell'Orto, 1981) y en algunas localidades y bajo condiciones especiales de

manejo, *Epinotia aporema*, *Rachiplusia nu*, y *Empoasca curveola* (Gerding y otros, 1988a, b).

Objetivos del programa de mejoramiento genético de fréjol. Frente a los problemas que enfrenta la producción de fréjoles en el país, el programa de mejoramiento de fréjoles del INIA se planteó los siguientes objetivos: incorporar resistencia a los virus del mosaico común y amarillo del fréjol; aumentar el potencial y estabilidad del rendimiento; mejorar el hábito de crecimiento de la planta de tipo III postrado a un tipo II erecto; obtener una precocidad adecuada según la zona del cultivo (90 a 110 días de siembra a cosecha); y mantener la calidad culinaria típica de cada clase comercial.

Estrategias, métodos y factores a considerar en el mejoramiento genético del fréjol

Estrategias de mejoramiento. En fréjoles existe una gran diversidad de colores, formas y tamaños de grano que influyen fuertemente en la preferencia de los consumidores. Esta situación ha llevado a los mejoradores a trabajar y seleccionar padres mejorantes dentro de determinadas clases comerciales para obtener resultados positivos en el corto plazo. Sin embargo, la escasa diversidad (distancia) genética existente entre los padres seleccionados ha significado obtener sólo pequeños aumentos de rendimiento en la especie (Kelly y Adams, 1987; Singh, 1991; Singh y otros, 1992a; 1993).

En fréjol, la presencia de heterosis ha estado asociada, frecuentemente, con diferencias en hábito de crecimiento, tamaño de semilla y otras características (Fooland y Bassiri, 1983; Ghahderi y otros, 1982; Nienhuis y Singh, 1986; Paredes y Hosfield, 1990).

Históricamente, los mejoradores de fréjol han usado varias estrategias para mejorar el rendimiento de esta especie. La estrategia más usada ha sido la de mejorar la estabilidad del rendimiento a través del desarrollo de cultivares resistentes a los principales factores limitantes, especialmente bióticos. En el caso de nuestro país esta estrategia ha estado encaminada, fundamentalmente, a incorporar resistencia genética contra las diferentes razas del virus del mosaico común y amarillo del fréjol (Cafati y Alvarez, 1975; Herrera y Bascur, 1986; France y Paredes, 1987; Paredes y otros, 1989).

Otra estrategia usada por el Programa de Mejoramiento de fréjol del Estado de Michigan, ha estado basada en la búsqueda de un tipo ideal de planta (Adams, 1982). A pesar del mejor rendimiento observado en estas variedades en Michigan (Izquierdo y Hosfield, 1983; Kelly y otros, 1987;

Paredes y Hosfield, 1989), esta estrategia no ha sido usada ampliamente en otros programas de mejoramiento de fréjol, debido a la falta de información cuantitativa sobre la contribución de algunas características morfológicas y fisiológicas al rendimiento de grano del fréjol y a la necesidad de desarrollar diferentes ideotipos para optimizar los sistemas de producción en que se cultiva esta especie (Coyne, 1980).

Una tercera estrategia, propuesta por Singh (1991a), plantea la necesidad de mejorar directamente por rendimiento e incluir la selección de padres pertenecientes a diferentes razas y pool de genes en los programas de hibridaciones, para ampliar la base genética de las futuras variedades (Singh y otros, 1989; 1992a; 1993).

Métodos de mejoramiento. Al parecer, ninguno de los métodos (por ejemplo, pedigree, retrocruza), usados hasta ahora, ha logrado aumentar sustancialmente el potencial de rendimiento del fréjol (Sullivan y Bliss, 1983; Nienhuis y Singh, 1986, 1988a, b; McClean y Myers, 1990) y/o su eficiencia en el uso de los insumos. Sin embargo, estos métodos han sido bastante importantes en aumentar la estabilidad del rendimiento de la especie.

Dada la complejidad que tiene el objetivo de aumentar el rendimiento en grano del fréjol, los métodos de mejoramiento que podrían tener una mayor posibilidad de éxito en esta tarea, son aquellos de carácter cíclico, como selección recurrente y retrocruzas consanguíneas. Estos métodos permiten la constante acumulación de genes favorables y la extracción de materiales mejorados en diferentes etapas del mejoramiento, sin afectar la estrategia general del programa (Kelly y Adams, 1987; Singh y otros, 1992a, 1993).

Factores genéticos. El potencial de rendimiento en fréjol está determinado principalmente por el hábito de crecimiento de la planta, tamaño de la semilla, precocidad, condiciones ambientales (fotoperíodo, temperatura, humedad), sistema de cultivo, manejo agronómico, nivel y eficiencia de los insumos aplicados.

Algunos estudios realizados para evaluar el efecto del hábito de crecimiento sobre la estabilidad y el rendimiento en fréjol han sido contradictorios. Por ejemplo, Adams (1982) y Laing y otros (1984), informaron de un efecto positivo del hábito sobre el rendimiento y estabilidad (Beaver y otros, 1985; Kelly y otros 1987), mientras que White y otros (1992), no detectó efecto alguno del hábito de crecimiento sobre el rendimiento en fréjol.

A pesar de estos informes discrepantes, es posible concluir que las variedades erectas, tipo II, poseen varias ventajas agronómicas deseables, comparadas con aquéllas de hábito de crecimiento postrado, tipo III. Por ejemplo, variedades erectas permiten realizar siembras más densas, un mejor control de malezas, una cosecha mecanizada y obtener una mejor calidad de semilla (menor cantidad de granos manchados y ausencia de hongos), especialmente en épocas de cosecha lluviosas.

En fréjol, el número y largo de los entrenudos (altura de la planta), está directamente relacionada con el rendimiento en grano (Nienhuis y Singh, 1985). Sin embargo, tallos muy altos, con entrenudos largos, producen plantas débiles con una excesiva tendencia a la tendedura. En cuanto al tamaño de semilla, comparaciones realizadas entre genotipos de diferente tamaño de semilla, indican que este último parámetro y rendimiento en grano están correlacionados negativamente (Beaver y otros, 1985; Nienhuis y Singh, 1986; Kelly y otros, 1987; White y González, 1990; White y otros, 1992).

Bajo condiciones óptimas de crecimiento, el rendimiento en grano y días de siembra a madurez, están positivamente correlacionados (Laing y otros, 1984). Es así como la selección de variedades muy precoces podría significar la obtención de variedades de bajo potencial de rendimiento (White y Singh, 1991). Sin embargo, este tipo de variedades precoces podría tener una buena aceptación bajo condiciones especiales, como, por ejemplo, en cultivos de segunda siembra y/o bajo condiciones de escasa disponibilidad de agua.

En fréjol, el fotoperíodo afecta no sólo el inicio de la floración sino también la producción, a través del rendimiento en grano, peso seco de la planta, índice de cosecha y precocidad (Wallace, 1985; White y Laing, 1989). Es así como la sensibilidad al fotoperíodo está relacionada con menores valores de rendimiento, peso seco e índice de cosecha (White y otros, 1992).

Estudios realizados para evaluar el efecto del tamaño de semilla, respuesta al fotoperíodo y rendimiento, concluyeron que genotipos de semilla pequeña, e insensibles al fotoperíodo, eran más productivos, que variedades de semilla mediana a grande y sensibles al fotoperíodo, especialmente en localidades calurosas (White y Laing, 1989).

En conclusión, se puede mencionar que los fréjoles de mayor potencial de rendimiento, bajo condiciones tropicales y subtropicales, son aquellos que poseen semilla pequeña, insensibles al fotoperíodo,

precocidad intermedia y hábito de crecimiento erecto. Si el comportamiento de la especie se mantiene en forma similar bajo condiciones templadas, significaría que para hacer mejoramiento genético en fréjoles chilenos, con semilla mediana a grande, se tendría que hacer un gran esfuerzo para transferir aquellas características relacionadas con mayor una productividad desde los fréjoles de grano pequeño a los fréjoles de tamaño mediano a grande. Esta transferencia de genes implicaría el uso de genotipos que pertenecen a diferentes razas y pool de genes.

Recombinación genética entre pool de genes. Otro problema que enfrenta el mejoramiento del fréjol, es la dificultad en la transferencia de genes dentro de la misma especie. Datos morfológicos y moleculares han demostrado que existen actualmente dos centros principales de origen del fréjol: centro americano y el andino (Gepts y Bliss, 1985; Gepts y otros, 1986; Koenig y Gepts, 1989a; Chase y otros, 1991; Khairallah y otros, 1990; Becerra y Gepts, 1994) y una zona de transición comprendida entre el sur de Colombia y el norte de Perú (Debouck y otros, 1993) y diferentes razas (Singh y otros, 1991b).

Estudios de diversidad genética en fréjol indican que la mayor diversidad genética en rendimiento, componentes de rendimiento, características agronómicas (Gepts y Bliss, 1986; Gepts y otros, 1986; Singh y otros, 1989); bioquímicas (Singh y otros, 1991a; 1991c) y moleculares (Chase y otros 1991; Nodari y otros, 1992; Becerra y Gepts, 1994; Khairallah y otros, 1990), se encuentran ubicadas en variedades que pertenecen a diferente pool de genes. Por lo tanto, cualquier mejoramiento genético tendiente a ampliar la base genética de nuestras variedades y a la incorporación de características tales como alto índice de cosecha, hábito de crecimiento erecto y alto potencial de rendimiento, deberá tomar en cuenta la posible transferencia de genes desde el pool de genes mesoamericano (Singh y otros, 1989; Singh y otros, 1992a, b).

Diferentes autores (Singh y Gutiérrez, 1984; Gepts y Bliss, 1985; Koinange y Gepts, 1992) han informado sobre la presencia de diversos niveles de incompatibilidad en diferentes cruzamientos de fréjol. Estudios realizados a nivel molecular indicaron que esta incompatibilidad estaría relacionada con la posible formación de dos especies de fréjol (Gepts y Bliss, 1985; Koinange y Gepts, 1992). Además de este problema de incompatibilidad, el mejoramiento genético de la especie también se ha visto enfrentado a la existencia de ligamentos genéticos entre diferentes caracteres morfológicos, que han limitado el avance genético en la especie. Por

ejemplo, hábito de crecimiento y tamaño de semilla (Kelly y Adams, 1987), tamaño de semilla y rendimiento y otros caracteres morfológicos (Ram y Prasad, 1985; Leakey, 1988). Por otro lado, la presencia de segregación distorsionada, observada en análisis de segregación de marcadores moleculares en cruzas distantes (Koenig y Gepts, 1989b; Nodari y otros, 1993a, Koinange, 1992; Paredes, 1993), hace suponer que existen algunas zonas del genoma del fréjol que presentan niveles diferenciales de recombinación. En este sentido, sería interesante confirmar estas observaciones, localizar las regiones "problemáticas", y conocer la información genética presente en estas áreas, para, así, poder seleccionar adecuadamente los padres mejorantes en los programas de mejoramiento.

Basados en los problemas mencionados anteriormente, los mejoradores de fréjol han propuesto y usado diferentes métodos para superar el bajo nivel de recombinación en la especie como son: retrocruza, cruzamientos triples, modificaciones a los cruzamientos dobles, "top cross" (Singh, 1982), uso de puentes genéticos (Singh y Gutiérrez, 1984), "inbred backcross" (Osborn y otros, 1986), selección recurrente fenotípica (Kelly y Adams, 1987), y "congruity backcross" (Haghighi y Asher, 1988).

Nuevos aportes al mejoramiento del fréjol

Sistemas de regeneración en fréjoles. Algunos órganos y células de la planta de fréjol no responden positivamente a la regeneración *in vitro*, por lo cual, los métodos usados deben ser perfeccionados. En este aspecto, todavía existen algunas barreras técnicas que necesitan ser estudiadas y eliminadas para poder usar estas técnicas en forma rutinaria. La regeneración de plantas en fréjol a través de protoplastos u otros medios, podría permitir la introducción y manipulación de genes de importancia agronómica, como ha sido posible en otras especies dicotiledóneas. Por ejemplo, resistencia a herbicidas en tabaco y resistencia a virus e insectos en tomates. En esta misma línea de trabajo, el uso de cultivo de embriones podría ayudar también en la transferencia interespecífica de genes (Kuboyama y otros, 1991).

Mapa de ligamento y marcadores moleculares

Los mapas publicados incluyen marcadores moleculares (RFLPs, RAPDs), bioquímicos (isoenzimas y proteínas de almacenaje), genes que confieren resistencia a enfermedades (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* y virus del mosaico común), algunos genes que determinan fijación de nitrógeno (Nodari y otros, 1993a, b), y genes que controlan algunos factores agronómicos, tales como: reducida

dormancia, largo y ancho de las vainas, y peso de las semilla (Koinange, 1992).

El uso de estos mapas de ligamento podría ser de gran utilidad para el mejoramiento de la especie, ya que permitirían ubicar y manipular genes que estén controlando características de importancia agronómica (Vallejos y otros, 1992; Koinange, 1992; Nodari y otros, 1993a, b) y que son difíciles de manipular por medios convencionales. En estos momentos se han identificado, y se están usando en el mejoramiento genético del fréjol, RAPDs ligados a genes de resistencia a roya en fréjol (Haley y otros, 1993; Miklas y otros, 1993) y algunas razas del mosaico común del fréjol (James Kelly, Michigan State University, comunicación personal). Otro uso posible de los marcadores moleculares está en la caracterización de germoplasma (Paredes y Gepts, 1994), variedades comerciales (Bassiri y Adams, 1978a;b; Brothers y Kelly, 1993), transferencia de genes desde diferentes especies y detección de híbridos interespecíficos (Kuboyama y otros, 1991).

CONCLUSIONES

La complejidad de esta situación, los nuevos conocimientos generados en los últimos años, la

potencial reducción en el intercambio de tecnologías, producto de patentes y una fuerte competencia por los mercados actuales y futuros, nos indica que existe una gran necesidad que el programa de mejoramiento genético de fréjol sea capaz de: 1) generar información básica y aplicada sobre diferentes aspectos productivos de la especie; 2) considerar e integrar la información existente respecto a: a) la estructura genética de la especie (pool de genes y razas), b) factores genéticos, tales como: incompatibilidad, recombinación, segregación distorsionada, habilidad combinatoria, marcadores moleculares, y c) métodos de mejoramiento que le permitan explotar y capitalizar al máximo posible la variabilidad genética existente en la especie; 3) definir una nueva estrategia para elevar el potencial de rendimiento y reducir los costos de producción; 4) abordar más eficientemente el estudio de diversos aspectos agronómicos que ayuden a expresar el potencial productivo de la especie; y 5) estrechar los vínculos con la agroindustria para diversificar el consumo y explorar nuevas necesidades (por ejemplo, variedades, productos elaborados) y/o mercados que logren incorporar un mayor valor agregado al producto y una mayor estabilidad en la producción.

RESUMEN

El fréjol es un cultivo bastante importante para los pequeños y medianos agricultores del país. Este cultivo al igual que otras especies tradicionales enfrenta problemas de competitividad y rentabilidad. Una manera de enfrentar estos problemas desde el punto de vista técnico es producir cultivares de mayor rendimiento, reducir costos de producción, mejorar la calidad del grano y lograr algún grado

de industrialización del producto. En este trabajo se discuten algunas alternativas técnicas para abordar este problema desde el punto de vista del mejoramiento genético.

Palabras claves: fréjol, producción, germoplasma, métodos de mejoramiento, "pool" de genes, recombinación genética.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, M.W. 1982. Plant architecture and yield breeding. Iowa State J. Res. 56: 225-254.
- ALVAREZA., MARIO. 1977. Determinación de hipersensibilidad al mosaico común del fréjol en hojas amputadas y factores genéticos que condicionan su herencia. Agricultura Técnica (Chile) 37: 19-24.
- ALVAREZA., MARIO y SEPULVEDA R., PAULINA 1982. Determinación de una raza necrótica del virus del mosaico común del poroto en Chile. Agricultura Técnica (Chile) 42: 61-66.
- ALVAREZA., MARIO y ZIVER M, ABRAHAM. 1965. El "Strain" N.Y. 15 de mosaico común del fréjol en Chile. Agricultura Técnica (Chile) 25: 171.
- BASCUR G., GABRIEL y HERRERA G., GUIDO. 1986. Coscorrón-Granado INIA: Nueva variedad de poroto para consumo en vaina granada. Agricultura Técnica (Chile) 46: 217-220.
- BASCUR B., GABRIEL y TAY U., JUAN. 1990. Palomo-INIA: Nueva variedad de fréjol blanco para exportación. Agricultura Técnica (Chile) 50: 394-396.
- BASSIRI, A. and ADAMS, M.W. 1978a. An electrophoretic survey of seedling isozymes in several *Phaseolus* species. Euphytica 27: 447-459.
- BASSIRI, A. and ADAMS, M.W. 1978b. Evaluation of bean cultivar relationships by means of isozymes electrophoretic patterns. Euphytica 27: 707-720.

- BEAVER, J.S., PANIAGUA, C.V., COYNE, D.P. and FREY-TAY, G.F. 1985. Yield stability of dry bean in the Dominican Republic. *Crop Sci.* 25: 923-926.
- BECERRA, V.L. and GEPTS, P. 1994. RFLP diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris*) in its centres of origin. *Genome* 37: 256-263.
- BROTHERS, M.E. and KELLY, J.D. 1993. Allozyme evaluation of upright common bean genotypes. *Euphytica* 67: 65-70.
- BRUNA DE TOSSO, ALICIA y URBINA DE VIDAL, CECILIA. 1976. Presencia del virus mosaico amarillo del fréjol en Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 36: 19-24.
- CAFATI K., CLAUDIO y ALVAREZ A., MARIO. 1975. Mejoramiento en fréjoles (*Phaseolus vulgaris* L.) y su strain N.Y. 15. *Agricultura Técnica (Chile)* 35:152-156.
- CHASE, C.D., ORTEGA, V.M. and VALLEJOS, C.E. 1991. DNA restriction fragment length polymorphism correlate with isozyme diversity in *Phaseolus vulgaris*. *Theor. Appl. Genet.* 81: 806-811.
- COYNE, D.P.A. 1980. Modification of plant architecture and crop yield breeding. *Hort. Sci.* 15: 244-247.
- DEBOUCK D., TORO, O., PAREDES, O.M., JOHNSON, W., and GEPTS, P. 1993. Genetic diversity and ecological distribution of *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) in northwestern South America. *Econ. Bot.* 47: 408-423.
- DELL'ORTO T., HORACIO. 1981. Infestación de fréjoles por medio de huevos y primeros estadios larvarios de bruco *Acanthoscelides obtectus* (Say) Coleoptera Bruchidae. *Agricultura Técnica (Chile)* 41: 103-104.
- DEL CANTO S., PEDRO., PAREDES C, MARIO, GERDING P., MARCOS y GALLARDO A., IVAN. 1987. Producción de frejoles en segunda siembra después de trigo en la provincia de Ñuble. Trabajo presentado a las XXXVIII Jornadas Agro-nómicas. Linares, Chile. *Simiente* 57: 90.
- DEL CANTO S., P., PAREDES C., M., MANRESA M., J., RI-QUELME S., J. y GALLARDO A., I. 1988. El fréjol como alternativa de segunda siembra. In: *Perspectivas del cultivo del fréjol. Investigación y Progreso Agropecuario Est. Exp. Quilamapu (Chillán), Serie Quilamapu* 7: 35-41.
- FOOLAND, M.R. and BASSIRI, A. 1983. Estimates of combining ability, reciprocal effects and heterosis for yield and yield components in common bean diallel cross. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 100: 103-108.
- FRANCE I., ANDRES y PAREDES C, MARIO. 1987. El mosaico común del poroto: La principal enfermedad del cultivo. *Investigación y Progreso Agropecuario. Quilamapu* 34: 20-24.
- GALLARDO A., IVAN y PAREDES C., MARIO. 1990. Efecto de la frecuencia de riego, fertilización nitrogenada y fosfórica en fréjoles (*Phaseolus vulgaris* L.) *Agricultura Técnica (Chile)* 50: 374-378.
- GEPTS, P. and BLISS, F.A. 1985. F₁ hybrid weakness in the common bean: Differential geographic origin suggests two gene pools in cultivated bean germplasm. *J. Hered.* 76: 447-450.
- GEPTS, P. and BLISS, F.A. 1986. Phaseolin variability among wild and cultivated common beans (*Phaseolus vulgaris*) from Colombia. *Econ. Bot.* 40: 469-478.
- GEPTS, P., OSBORN, T.C., RASKA, K. and BLISS, F.A. 1986. Phaseolin-protein variability in wild forms and landraces of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Evidence for multiple centers of domestication. *Econ. Bot.* 40:451-468.
- GERDING P., MARCOS, PAREDES C., MARIO y FIGUEROA E., ANA. 1988a. Pérdidas en fréjoles causados por *Rachiplusia nu* Guenée (Lepidoptera: Noctuidae) y *Empoasca curveola* Oman (Homóptera:Cicadellidae) en la VII y VIII regiones. Trabajo presentado a las XXXIX Jornadas Agro-nómicas. *Simiente* 58: 21.
- GERDING P., MARCOS, PAREDES C., MARIO y FIGUEROA E., ANA. 1988b. Control de langostinos y cuncunillas en el cultivo del fréjol: control biológico y manejo integrado de plagas de fréjol. *Investigación y Progreso Agropecuario Quilamapu* 38: 8-11.
- GHADERI, A., ADAMS, M.W. and SEATLER, A.W. 1982. Environmental response patterns in commercial classes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *Theor. Appl. Genet.* 63: 17-22.
- HAGHIGHI, K.R. and ASHER, P.D. 1988. Fertile intermediate hybrids between *Phaseolus vulgaris* and *P. acutifolius* from congruity backcrossing. *Sex Plant Reprod.* 1: 51-58.
- HALEY, S.D., MIKLAS, P.N., STAVELY, J.R., BYRUM, J. and KELLY, J. 1993. Identification of RAPD markers linked to a major rust resistance gene block in common bean. *Theor. Appl. Genet.* 86: 505-512.
- HERRERA G., GUIDO y BASCUR B., GABRIEL. 1986. Bases del programa de mejoramiento genético de poroto en el INIA. *Agricultura Técnica (Chile)* 46: 203-207.
- HERRERA G., GUIDO y SEPULVEDA R., PAULINA. 1986. Determinación de una nueva raza del mosaico amarillo del fréjol en Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 46: 137-142.
- IZQUIERDO, J. and HOSFIELD, G. 1983. The relationship of seed filling to yield among dry bean with differing architectural forms. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108: 106-111.
- KELLY, J.D. and ADAMS, M.W. 1987. Phenotypic recurrent selection in ideotype breeding in pinto beans. *Euphytica* 36: 69-80.
- KELLY, J.D., VARNER, G.V. and ADAMS, M.W. 1987. The effect of different dry beans growth habit on yield stability. *Ann. Rep. Bean. Improv. Coop.* 29: 58-59.
- KHAIRALLAH, M.M., ADAMS, M.W. and SEARS, B. 1990. Mitochondrial polymorphism of Malawian bean lines: Further evidence for two major gene pools. *Theor. Appl. Genet.* 80: 753-761.

- KOENIG, R. and GEPTS, P. 1989a. Allozyme diversity in wild *Phaseolus vulgaris*: Further evidence for two major centers for genetic diversity. *Theor. Appl. Genet.* 78: 809-817.
- KOENIG, R. and GEPTS, P. 1989b. Segregation and linkage of genes for seed proteins, isozymes and morphological traits in common bean (*Phaseolus vulgaris*). *J. Herd.* 80: 455-459.
- KOINANGE, E.M.K. 1992. Genetic differentiation between wild and cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Univ. California, Davis. 134 p. (Thesis Ph.D.).
- KOINANGE, E.M.K. and GEPTS, P. 1992. Hybrid weakness in wild *Phaseolus vulgaris* L. *J. Hered.* 83: 135-139.
- KUBOYAMA, T., SHINTAKU, Y. and TAKEDA, G. 1991. Hybrid plant of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. lunatus* L. obtained by means of embryo rescue and confirmed by restriction endonuclease analysis of rDNA. *Euphytica* 54: 177-182.
- LAING, D.R.L., JONES, P.G. and DAVIS, J.H.C. 1984. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: P.R. Goldsworthy and N.M. Fisher (ed.). *The physiology of tropical field crops*. Wiley, N.Y. p.: 305-351.
- LEAKEY, C.L.A. 1988. Genotypic and phenotypic markers in common bean. In: P. Gepts (ed.). *Genetic resources of Phaseolus beans*. Academic Publishers. Dordrecht, Holland. p.: 245-328.
- LONGERI S., LUIS, VIDAL P., AGUSTIN, SCHENKEL S., GOTARDO y HERRERA O., ALFONSO. 1992. Estado nutricional y nodulación de siembras de fréjol de la VIII región de Chile. *Agricultura Técnica*. 52: 330-335.
- MCCLEAN, P. and MYERS, J. 1990. Pedigrees of the dry bean cultivar lines and PI's. *Annu. Rep. Bean Improv. Coop.* 33: XXV-XXX.
- MIKLAS, P.N., STAVELEY, J.R. and KELLY, J. 1993. Identification and potential use of a molecular marker for rust resistance in common bean. *Theor. Appl. Genet.* 85: 745-749.
- MIRANDA N., OSCAR y BELMAR N., CIRO. 1977. Déficit hídrico y frecuencia de riego en fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultura Técnica* (Chile) 37: 111-116.
- NIENHUIS, J. and SINGH, S.P. 1985. Effects of location and plant density on yield and architectural traits in dry beans. *Crop. Sci.* 25: 579-584.
- NIENHUIS, J. and SINGH, S.P. 1986. Combining ability analysis and relationships among yield, yield components and architectural traits in dry bean. *Crop Sci.* 26: 21-27.
- NIENHUIS, J. and SINGH, S.P. 1988a. Genetics of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of Middle-American origin. I. General combining ability. *Plant Breed.* 101: 143-154.
- NIENHUIS, J. and SINGH, S.P. 1988b. 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.D., 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.
- NODARI, R.O., TSAI, S.M., GILBERTSON, R.L. and GEPTS, P. 1993a. Towards an integrated linkage map of common bean. II. Development of an RFLP-based linkage map. *Theor. Appl. Genet.* 85: 513-520.
- NODARI, R.O., TSAI, S.M., GUZMAN, P., GILBERTSON, R.L. and GEPTS, P. 1993b. Towards an integrated linkage map of common bean. 3. Mapping genetic factors controlling host-bacteria interactions. *Genetics* 134: 341-350.
- ODEPA - OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS. 1992. Estadísticas silvoagropecuarias 1987-1992. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.
- OSBORN, T.C., BLAKE, T., GEPTS, P. and BLISS, F.A. 1986. Bean arcelin. 2. Genetic variability, inheritance and linkage relationships of a novel seed protein of *Phaseolus vulgaris* L. *Theor. Appl. Genet.* 71: 347-355.
- PAREDES, M. 1993. Genetic diversity, segregation and recombination in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Univ. de California, Davis. 133 p. (Thesis Ph.D.).
- PAREDES C., MARIO y HOSFIELD, GEORGE. 1989. Estudio del hábito de crecimiento, arquitectura de la planta, precocidad y llenado de grano y su relación con el rendimiento en grano, en porotos. *Agricultura Técnica* (Chile) 49: 97-103.
- PAREDES, M. y HOSFIELD, G. 1990. Habilidad combinatoria general y específica de algunas características morfológicas, rendimiento en grano y componentes de rendimiento en frejoles (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agro-Ciencia* 5: 5-11.
- PAREDES, M. and GEPTS, P. 1994. Extensive introgression of Middle American germplasm into Chilean bean cultivars. Aceptado para publicar en *Genet. Res. & Crop. Ev.*
- PAREDES, M., FRANCE, I.A. y BASCUR, G. 1989. Desarrollo, evaluación y uso del germoplasma de fréjol común en Chile. En: CIAT (ed.). *Progreso en la investigación y producción de fréjol común*. Cali, Colombia. p.: 333-343.
- PAREDES, M., TAY, J., ORMEÑO, J. y MALDONADO, I. 1983. Prospección de tecnología en la producción de frejoles (*Phaseolus vulgaris* L.) en el área Curicó-Bío-Bío. Trabajo presentado a las XXXIV Jornadas agronómicas. Chillán, Chile. *Simiente* 53 (3-4): 126.
- QUIROZ E., CARLOS. 1987. Control químico de la mosca de la semilla, *Delia platura* (Meig.) (Dip., Anthomyiidae), en porotos. *Agricultura Técnica* (Chile) 47: 372-377.
- RAM, H.H. and PRASAD, N.B. 1985. Linkage among genes for growth habit, plant height, pod size and pod shape in *Phaseolus vulgaris* L. *Annu. Bean Improv. Coop.* 12: 14-17.
- SINGH, S.P. 1982. Alternative methods to backcross breeding. *Annu. Rep. Bean Improv. Coop.* 25: 11-12.

- SINGH, S.P. 1989. Patterns of variation in cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). Econ. Bot. 43: 39-57.
- SINGH, S.P. 1991. Breeding for seed yield. In: A. van Schoonhoven and O. Voyset (eds). Common beans: Research for crop improvement. CAB International, Wallingford, UK. p.: 383-429.
- SINGH, S.P. and GUTIERREZ, J.A. 1984. Geographical distribution of the D11 and D12 gene causing hybrid dwarfism in *Phaseolus vulgaris* L., their association with seed size, and their significance to breeding. Euphytica 33: 337-345.
- SINGH, S.P., GEPTS, P. and DEBOUCK, D. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae). Econ. Bot. 45: 379-396.
- SINGH, S.P., GUTIERREZ, J.A., MOLINA, A., URREA, C. and GEPTS, P. 1991a. Genetic diversity in cultivated common bean: Marker-Based analysis of morphological and agronomic traits. Crop Sci. 31: 23-29.
- SINGH, S.P., NODARI, R.O. and GEPTS, P. 1991c. Genetic diversity in cultivated common bean: Allozymes. Crop Sci. 31: 19-23.
- SINGH, S.P., MOLINA, A., URREA, C.A., and GUTIERREZ, J.A. 1993. Use of interracial hybridization in breeding the race Durango common bean. Can. J. Plant Sci. 73: 785-793
- SINGH, S.P., URREA, C.A., MOLINA, A., and GUTIERREZ, J.A. 1992a. Performance of small-seeded common bean from the second selection cycle and multiple-cross intra-and interracial populations. Can. J. Plant Sci. 72: 735-741.
- SINGH, S.P., TERAN, H., MOLINA, A. and GUTIERREZ, J.A. 1992b. Combining ability for seed yield and its components in common bean of Andean origin. Crop Sci. 32: 81-84.
- SINGH, S.P., CAJIAO, C., GUTIERREZ, J.A., GARCIA J., PASTOR-CORRALES, M.A. and MORALES, F. 1989. Selection for yield in inter-gene pool crosses in common bean. Crop Sci. 29: 1.126-1.131.
- SULLIVAN, J.G. and BLISS, F.A. 1983. Recurrent mass selection for increases seed yield and seed protein percentage in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using a selection index. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108: 42-46.
- TAPIA F., FRANCISCO, BASCURB., GABRIEL y BARRALES V., LUIS. 1992. Adaptación de variedades comerciales de frejol en la zona centro-norte de Chile. Agricultura Técnica (Chile) 52:90-96.
- TAY U., JUAN, PAREDES C., MARIO y KRAMM., VICTOR. 1982a. BLANCO-INIA. Nueva variedad de poroto resistente al mosaico común y amarillo. Investigación y Progreso Agropecuario Quilamapu 12: 19-20.
- TAY, U.J., PAREDES, C.M. and KRAMM, M.V. 1982b. TORTOLA-INIA. A new cultivar resistant to common and yellow mosaic. Annu. Rep. Bean Improv. Coop. 25: 68-69.
- TAY, U.J., PAREDES, C.M. y KRAMM, M.V. 1982c. FRUTILLA-INIA, Red Mexican y Blanco-INIA. Nuevas variedades de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.), para Chile. Trabajo presentado a las XXXIII Jornadas Agronómicas. Santiago, Chile. Simiente 52: 13.
- TAY, U.J., FRANCE, I.A. and PAREDES, C.M. 1986. New Chilean bean cultivars. Cuyano-INIA, Araucano-INIA y Suaves-INIA. Annu. Rep. Bean Improv. Coop. 29: 134.
- VALLEJOS, C.E., SAKIYAMA, N.S. and CHASE, C. 1992. A molecular marker-based linkage map of *Phaseolus vulgaris* L. Genetics 131: 733-740.
- WALLACE, D.H. 1985. Physiological genetics of plant maturity, adaptation and yield. Plant Breed. Rev. 3:21-167.
- WHITE, J.W. and GONZALES, 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., MOLINA, C.H., CAJIAO, C. and TEJEDA, G. 1992. Effect of growth habit on yield of large-seeded bush cultivars of common bean. Field Crop Res. 29: 151-161.
- WHITE, J.W. and LAING, D.R. 1989. Photoperiod response of flowering in diverse genotypes of common bean (*P. vulgaris*). Field Crop Res. 22: 113-128.
- WHITE, J.A. and SINGH, S.P. 1991. Sources and inheritance of earliness in tropically adapted indeterminate common bean. Euphytica 55: 15-19.