

MEJORAMIENTO DE FRIJOL COMUN (Phaseolus vulgaris L.) POR
RENDIMIENTO EN ASOCIACION

María José de Oliveira Zimmermann*

Resumen

A pesar de la industrialización creciente, de la mayor modernización y tecnificación de la agricultura, y a pesar del hecho que las investigaciones siempre se han concentrado en los monocultivos, los cultivos múltiples siempre representarán una buena proporción de la producción de frijol, especialmente en zonas tropicales, debido a razones económicas, técnicas y sociales.

Entre los investigadores de frijol, los mejoradores siempre han sido cuestionados sobre su trabajo, porque la mayoría del mejoramiento se ha efectuado en monocultivo.

El presente trabajo trata algunos resultados de la literatura en cultivos múltiples, intentando responder las preguntas que se presentan generalmente a los mejoradores, siendo las conclusiones: 1 - El germoplasma desarrollado para monocultivo puede ser bueno para asociación, pero eso no es siempre verdadero. 2 - Se desconoce como deben ser las plantas de frijol, para adaptarse a la asociación, pero la resistencia a las enfermedades es importante en todos los sistemas. 3 - Debido a algunos objetivos incompatibles, los programas especiales de mejoramiento por asociación quizás no sean una buena opción en general. 4 - Un enfoque

* Mejoradora de Frijol, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijao (CNPAP), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Rod. GYN 12, Km. 10, Caixa Postal 179, 74000 Goiania, Goiás, Brasil.

mejor puede ser un esquema combinado de selección, donde la selección en generaciones tempranas se hace en monocultivo, examinando las mejores líneas de cada especie en asociación, en todas las combinaciones de líneas superiores de las especies, tomando las decisiones de distribución de cultivares con base en la producción promedio de todos los sistemas examinados.

Introducción

El frijol común (Phaseolus vulgaris L.) es una leguminosa anual autógama, a menudo cultivada en asociación con otras especies de plantas, en particular donde se practica la agricultura de subsistencia (Wiley y Osiru, 1972). En las especies que se cultivan de forma múltiple, el arreglo espacial y la densidad relativa entre ellas, pueden variar con las localidades y agricultores. Más comúnmente, el frijol se cultiva de forma múltiple con maíz, pero también con café, sorgo, yuca, caña de azúcar y otros cultivos.

Se entiende como cultivos múltiples la siembra de dos o más cultivos simultáneamente en el mismo campo, donde la competencia entre ellos ocurre durante todo o parte del ciclo de crecimiento de las plantas (Andrews y Kassam, 1976). El término más general "cultivos múltiples" se refiere a todos los sistemas que incluyen el cultivo de dos o más especies en el mismo campo en un año.

No hay cifras claras sobre cuánta área sembrada con frijol está cultivada de forma múltiple en cualquier país, pero se estima que cerca del 70% de la producción de frijol en América Latina viene de asociación y que la especie acompañante es generalmente maíz (Pinchinat et al., 1976).

Con el mayor movimiento hacia la industrialización en los países del mundo en desarrollo, el trabajo agrícola va disminuyendo paulatinamente y las prácticas agrícolas están cambiando para aumentar la eficiencia de la

agricultura en su totalidad. Como consecuencia de esto, las zonas de cultivos múltiples tenderán a disminuir. Este sistema es de uso intensivo de la tierra y de la mano de obra. Se proyecta que el descenso continuará hasta alcanzar un "punto de equilibrio". Dicho punto es desconocido no obstante; sin embargo, en las zonas tropicales el cultivo múltiple probablemente será siempre importante para la producción del frijol común. Hay muchas razones para que esto ocurra. Algunas de ellas son:

- a) Los cultivos múltiples son una práctica de conservación del suelo muy eficiente debido a la explotación de diferentes capas del suelo gracias a las diferentes profundidades alcanzadas por los sistemas radiculares de las dos o más especies de cultivos.
- b) Donde la luz de sol no es un factor limitante, la temperatura es alta y la disponibilidad de agua no siempre es ideal, un cultivo más alto como maíz o sorgo, puede reducir los problemas de calor y estrés de agua para un cultivo más pequeño como frijol, por la sombra que el cultivo más alto hace y también por su efecto de rompe-viento. Dicho efecto puede reducir las pérdidas de agua por transpiración en el cultivo de menor tamaño.
- c) Los cultivos múltiples son sistemas más seguros y más estables de explotación agrícola que el cultivo único, para áreas pequeñas con inversiones y disponibilidad laboral bajas. Si fracasa un cultivo, el otro todavía puede dar algún rendimiento (Andrews, 1974; Willey y Osiru, 1972).
- d) Los cultivos múltiples permiten la producción de dos o más cultivos al mismo tiempo y en la misma área (diversificación de dietas).

Aunque se acepta que los cultivos múltiples son importantes para la producción de frijol común en todos los países donde el frijol es un producto agrícola importante, las investigaciones siempre se han centrado

sobre el monocultivo y el desarrollo de germoplasma siempre se ha efectuado bajo este sistema. Pocos intentos se han hecho para seleccionar cultivares para asociación (Francis et al., 1976) y en la mayoría de casos fueron sobre asociaciones de frijol voluble-maíz, que tienen ventajas obvias porque el maíz proporciona el apoyo necesario para las plantas de frijol, que de otro modo debe ser proporcionado por estacas (Davis et al., 1980). Sin embargo, la mayoría de los agricultores que cultivan frijol con maíz, prefieren tipos de plantas arbustivas porque facilitan la cosecha.

Por muchos años, los fitogenetistas han sido cuestionados acerca de su trabajo en relación a cultivos múltiples. Las preguntas principales son:

- I - ¿El germoplasma que fue desarrollado para monocultivo, será siempre bueno para cultivos de forma múltiple?
- II - ¿Cómo diferirá el germoplasma que fue seleccionado para monocultivo del germoplasma desarrollado para asociación?
- III - ¿Hay una necesidad de programas especiales de mejoramiento por cultivos múltiples?
- IV - ¿Cómo podrían los programas de mejoramiento de frijol enfocar la cuestión de cultivos múltiples?

I. ¿El Germoplasma Que Fue Desarrollado Para Monocultivo Será Siempre Bueno Para Asociación?

Varios artículos informan sobre los rendimientos de cultivares de frijol en monocultivo y en asociación con maíz. En la mayoría de casos los coeficientes de correlación entre los rendimientos en monocultivo y en asociación fueron positivos, altos y significativos (Cuadro 1). Estas correlaciones positivas han conducido a la conclusión que los cultivares que son buenos para monocultivo también pueden ser buenos para asociación.

Sin embargo, se ha registrado una significativa interacción de genotipo por sistemas de cultivo (Francis et al., 1978a). Paniagua (1977) halló que no todos los cultivares de frijol que son buenos en asociación eran también buenos en monocultivo.

Hamblin y Zimmermann (1986) indicaron que es posible calcular cuán exitosa puede ser la selección en un sistema (monocultivo o asociación) para el otro sistema, al clasificar los cultivares por rendimiento en cada sistema, aplicando una presión definida de selección (en su caso 33%) en un sistema y observando cuántos de los genotipos seleccionados estuvieron entre los 33% más altos en el otro ambiente. La eficiencia de selección (ES) en el ambiente alternativo se define como:

$$ES\% = \frac{\text{no. seleccionado en sistema alternativo} - \text{no. esperado por azar}}{\text{no. elegido en sistema de selección} - \text{no. esperado por azar}} \times 100$$

El número esperado por azar, se calcula asumiendo que habría la misma probabilidad de tomar al azar buenos genotipos para el sistema alternativo entre los seleccionados, según sea la intensidad de selección. Por ejemplo: la prueba de Santa Cecilia y Ramalho (1982) incluyó 40 genotipos. Con una presión de selección de un 30% en monocultivo, se identificaron los 12 mejores genotipos para ese sistema. Siguiendo la racionalidad descrita, la probabilidad de haber tomado los mejores por azar, fue de $0,30 \times 12 = 3$. Entre los 12 que fueron seleccionados para monocultivo, había 7 que estuvieron en el grupo de los 12 superiores en asociación. El número esperado por azar fue nuevamente el mismo (3), porque nuevamente se calculó sobre los 12 superiores. Así la eficiencia de selección en ese caso fue:

$$ES\% = \frac{7 - \%}{12 - 3} \times 100 = 44\%$$

Lo que significa que sólo 44% de los genotipos que fueron seleccionados en un sistema fueron también seleccionados para el otro sistema, aunque el porcentaje de material seleccionado en un sistema que fue bueno para el otro (respuesta correlacionada) fue de 58%. Estos son porcentajes bajos considerando que había una correlación altamente significativa para rendimiento de frijol entre los dos sistemas de siembra.

El Cuadro 2, tomado de Hamblin y Zimmermann (1986), muestra la eficiencia de selección para asociación cuando se aplica una intensidad de selección de 33% en monocultivo. En sólo dos casos, la eficiencia de selección fue mayor que un 50%, pero este resultado se puede deber a la resistencia diferencial a las enfermedades de los cultivares. En el caso de Vieira y Aidar (1984), se correlacionaron datos de rendimiento y datos de antracnosis en monocultivo y en asociación. También, los datos de incidencia a las enfermedades en monocultivo se correlacionaron con los mismos datos en asociación, y los niveles de resistencia a la antracnosis para cada genotipo fueron similares a través de sistemas.

Los resultados son muy similares, en términos generales, para cultivos en relevo (siembra de frijol entre líneas de maíz cuando el maíz alcanza la madurez fisiológica) y para cultivos múltiples simultáneos. Aunque la competencia de cultivos se reduce en cultivos en relevo, porque las plantas de maíz no están creciendo activamente cuando se siembra el frijol, las correlaciones entre el rendimiento en cultivos en relevo y el monocultivo son positivas y bajas, y la eficiencia de selección a través de sistemas fue aún inferior que la asociación simultánea (Cuadro 3).

En conclusión, el germoplasma desarrollado para monocultivo no siempre será bueno para asociación, aunque puede ser bueno muchas veces. La

selección para resistencia a las enfermedades se puede practicar en el sistema más conveniente para expresión a las enfermedades, pero el rendimiento tiene que medirse en el mismo sistema en que se cultivará el germoplasma.

II. ¿Cómo Diferirá el Germoplasma Que Fue Seleccionado Para Monocultivo del Germoplasma Desarrollado Para Asociación?

Los parámetros de selección en frijol común varían con el programa y región para donde están siendo seleccionados. Generalmente para monocultivo, el frijol es seleccionado por resistencia a las enfermedades predominantes y a algunos estreses ambientales. Estas resistencias son útiles en todos los sistemas de siembra y se consideran de importancia igual para asociación y monocultivo. Es en los rasgos morfofisiológicos que se reflejará más la adaptación o no al cultivo múltiple. Algunos caracteres pueden ser más importantes para un sistema que para el otro, y en general algunos caracteres parecen ser de importancia especial al seleccionar para adaptación al cultivo múltiple pero ellos realmente no se comprenden.

Zimmermann et al. (1984b) han estudiado la importancia relativa de algunos caracteres en poblaciones segregantes en asociación y en monocultivo. Se informó que las mismas interacciones observadas para variedades también ocurrieron en poblaciones segregantes. En esos estudios de poblaciones segregantes, el índice de cosecha del frijol se relacionó negativamente con el rendimiento en monocultivo y positivamente en asociación y dichas correlaciones son no sólo fenotípicas sino también genéticas (Cuadro 4). Para todos los otros caracteres estudiados las correlaciones genéticas con rendimiento de granos fueron en la misma dirección para ambos sistemas, aunque para las correlaciones fenotípicas había algunos cambios de signo. Aquellas correlaciones indican que es importante, al seleccionar para rendimiento en asociación, evitar una reducción correlacionada en el índice de cosecha con el fin de no obtener

plantas con crecimiento vegetativo excesivo (Donald y Hamblin, 1976 y 1983).

Un análisis de "path coefficients" para componentes del rendimiento y para rendimiento de granos de frijol (Zimmermann et al., 1984b) indicó que la importancia de dichos componentes para el rendimiento de granos varió con el sistema (Cuadro 5), siendo el efecto directo del peso de 100 semillas más importante para la asociación que para el monocultivo y siendo opuesto el efecto directo del número de vainas por planta. También, para rendimiento de granos de progenies F_4 y F_5 derivadas de F_2 , las correlaciones genotípicas entre sistemas de cultivo (Zimmermann et al., 1984a) fueron mayores para los cruzamientos donde Dark Red Kidney 2602, (un cultivar de semilla grande, y de hábito determinado) fue uno de los progenitores, que para aquellos otros cruzamientos donde los progenitores fueron de semilla pequeña de hábitos indeterminados (Cuadro 6).

El tamaño de semilla mayor da a las plantas una ventaja competitiva porque tienen más reservas al comenzar el ciclo de vida (Black, 1958; Donald, 1963). En situaciones altamente competitivas, Hamblin (1975) también halló que el tamaño de la semilla se relacionaba positivamente con la capacidad competitiva medida como rendimiento de granos. Estas situaciones altamente competitivas incluyeron diferentes cultivares de la misma especie (Phaseolus vulgaris L.). Parece que la misma relación de tamaño de la semilla x capacidad competitiva existe cuando la competencia es impuesta por otra especie (como maíz) como los resultados de Zimmermann han demostrado.

Guazzelli (1975) evaluó líneas de frijol por su capacidad competitiva en mezclas, y aún entre líneas de frijol negras, de semilla pequeña, de hábitos indeterminados, se podían detectar diferencias. En un trabajo complementario, el mismo autor (1976), aplicó la selección por capacidad competitiva alta y baja en cuatro variedades de frijol (poblaciones), y obtuvo líneas que difirieron de las otras por su capacidad competitiva.

Posteriormente, aquellas líneas se examinaron en situaciones de asociación (Vieira y Aidar, 1984; Guazzelli y Kluthcouski, 1988), y algunas de las que dieron los mejores resultados para asociación fueron aquellas que habían sido seleccionadas por su alta capacidad competitiva en mezclas de frijol común, que es técnicamente un monocultivo porque incluye sólo una especie.

La ventaja de un cultivar de frijol más competitivo en asociación, sugiere que el ambiente no es explotado plenamente por los cultivares actuales, lo que significa que se pueden esperar ganancias a corto plazo por el perfeccionamiento de la capacidad competitiva del frijol. A medio y a largo plazo esto quizás no sea así porque el frijol se cultiva para su producción de semillas (crecimiento reproductivo) y la capacidad competitiva está relacionada con el crecimiento vegetativo (Donald y Hamblin, 1983). Donald y Hamblin (1983) sugieren que algunas características comunes a las líneas de alto rendimiento, adaptadas al monocultivo, hacen que las plantas sean pobres competidores pero el cultivo explota plenamente el ambiente. Aquellas características son:

- . Capacidad para responder a densidades altas
- . Resistencia al volcamiento
- . Hábito anual y crecimiento determinado
- . Mejor cubierta vegetal para intercepción eficiente de la luz
- . Alto rendimiento biológico
- . Alto rendimiento
- . Capacidad competitiva mínima entre plantas
- . Capacidad para responder a altos niveles nutricionales
- . Adaptación climática amplia

Algunas de estas características quizás no prueben ser tan buenas como otras para frijol, o sean difíciles de combinar, pero generalmente son valiosas. Davis y Garcia (1983) también sugirieron que los cultivares de frijol indeterminado con baja capacidad competitiva pueden tener también una ventaja para los cultivos múltiples.

En consecuencia la respuesta a "cómo difiere el germoplasma para monocultivo de aquel desarrollado para asociación" todavía no es clara. Ya que no hay un ideotipo claramente definido para cualquier situación, no se sabe en cuáles características deben diferir los cultivares uno de otro. Hay sólo indicaciones de algunos caracteres a los cuales se debe prestar atención, para evitar algunos efectos secundarios indeseables de la selección (como índice de cosecha reducido, o mayor tamaño de la semilla cuando se prefiere la semilla pequeña)

III. ¿Hay Una Necesidad de Programas Especiales de Mejoramiento Por Cultivos Múltiples?

Esta pregunta se abordó en el trabajo de Zimmermann (Zimmermann, 1983; Zimmermann et al., 1984a; Zimmermann et al., 1984b; Zimmermann et al., 1985) a través de estudios de efectos genéticos, heredabilidades, correlaciones y ganancias de selección para frijol en monocultivo y asociación con maíz bajo condiciones constantes. Un mayor número de efectos genéticos significativos (Zimmermann et al., 1985) se halló para el rendimiento de grano y el índice de cosecha de frijol cultivado en asociación con maíz que como monocultivo (Cuadro 7). Hamblin y Evans (1976) también habían hallado que los efectos epistáticos disminuyeron con la mayor densidad de siembra.

Zimmermann et al. (1984a), registraron heredabilidades unitarias estándar (Cuadro 8) que fueron más grandes para el rendimiento de grano del frijol en asociación que en monocultivo. En el mismo trabajo (Cuadro 9) se indicó que la selección directa para cada sistema fue más eficiente que la selección indirecta. Los efectos de la selección indirecta para asociación con base en la selección practicada en monocultivo fueron mucho más pequeños que los efectos de la selección directa y que los efectos de la selección en promedio de ambos sistemas. Los efectos de la selección indirecta para monocultivo con base en la selección en asociación, fueron variables y a veces más grandes que los efectos de la selección directa,

pero la selección basada en los promedios de ambos sistemas dió casi los mismos y a veces mejores resultados que la selección directa para monocultivo. Estos datos mostraron que aunque la selección sólo para asociación no se justificara, aún así la selección basada en los promedios de ambos sistemas puede mejorar la eficiencia de selección. En forma similar, Hamblin y Zimmermann (1986) también hallaron que la selección por rendimiento promedio de monocultivo y asociación fue siempre más eficiente para ambos sistemas de siembra que la selección en ambiente único para el sistema alternativo (Cuadro 10), y los promedios fueron un mejor criterio de selección para mejorar el rendimiento en ambos sistemas que la "tolerancia al estrés" definida como la diferencia entre rendimiento en monocultivo y en asociación. Estos autores llegaron a la conclusión que las líneas malas se pueden eliminar con base en sólo un sistema (por ejemplo monocultivo) pero la identificación final de las mejores líneas tiene que hacerse incluyendo todos los ambientes a que se deben adaptar. El frijol y el maíz, u otra especie cultivada de forma múltiple se cultiva en cada región geográfica no sólo en un sistema de cultivo, y las líneas recomendadas deben comportarse bien en todas o en la mayoría de las diferentes condiciones bajo las cuales se cultivan. También hay dudas, si un cultivar especialmente desarrollado para ser sembrado en condiciones de asociación sería el mejor enfoque para un programa de producción de semillas que tiene que seguir el mejoramiento de un cultivar nuevo.

De todo lo presentado surge como conclusión que los programas especiales de mejoramiento por asociación no serían justificables a menos que los cultivos múltiples sean casi el único sistema de siembra utilizado.

IV. ¿Cómo Podrían Enfocar los Programas de Mejoramiento de Frijol la Cuestión de Cultivos Múltiples?

En toda la discusión anterior se consideró sólo al frijol como el componente de interés de un sistema. Desde otro punto de vista, en el caso de la asociación frijol-maíz, el maíz generalmente no se afecta o sufre muy

poco con la competencia de la planta de frijol, sin embargo el frijol puede sufrir un descenso grave del rendimiento que puede alcanzar más del 80%. Además, hay interacciones de los cultivares de maíz y de frijol en función de los rendimientos de frijol, cuando se usan diferentes cultivares de maíz (Davis y Garcia, 1983; Ramalho et al., 1983). Harper (1967) y Fyfe y Rogers (1965) habían sugerido anteriormente que si dos especies se cultivan juntas, el mayor nivel de capacidad de combinación ecológica se logrará mediante el mejoramiento de ambos cultivos simultáneamente. Hamblin et al. (1976), había sugerido un método que permite efectuar esto, basado en un diseño dialélico. Hamblin y Zimmermann (1986) concluyeron que para obtener máximos rendimientos del cultivo en asociación, los fitogenetistas deben hacer mejoramiento por el sistema de cultivo en lugar de hacerlo para los componentes individuales.

Geraldi (1983) usó un enfoque dialélico con líneas de maíz y de frijol en combinación, cada una de ellas con todas las otras. Los rendimientos resultantes de cada cultivo se convirtieron en "producción equivalente" basada en las relaciones del precio de mercado de maíz-frijol, y se analizaron los datos como una adaptación del modelo de Gardner y Eberhart (1966) para cruzamientos dialélicos. Las mejores combinaciones de maíz-frijol fueron aquellas donde había grandes efectos generales de cultivos múltiples. En el caso de los cultivares de frijol, los mejores fueron aquellos que interfirieron menos con maíz (alta "habilidad combinatoria"). También ocurrieron algunas excepciones de alta habilidad combinatoria específica. El único problema con ésta y otras metodologías dialélicas es el tamaño de experimentos necesarios para examinar todas las combinaciones de las líneas de las dos especies. Para 10 líneas de frijol y 10 líneas de maíz, siendo 10 un número muy pequeño de líneas a considerar en cualquier programa de mejoramiento, se necesita una prueba de 100 tratamientos. Para cifras algo más grandes, pero todavía pequeñas, el tamaño experimental se torna demasiado grande para manejarse eficientemente.

Un enfoque más razonable sería, para todas las especies de interés, el trabajar en la selección en generaciones tempranas (fase de "screening") con un gran número de líneas en el sistema más simplificado (monocultivo), seguido por un ensayo posterior de un número mucho más pequeño de introducciones de las diferentes especies en todos los sistemas que se deben cultivar en la región, en todas las combinaciones posibles con las mejores líneas de las otras especies. Aumenta el trabajo solamente en las fases finales del programa. La decisión final sobre qué línea se debe nombrar y distribuirse para cada especie se debe tomar con base en el promedio de rendimiento de las líneas en todos los ambientes de ensayo. Para hacer ganancias rápidas de rendimiento en asociación, la selección en las etapas tempranas (monocultivo) se podría practicar a una alta densidad de siembra como la usada por Guazzelli (1976).

Con base en programas como el sugerido arriba, sería posible crear e identificar genotipos que funcionarían mejor en el promedio de un rango de diferentes sistemas de cultivo, pero en algunos casos, su comportamiento podría no ser tan bueno en cada uno de ellos como si se hubieran desarrollado especialmente para ese sistema desde el comienzo, aunque la diferencia quizás no sea tan grande para considerarse.

Conclusiones

Como comentarios finales, es importante apuntar lo siguiente:

El germoplasma de frijol desarrollado para monocultivo también puede ser bueno para asociación o para cultivo de relevo, pero esto no es siempre verdadero. Las interacciones existen y tienen que considerarse.

No hay una respuesta clara sobre cuán diferentes o cuán similares deben ser las líneas de frijol especialmente desarrolladas para asociación o para cultivo de relevo. No hay un ideotipo definido para esos sistemas. La capacidad competitiva parece dar una ventaja

inmediata de rendimiento a los genotipos cultivados en asociación pero la selección para aumentar la capacidad competitiva puede causar efectos secundarios indeseados que pueden disminuir la eficiencia de la planta para la producción de semillas. La resistencia a las enfermedades, por otro lado, es importante para todos los sistemas de cultivo.

Los programas especiales de mejoramiento, dedicados totalmente a la asociación no son una opción buena a menos que los cultivos múltiples sean el único sistema de siembra para los cultivos de una región.

Para todas las especies que se cultivan en una situación de asociación con frijol, la selección de generaciones tempranas se debe hacer en la situación más fácil de manejar (monocultivo) haciendo una evaluación final de las mejores líneas seleccionadas de cada especie en todos los sistemas y en todas las combinaciones entre ellos. Las decisiones finales sobre las variedades que se deben lanzar se deben basar en promedios a través de todos los sistemas de prueba.

Por último, pero no menos importante, los cultivos múltiples probablemente disminuirán en importancia en todo el mundo con el tiempo, pero en el futuro cercano (hasta el final del siglo por lo menos), es de este sistema que una proporción grande de producción de frijol vendrá. Hasta que no se desarrollen buenas máquinas para cosechar frijol, mientras existan agricultores pobres, con terrenos pequeños y sin sistemas costosos y sofisticados de producción, sin instalaciones de riego, el cultivo múltiple seguirá siendo responsable de una proporción significativa de la producción de frijol.

Bibliografía

- Andrews, D.J. 1974. Responses of sorghum varieties to intercropping.
Exp. Agr. 10:57-63.

- Andrews, D.J. and A.H. Kassam. 1976. The importance of multiple cropping in increasing world food supplies. In: Papendick, R.I.; Sanchez, P.A. and Triplett, G.B. (eds.). Multiple cropping, pp.1-11. A.S.A. Special Publ. 27, Amer. Soc. Agron., Madison, WI.
- Antunes, I.F. and M.G. Teixeira. 1982. Produtividade de genótipos de feijão em monocultivo e no cultivo associado com milho nas épocas das águas e da seca em Goiania, GO. In: EMBRAPA- Proc. 1a. RENAPE, 83-88.
- Black, J.N. 1958. Competition between plants of different initial seed sizes in swards of subterranean clover (Trifolium subterraneum L.) with particular reference to leaf area and the light microclimate. Aust. J. Agr. Res., 9:299-318.
- Chagas, J.M. and A.R.L. Aquino. 1981. Yield of climbing bean cultivars under two cropping systems. Ann. Rep. Bean Improv. Coop., 24:56-57.
- Davis, J.H.C., S. Garcia and G. Tejada. 1980. Selección en generaciones tempranas de frijoles volubles en asociación con maíz. XXVI Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMA)-Guatemala. 16pp.
- Davis, J.H.C. and S. Garcia. 1983. Competitive ability and growth habit of indeterminate beans and maize for intercropping. Field Crops Res. 6:59-75.
- Donald, C.M. 1963. Competition among crop and pasture plants. Adv. Agron., 15:1-118.
- Donald, C.M. and J. Hamblin. 1976. The biological yield and harvest index as agronomic and plant breeding criteria. Adv. Agron., 28:361-405.
- Donald, C.M. and J. Hamblin. 1983. The convergent evolution of annual seed crops in agriculture. Adv. Agron., 36:97-143.
- Francis, C.A., C.A. Flor and S.R. Temple. 1976. Adapting varieties for intercropped systems in the tropics. In: Papendick, R.I.; Sanchez, P.A. and Triplett, G.B. (eds.). Multiple cropping, pp.235-254. A.S.A. Spec. Publ. 27. Amer. Soc. Agron., Madison-WI.

- Francis, C.A., M. Prager, D.R. Laing and C.A. Flor. 1978a. Genotype x environment interactions in bush bean cultivars in monoculture and associated with maize. *Crop Sci.*, 18:237- 242.
- Francis, C.A., M. Prager and D.R. Laing. 1978b. Genotype x environment interactions in climbing bean cultivars in monoculture and associated with maize. *Crop Sci.*, 18:242- 246.
- Fyfe, J.L. and H.H. Rogers. 1965. Effects of varying variety and spacing on yields and composition of mixtures of lucerne and tall fescue. *J. Agr. Sci. (Cambridge)*, 64:351-359.
- Gardner, C.O. and S.A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics*, Raleigh, 22:439-452.
- Geraldi, I.O. 1983. Método de análise estatística para combinacao de cultivares em consórcio. Doctor Degree Thesis, ESALQ, USP, Piracicaba, SP, Brasil, 120pp.
- Guazzelli, R.J. 1975. Competicao intergenotípica em feijao (Phaseolus vulgaris L.): estimacao da capacidade competitiva. Master Degree Diss., ESALQ, USP, Piracicaba, SP, Brasil, 62pp
- Guazzelli, R.J. 1976. Competicao intergenotípica em feijao (Phaseolus vulgaris L.): estimacao de parâmetros genéticos. Doctor Degree Thesis, ESALQ, USP, Piracicaba, SP, Brasil, 88pp.
- Guazzelli, R.J. and J. Kluthcouski. 1988. Avaliacao de germoplasma de feijao (Phaseolus vulgaris L.) para o consórcio simultâneo com milho. EMBRAPA-CNPAF. Comunicado Técnico no. 21.F(no prelo).
- Hamblin, J. 1975. Effect of environment, seed size and competitive ability on yield and survival of Phaseolus vulgaris genotypes in mixtures. *Euphytica*, 24:435-445.
- Hamblin, J. and A.M. Evans. 1976. The estimation of cross yield using early generation and parental yields in dry beans (Phaseolus vulgaris L). *Euphytica*, 25:510-520.
- Hamblin, J., J.G. Rowell and R. Redden. 1976. Selection for mixed cropping. *Euphytica*, 25:97-106.

- Hamblin, J. and M.J.O. Zimmermann. 1986b. Breeding common bean for yield in mixtures. In: Janick, J. (ed.). Plant breeding reviews, 4:245-272. AVI Publ. Co. Westport, Conn.
- Harper, J.L. 1967. A Darwinian approach to plant ecology. J. Ecol. 55:247-270.
- Paniagua, C.V. 1977. Identification and stability analysis of traits important to yield of beans in associated culture. Ph.D. Thesis, Michigan State University, East Lansing, MI. 76pp.
- Pinchinat, A.M., J. Soria and R. Bazan. 1976. Multiple cropping in tropical America. In: Papendick, R.I.; Sanchez, P.A. and Triplett, G.B. (eds.). Multiple cropping. pp.51-62. A.S.A. Special Publ. 27. Amer. Soc. Agron., Madison, WI.
- Ramalho, M.A.P., A.C. Oliveira de and J.C. Garcia. 1983. Recomendacoes para o planejamento e análise de experimentos com as culturas de milho e feijao consorciadas. EMBRAPA- CNPMS. Documentos, 2. 74pp.
- Santa-Cecilia, F.C.S. and M.A.P. Ramalho. 1982. Comportamento de cultivares de feijao em monocultivo e em associacao com milho. Ciencia e Prática, 6:45-54.
- Serpa, J.E.S. and A.C. Barreto. 1982. Competicao de cultivares de feijao em consorciacao com o milho, nas micro regioes homogeneas 123 e 130 do Estado de Sergipe. EMBRAPA-UEPAE Aracaju. Pesquisa em Andamento No. 6. 6pp.
- Teixeira Monteiro, A.A., C. Vieira and C.C. Silva. 1981. Yields of twenty bean cultivars under two cropping systems. Ann. Rept. Bean Imp. Coop., 23:49-50.
- Vieira, R.F. and H. Aidar. 1984. Avaliacao de cultivares e linhagens de feijao em consórcio com o milho e em monocultivo. (EMBRAPA-CNPAF. Pesquisa em Andamento, 51). 7pp.
- Wiley, R.W. and D.S.O. Osiru. 1972. Studies on mixtures of maize and beans (Phaseolus vulgaris L.) with particular reference to plant population. J. Agr. Sci. (Cambridge), 79:517-529.

- Zimmermann, M.J.O. 1983. Genetic studies on common bean in sole crop and intercropped with maize. Ph.D. Dissertation. Univ. of California, Riverside, CA, 86pp.
- Zimmermann, M.J.O., A.A. Rosielle and J.G. Waines. 1984a. Heritabilities of grain yield of common bean in sole crop and in intercrop with maize. *Crop Sci.*, 24:641-644.
- Zimmermann, M.J.O., A.A. Rosielle, J.G. Waines and K.W. Foster. 1984b. A heritability and correlation study of grain yield, yield components and harvest index of common bean in sole crop and intercrop. *Field Crops Res.*, 9:109-118.
- Zimmermann, M.J.O., A.A. Rosielle, K.W. Foster and J.G. Waines. 1985. Gene action for grain yield and harvest index of common bean grown in sole crop and in intercrop with maize. *Field Crops Res.*, 12:319-329.

Cuadro 1. Correlación entre los rendimientos de cultivares de frijol en monocultivo y en asociación con maíz (Adaptado de Hamblin y Zimmerman, 1986).

No. de cultivares	r	Referencia	Comentarios	
19	0.88**	Francis et al., 1978a	Prueba 2	
20	0.51*	Francis et al., 1978a	Prueba 3	
17	0.72***	Francis et al., 1978a	Prueba 2	comunes
17	0.55*	Francis et al., 1978a	Prueba 3	cultivares
20	0.81***	Francis et al., 1978b	Prueba 2	
20	0.41 n.s.	Francis et al., 1978b	Prueba 3	
18	0.83***	Francis et al., 1978b	Prueba 2	comunes
18	0.54*	Francis et al., 1978b	Prueba 3	cultivares
59	0.66***	Antunes y Teixeira, 1982	Prueba 1	
64	0.54***	Antunes y Teixeira, 1982	Prueba 2	
34	0.69***	Antunes y Teixeira, 1982	Prueba 1	comunes
34	0.50***	Antunes y Teixeira, 1982	Prueba 2	cultivares
49	0.84***	Vieira y Aïdar, 1984		
40	0.65***	Santa-Cecilia y Ramalho, 1982	Año1	comunes
40	0.89***	Santa-Cecilia y Ramalho, 1982	Año2	cultivares
8	0.28 n.s.	Chagas y Aquino, 1981		
10	0.61 n.s.	Davis y Garcia, 1983	Maíz corto	
10	0.24 n.s.	Davis y Garcia, 1983	Maíz mediano	
10	0.41 n.s.	Davis y Garcia, 1983	Maíz alto	
9	0.43 n.s.	Serpa y Barreto, 1982	Sitio 1	comunes
9	0.91***	Serpa y Barreto, 1982	Sitio 2	cultivares
40	0.64***	Ramalho et al., 1983		
8	0.89***	Araujo, R.S. (comun. personal) N Aplicado		
8	0.43 n.s.	Araujo, R.S. (comun. personal) N Rizobial		

*, **, *** = significativo a los niveles de probabilidad de 5% , 1% y 0.1%, respectivamente.
n.s. = no significativo.

Cuadro 2. Efecto de la selección del 33% de los cultivares de mayor rendimiento en un ambiente sobre el número seleccionado en el ambiente alterno, y eficiencia de selección (Adaptado de Hamblin y Zimmermann, 1986).

No. cult.	No. sel.	No. amb. alt.	No. esper. azar	Sel. eff. %	Corr.	Referencia
19	6	4	2	50	0.88***	Francis et al., 1978a
20	6	2	2	0	0.51*	Francis et al., 1978a
20	6	3	2	25	0.81***	Francis et al., 1978b
20	6	1	2	25	0.41 n.s.	Francis et al., 1978b
59	20	13	7	46	0.66***	Antunes y Teixeira, 1982
64	21	13	7	43	0.54***	Antunes y Teixeira, 1982
49	16	14	5	82	0.84***	Vieira y Aídar, 1984
40	13	7	4	33	0.65***	Santa-Cecilia y Ramalho, 1982
40	13	11	4	78	0.98***	Santa-Cecilia y Ramalho, 1982
40	13	5	4	11	0.64***	Ramalho et al., 1983

*, *** = Significativo a los niveles de probabilidad de 5% y 1%, respectivamente.

n.s. = no significativo.

Cuadro 3 Correlaciones entre monocultivo y asociación o cultivo de relevo (Adaptado de Hamblin y Zimmerman, 1986)

Fuente datos	Coef. correl.	Comentarios	
Francis et al., 1978a	0.72***	Monocultivo x asociación simultánea,	prueba 2
Francis et al., 1978a	0.55*	Monocultivo x asociación simultánea,	prueba 3
Francis et al., 1978b	0.83***	Monocultivo x asociación simultánea,	prueba 2
Francis et al., 1978b	0.54*	Monocultivo x asociación simultánea,	prueba 3
Antunes y Teixeira, 1982	0.69***	Monocultivo x asociación simultánea,	prueba 1
Antunes y Teixeira, 1982	0.50**	Monocultivo x asociación simultánea,	prueba 2
Santa-Cecilia y Ramalho, 1982	0.65***	Monocultivo x asociación simultánea,	año 1
Santa-Cecilia y Ramalho, 1982	0.89***	Monocultivo x asociación simultánea,	año 2
Teixeira Monteiro et al., 1981	0.71**	Monocultivo x cultivo de relevo, localidad 1	
Teixeira Monteiro et al., 1981	0.29	Monocultivo x cultivo de relevo, localidad 2	
Antunes y Teixeira, 1982	0.33**	Monocultivo x cultivo de relevo, año 1	
Antunes y Teixeira, 1982	0.46***	Monocultivo x cultivo de relevo, año 2	

*, **, *** = Significativo a niveles de probabilidad de 5%, 1% y 0.1%, respectivamente.

n.s. = no significativo.

Cuadro 4. Correlaciones fenotípicas y genotípicas entre cuatro características del frijol común y rendimiento de grano en monocultivo y asociación (Adaptado de Zimmermann et al., 1984b).

Característica correlacionada con rendim. grano	Correlación genética		Correlación fenotípica	
	Asociación	Monocult.	Asociación	Monocult.
Número de vainas	3.58	1.30	0.34**	0.42 n.s.
Semillas/vaina	-0.95	0.14	0.21 n.s.	0.05 n.s.
Peso de 100 semillas	1.39	0.20	0.68**	0.06 n.s.
Índice cosecha	1.80	0.20	0.77**	0.11 n.s.

*, ** = Significativo a niveles de probabilidad de 5% y 1%, respectivamente.

n.s. = no significativo.

Cuadro 5. Análisis de "path coefficients" de los efectos del rendimiento de grano en los componentes de rendimiento de frijol cultivado en asociación con maíz y en monocultivo (Adaptado de Zimmerman et al., 1984b)

Tipo de efecto	Asociación	Monocultivo
Efecto de número total de vainas		
Efecto directo	0.451	1.115
Efecto indirecto via semillas/vaina	0.399	0.307
Efecto indirecto via peso de 100 sems.	-1.190	1.002
Correlación total	0.34**	0.42
Efecto de número semillas/vaina		
Efecto directo	0.782	0.472
Efecto indirecto via número de vainas	0.230	0.724
Efecto indirecto via peso de 100 sems.	-1.222	1.146
Correlación total	-0.21 n.s.	0.05 n.s.
Efecto de peso de 100 semillas		
Efecto directo	1.608	1.318
Efecto indirecto via número vainas	-0.334	0.847
Efecto indirecto via semillas/vaina	-0.594	0.411
Correlación total	0.68**	0.06 n.s.

*, ** = Significativo al nivel de probabilidad de 1%.
n.s. = no significativo.

Cuadro 6. Correlaciones genotípicas entre dos sistemas de cultivo para progenies F4 y F5 derivadas de F2 de tres cruzamientos (Adaptado de Zimmermann et al., 1984a).

Cruzas	Correlaciones
Dark Red Kidney 2602 x Turtle Soup 39	1,08
California Small White 7775 x Turtle Soup 39	0,41
Gloria x Turtle Soup 39	0,25
Todas las líneas	0,99

Cuadro 7. Modelos que se ajustan a los datos observados para rendimiento de grano e índice de cosecha de tres cruzamientos de frijol común. Los parámetros genéticos incluidos en los modelos mostraron valores estimados dos veces mayores que los estimativos de sus errores estándar (Adaptado de Zimmermann et al., 1985).

Cruzas	Modelos			
	Rend. grano		Índice cosecha	
	Asociac.	Monocult.	Asociac.	Monocult.
Dark Red Kidney 2602 x Turtle Soup 39	m+a-d+dd	m+ad	m-d+dd	m+a+aa
California Small White 7775 x Turtle Soup 39	m-a+d	m+d+ad	m-a+d+ad-dd	m+d
Gloria x Turtle Soup 39	m+d	m-a+d+aa	m+a+d+aa	m+a

m = valor promedio progenitores; a = efecto aditivo; d = efecto de dominancia; aa = epistasis aditivo por aditivo; ad = epistasis aditivo por dominante; dd = epistasis dominante por dominante.

Cuadro 8. Porcentaje de heredabilidades de unidad estándar por correlaciones entre rendimiento de grano de líneas de frijol F4 y F5 para dos sistemas de cultivo (Adaptado de Zimmermann et al., 1984a)

Cruzas	Heredabilidades %	
	Asociac.	Monocult.
Dark Red Kidney 2602 x Turtle Soup 39	53	51
California Small White 7775 x Turtle Soup 39	36	40
Gloria x Turtle Soup 39	50	28
Todas las líneas	60	54

Cuadro 9. Respuesta de selección realizadas (kg/ha) a una intensidad de selección de 40% para rendimiento de grano, expresada como desviaciones del promedio poblacional (Adaptado de Zimmermann et al., 1984).

Cruzas	Selección para asociación			Selección para monocultivo		
	Directa	Indirecta		Directa	Indirecta	
		En mono-cultivo	Sobre la media		En asociación	Sobre la media
Dark Red Kidney 2602 x Turtle Soup 39	78	29	45	53	67	49
California Small White 7775 x Turtle Soup 39	42	33	39	83	53	82
Gloria x Turtle Soup 39	53	12	52	43	-9	84
Todas las líneas	91	45	63	140	70	139

Cuadro 10. Porcentaje de eficiencia de selección de tres criterios de selección: rendimiento promedio $(M + A)/2$, tolerancia $(M-A)$ y selección de un solo ambiente (S) para el sistema alterno (Adaptado de Hamblin y Zimmermann, 1986).

Fuente	Criterios de selección	Ambientes de prueba		
		Monocult.	Asociación	Alterno
Antunes and Teixeira (1982)				
Año 1. Asociación simultánea	$(M+A)/2^*$	86	57	-
	$(M-A)$	-57	-29	-
	S	-	-	43
Año 2. Cultivo relevo	$(M+A)/2$	57	29	-
	$(M-A)$	-57	14	-
	S	-	-	14
Año 2. Asociación simultánea	$(M+A)/2$	86	57	-
	$(M-A)$	-29	0	-
	S	-	-	43
Año 2. Cultivo relevo	$(M+A)/2$	43	86	-
	$(M-A)$	-43	14	-
	S	-	-	29
Santa-Cecília y Ramalho (1982)				
Sitio 1. Asociación simultánea	$(M+A)/2$	78	66	-
	$(M-A)$	-22	33	-
	S	-	-	33
Sitio 2. Asociación simultánea	$(M+A)/2$	89	89	-
	$(M-A)$	-22	-22	-
	S	-	-	78

* M = rendimiento en monocultivo, A = rendimiento en asociación