BIBLIOTECA WILSON POPENOE
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 93
TEGUCIGALPA HONDURAS

Evaluación de germoplasma de frijol por tolerancia a suelos con bajos niveles de fertilidad

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura.

presentado por

Cinthya K. Martínez Rodríguez

MICROFICHA:
FECHA:
ENCARGADO:

Zamorano, Honduras
Abril, 1999

BIBLIOTECA WILSON POPENOE
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 93
TEGUCIGALPA HONDURAS

#959
copia

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme ser quien soy, gracias a la vida y la oportunidad que me dió de terminar mis estudios.

A mi hijo Erick, porque la distancia fue un impulso para cumplir con una de las metas de mi vida, este trabajo está especialmente dedicado a tí.

A mi esposo, Rommel por su amor, comprensión y apoyo incondicional en los momentos más difíciles de estos años, sin su apoyo y sacrificio hubiera sido difícil terminar esta etapa.

A mis padres Elba y Jorge, por el amor y la confianza depositada en mi, por estar conmigo en los momentos más importantes de mi vida y que con la educación y valores me enseñaron a ver la vida de una manera diferente.

A mis hermanos Zolange, Jorge, Yamile por su comprensión y cariño en todo momento; a mi sobrino Andrés por su especial amor.

A mis abuelitas y tíos que siempre estuvieron pendientes de mí.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Juan Carlos Rosas, por su confianza y darme la oportunidad de realizar este proyecto. Gracias por su colaboración y apoyo en todo momento.

A la Ing. Aracely Castro, por su inmenso apoyo, sacrificio y ayuda incondicional, pero sobre todo gracias por la sincera amistad brindada en este tiempo.

A la Dra. Margoth Andrews, por la colaboración en la realización de este documento.

A los Ings. Edwin Flores y Nahún Valladares por su apoyo en la realización de este proyecto.

A Claudia, por el especial apoyo de amiga que me brindó en todos los momentos.

A mis amigos y compañeros de PIA por el apoyo demostrado en todo el tiempo que los necesité.

A mis compañeros del Departamento de Agronomía Pablo Zacarías, Pablo Bazán, Wolfgan Pejuán, María Bravo, Stefan Fleig y Paola Ortiz, por hacer momentos agradables en todo el tiempo de estudio.

A la familia Reconco-Euceda por estar siempre pendientes de mí, y por su continuo apoyo.

A la familia Flores por darme el cariño de padres en todo este tiempo y el calor de una familia.

A todo el personal del Programa de Investigación de frijol, por su ayuda en la conducción de la tesis.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Agradezco al Programa de Investigaciones de Frijol (PIF) y Proyecto de Puerto Rico Bean Cawpea por el financiamiento otorgado para realización de mis estudios en el Programa de Ingeniería Agronómica.

Agradezco a la Escuela Agrícola Panamericana y la Fundación W. K. Kellogg por el financiamiento brindado para culminar mis estudios en el Programa de Agrónomo.

RESUMEN

Martínez R., Cinthya 1999. Evaluación de germoplasma de frijol por tolerancia a suelos con bajos niveles de fertilidad. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Hond. 31 p.

El frijol constituye un alimento básico en la dieta de la mayoría de la población rural y urbana de escasos recursos en Honduras y Centroamérica. La producción de este rubro en Honduras se concentra en fincas de pequeños productores, que aportan el 57% de la producción nacional, bajo condiciones limitantes de suelo y clima que disminuyen notablemente sus rendimientos. El uso de fertilizantes es una alternativa para incrementar la productividad; sin embargo, por ser un cultivo de subsistencia el productor no dispone de los recursos necesarios para adquirir insumos en la cantidad necesaria. Otra alternativa sería el uso de variedades eficientes que tengan buenos rendimientos en condiciones limitantes de fertilidad. El objetivo de esta investigación es evaluar germoplasma de frijol tolerantes a baja fertilidad y determinar su valor potencial para el desarrollo de nuevas variedades con esta característica que ayude a incrementar los rendimientos. El estudio se realizó en dos etapas: 1) evaluación e identificación de genotipos en campo experimental (Zamorano); y 2) validación de genotipos en fincas. En la primera parte se evaluaron 16 genotipos bajo dos tratamientos de fertilización: 1) sin fertilización; y 2) fertilización recomendada. Se seleccionaron los genotipos G-3513 y A-774 (tolerantes a baja fertilidad) y G-6450 (susceptible). El comportamiento de estos genotipos se validó en la segunda etapa bajo condiciones de finca en diferentes localidades de la región Centro-oriental de Honduras, utilizando tres tratamientos de fertilización: 1) sin fertilización; 2) fertilización del agricultor; y 3) fertilización recomendada. El genotipo G-3513 (tolerante) resultó con mayor productividad en las diferentes condiciones de ambiente y fertilidad. Este genotipo puede ser una alternativa para la generación de nuevas variedades con características de tolerancia a suelos pobres, que ayudarían a mejorar los rendimientos en condiciones marginales de producción.

Palabras claves: suelos pobres, producción de frijol, tolerancia a baja fertilidad.

NOTA DE PRENSA

Tolerancia a suelos pobres, una alternativa en la producción de frijol

El frijol es considerado un alimento básico de la población hondureña y centroamericana. En Honduras la producción de frijol se concentra en fincas de pequeños agricultores, los que aportan más del 50% de la producción nacional. Este grano básico se siembra bajo condiciones limitantes, donde predominan los suelos pobres y la sequía, ocasionando que estos productores obtengan bajos rendimientos (menos de 600 kg/ha).

Se han realizado investigaciones para determinar niveles de fertilización adecuados que ayuden a incrementar los rendimientos; sin embargo, ésta no es la solución para los pequeños productores, ya que ellos no disponen del capital para invertir en insumos agrícolas. Otra alternativa, es el uso de variedades que puedan tener rendimientos aceptables bajo estas condiciones de baja fertilidad.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ha evaluado genotipos con tolerancia a baja fertilidad; gracias a esto, en la actualidad ya existen genotipos identificados con esta característica.

En la época de primera de 1998 el Programa de Investigaciones de Frijol evaluó en Zamorano 14 genotipos (reportados por CIAT como tolerantes) bajo dos tratamientos de fertilización, con el fin de identificar el genotipo que presentara esta característica de tolerancia a suelos pobres para poder utilizarla en el futuro en la generacion de variedades comerciales tolerantes a suelos pobres.

Se identificaron los genotipos G-3513 y A-774 (tolerantes) y G-6450 (susceptible). En época de postrera, se probó el comportamiento de estos genotipos en fincas de productores en zonas aledañas a Zamorano como Güinope y Morocelí.

Se comprobó la eficiencia de G-3513 para producir en suelos con baja fertilidad, debido a los rendimientos observados los cuales fueron superiores en todos los tratamientos.

La variabilidad del frijol es muy amplia y la identificación de este tipo de líneas tolerantes es una base importante para el fitomejoramiento y desarrollo de nuevas variedades comerciales que ayuden a los productores a incrementar su productividad, bajo las mismas condiciones de producción de los pequeños agricultores, contribuyendo así a mejorar el nivel de vida de la mayoría de estos productores.

CONTENIDO

	Portadilla	i
	Autoría	ii
	Páginas de firmas	iii
	Dedicatoria	iv
	Agradecimientos	v
	Agradecimiento a patrocinadores	vi
	Resumen	vii
	Nota de prensa	viii
	Contenido	ix
	Indice de Cuadros	x
	Indice de Figuras	xi
	Indice de Anexos	xii
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	REVISION DE LITERATURA	3
2.1	IMPORTANCIA DEL FRIJOL	3
2.2	PRODUCCION DE FRIJOL	4
2.3	ADAPTACIÓN DE PLANTAS	5
2.4	DESÓRDENES NUTRICIONALES	8
2.4.1	Deficiencia de nitrógeno	8
2.4.2	Deficiencia de fósforo	8
2.4.3	Deficiencia de potasio	9
2.4.4	Deficiencia de calcio	9
2.4.5	Deficiencia de magnesio	9
3	MATERIALES Y METODOS	11
3.1	EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE GENOTIPOS	11
3.1.1	Selección de terreno	11
3.1.2	Preparación de terreno y siembra	13
3.1.3	Diseño experimental	13
3.1.4	Fertilización	14
3.1.5	Cosecha	14
3.1.6	Datos obtenidos	14
3.2	VALIDACIÓN DE GENOTIPOS	15
3.2.1	Selección de suelos	15
3.2.2	Preparación de terreno y siembra	16
3.2.3	Diseño experimental	16
3.2.4	Fertilización	16
3.2.5	Cosecha	16
3.2.6	Datos obtenidos	16

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1	EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE GENOTIPOS	19
4.2	VALIDACIÓN DE GENOTIPOS	23
5.	CONCLUSIONES	25
6.	RECOMENDACIONES	26
7	BIBLIOGRAFÍA	27
8	ANEXOS	30

INDICE DE CUADROS

Cuadro

1. Número y superficie de explotaciones de frijol en Honduras, estratificados de acuerdo al tamaño de las fincas..... 3

2. Problemas pricipales de suelos ácidos infértiles de América Tropical (adaptado de Sánchez y Cochrane, 1980; citado por Rao,1997)..... 5

3. Mecanismos de adaptación de las plantas a estrés mineral..... 6

4. Niveles crítico y óptimo de los nutrimentos esenciales en la planta de frijol..... 10

5. Identificación, reservorio genético y raza, y característica de tamaño y color de grano de los genotipos utilizados en la primera etapa del estudio, bajo condiciones de buena tecnología. Zamorano, 1998..... 12

6. Características de suelos muestreados en Zamorano..... 13

7. Características de las localidades de la segunda etapa del estudio..... 15

8. Resultados de los análisis realizados a muestras de suelos de diferentes localidades aledañas a Zamorano..... 18

9. Resultados del ANOVA realizado para las variables de días a floración (DF), días a madurez (DM), número de vainas por planta (NVP), número de semillas por vaina (NSV), peso seco de 100 semillas (PSCS) en gramos y rendimiento de grano en kg/ha. Ensayo de primera, Zamorano,1998..... 20

10. Variaciones en el rendimiento de grano (kg/ha) e índice de tolerancia a baja fertilidad de 16 genotipos de frijol bajo dos tratamientos de fertilización. Ensayo de primera. Zamorano,1998..... 21

11. Resultados de análisis de correlación para las variables de número de vainas por planta (NVP), número de semillas por vaina (NSV), peseo seco de cien semillas (PSCS), índice de tolerancia y rendimiento. Ensayo de primera, Zamorano, 1998..... 23

12. Resultados del ANOVA realizado para las variables de número de vainas por planta (NVP), número de semillas por vaina (NSV), peso seco de cien semillas (PSCS) en gramos y rendimiento de grano en kg/ha. Ensayo de postrera, 1998..... 24

INDICE DE FIGURAS

Figura

1. Estrategias de adaptación de plantas a diferentes tipos de estrés..... 5

2. Comparación de rendimientos bajo dos tratamientos de fertilización de 16 genotipos de procedencia Andino y Mesoamericano..... 22

INDICE DE ANEXOS

Anexo

1. Variaciones en días a floración (DF) y días a madurez (DM) de 16 genotipos de frijol, bajo dos tratamientos de fertilización. Ensayo de primera. Zamorano, 1998..... 30

2. Variaciones en el número de vainas por planta (NVP), número de semillas por vaina (NSV), peso seco de cien semillas (PSCS) de 16 genotipos de frijol bajo dos tratamientos de fertilización. Ensayo de primera. Zamorano, 1998..... 31

1. INTRODUCCIÓN

El frijol constituye uno de los alimentos básicos en la dieta diaria de la mayoría de la población rural y urbana de escasos recursos de Centro América, debido a su alto valor nutricional (20-22% proteínas); junto con el maíz son las fuentes más económicas para suplir las necesidades de carbohidratos y proteínas en la región. El consumo de frijol en Honduras es de 11 kg/persona/año (FAO, 1992), mientras que el consumo *per cápita* anual a nivel centroamericano es de 9.8 kg, aunque este podría ser mayor si se aumenta la disponibilidad del grano durante todo el año (Rosas, 1998). De allí la importancia del cultivo en la economía de los países centroamericanos.

La mayor producción de frijol en países en desarrollo se genera por pequeños agricultores. El área total destinada a este cultivo en Honduras es de 98,293 ha, de las cuales el 40% corresponde a este estrato (fincas con área < 5 ha) (SECPLAN, 1994).

La producción de frijol se realiza en condiciones edáficas muy variables, en las que generalmente suelos con deficiencias nutricionales limitan los rendimientos. La mayoría de los pequeños productores siembran bajo estas condiciones, dando como resultado rendimientos inferiores (539 kg/ha) a los obtenidos bajo condiciones de alta tecnología (2,078 kg/ha) (Secretaría de Agricultura y Ganadería, Honduras, 1997).

Día a día, los avances en las ciencias agrícolas promueven la modificación de los sistemas de producción de cultivos de granos básicos, tratando de incrementar la producción y el rendimiento. Muchos de ellos se enfocan en la utilización de nuevas variedades resistentes a plagas y enfermedades; otros en estudiar niveles de fertilización que resulten en el incremento de la productividad. Sin embargo, este último puede ser complementado mediante el fitomejoramiento para obtener variedades con características deseables de tolerancia al estrés causado por la deficiencia de nutrimentos en el suelo.

En 1998, Singh desarrolló cruzamientos entre razas y acervos genéticos de frijol para evaluar su tolerancia a condiciones de baja fertilidad, identificando genotipos tolerantes a suelos de bajos pH, fósforo (P) y nitrógeno (N), y niveles de toxicidad de aluminio (Al) y manganeso (Mn).

El objetivo de realizar esta investigación y otras similares es identificar fuentes de germoplasma que presenten tolerancia a suelos bajos en fertilidad y validar estos genotipos a nivel de finca, pues se debe utilizar ambos ambientes en programas de selección para dar más respaldo a estos estudios. Disponiendo de fuentes deseables de tolerancia a baja

fertilidad, se pueden incorporar estas características a variedades comerciales, ya que el uso de cultivares mejorados es una de las mejores alternativas
tecnológicas para incrementar los rendimientos bajo condiciones limitantes.

Aunque una buena producción y productividad del cultivo de frijol contribuye a mejorar la seguridad alimentaria de la población hondureña, generalmente esto se logra con la incorporación de fertilizantes, cuyo uso por los pequeños agricultores es limitado debido a que no cuentan con los recursos económicos necesarios para invertir en la adquisición de insumos agrícolas. De ahí la necesidad de sembrar variedades mejoradasque puedan alcanzar rendimientos aceptables en suelos pobres y buena respuesta a dosis bajas de fertilizante, con el fin de incrementar la productividad del cultivo y el nivel económico de muchos productores.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar fuentes de germoplasma de frijol tolerantes a suelos con baja fertilidad y determinar su valor potencial para el desarrollo de nuevas variedades con esta característica.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar germoplasma diverso bajo diferentes niveles de fertilización.

2. Validar genotipos con tolerancia a baja fertilidad en condiciones de finca.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es principalmente un cultivo de pequeños agricultores en las regiones de América Latina, Africa y Asia, donde predominan países en proceso de desarrollo que generan aproximadamente el 77% de la producción mundial. Sin embargo, en países desarrollados el frijol es un cultivo de alta tecnología, representando un rubro de exportación que constituye el 23% de la producción mundial (Rosas, 1998).

2.1. IMPORTANCIA DEL FRIJOL

Entre las clases pobre y media de América Latina la importancia nutricional del frijol es tan alta como en Africa (Saborío y Beebe, 1997). El consumo actual percápita a nivel centroamericano es de 9.8 kg/año, pero se dice que este podría aumentar si se logra mejorar la producción e incrementar la disponibilidad del grano durante todo el año (Rosas, 1998). El frijol es un componente principal en la canasta básica de la mayoría de la población.

Según el Censo Nacional Agropecuario de 1994, una alta superficie destinada al cultivo de frijol en Honduras se encuentra en fincas menores de 5 hectáreas (Cuadro 1), lo que sugiere que es un cultivo de minifundios y de subsistencia. Estas parcelas aportan aproximadamente el 57% de la producción nacional (SECPLAN, 1994).

Cuadro 1. Número y superficie de explotaciones de frijol en Honduras, estratificados de acuerdo al tamaño de las fincas.

Estratos (ha)	Número de explotaciones	Porcentaje (%)	Superficie total (ha)	Porcentaje (%)
< de 3	47,138	41.3	25,433	25.9
de 3 a 5	19,365	16.9	15,838	16.1
de 6 a 20	31,921	27.9	31,485	32.0
de 21 a 50	9,762	8.5	11,881	12.1
> de 50	6,090	5.3	12,370	12.6
Total	114,276	100.0	98,293	100.0

Fuente: Censo Nacional Agropecuario, 1994. SECPLAN.

BIBLIOTECA WILSON POPENOE
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 93
TEGUCIGALPA HONDURAS

2.2. PRODUCCIÓN DE FRIJOL

El cultivo de frijol en América Latina y África se conduce en una amplia variedad de suelos, muchos de los cuales frecuentemente limitan el desarrollo de la planta y los rendimientos debido a deficiencias nutricionales.

Aunque la producción de frijol puede realizarse en una gran variedad de suelos con condiciones químicas y físicas muy variables, diferentes desórdenes nutricionales pueden limitar los rendimientos del cultivo. El cultivo de frijol es producido desde suelos lixiviados tropicales hasta los muy fértiles suelos aluviales (Sánchez y Cochrane, 1980; citado por Thung, 1991). En América Central y en el occidente de América del Sur, generalmente el frijol se produce en zonas de montaña donde predominan los Andisoles. Las deficiencias de P y N, y de algunos micronutrimentos como zinc (Zn) y boro (B), son las causas principales de baja fertilidad de los suelos y afectan el crecimiento y productividad del frijol (Flor y Thung, 1989).

Según Rao (1997), los bajos niveles de fertilidad junto con el estrés hídrico son generalmente las limitantes más importantes para la producción de frijol en las regiones en vías de desarrollo. Este importante grano básico se produce mayormente bajo condiciones de pequeña agricultura, donde predominan factores limitantes de suelo, clima, enfermedades y plagas que afectan la productividad del cultivo (Bazán, 1975).

En Honduras, los productores de granos básicos son aproximadamente 200,000; sin embargo, de estos, 190,000 son pequeños productores. En cuanto a tenencia de la tierra, sólo el 2% de los productores posee el 44% de la tierra agrícola (Moreno, 1994). El promedio de rendimiento de frijol en América Latina es aproximadamente 800 kg/ha, mientras que el potencial de rendimiento podría alcanzar 3000 kg/ha en frijol arbustivo y 6000 kg/ha en frijol voluble, diferencia que puede atribuirse a los factores mencionados (Thung, 1991).

Como en cualquier otro cultivo, la producción de frijol depende de factores internos y externos. Los factores internos son aquellos gobernados por el potencial genético de la planta, mientras que los externos son factores ambientales que varían grandemente de sitio a sitio.

Las demandas nutricionales del frijol son específicas, y no requieren únicamente que los suelos sean ricos en nutrimentos esenciales, sino también buenas propiedades físicas (Flor y Thung, 1989). El frijol es un cultivo exigente en cuanto a sus requerimientos. Flor (1994), propuso que el orden de extracción de los nutrimentos es N>K>Ca>S>Mg>P>Fe>Mn>Zn>Cu>B, y que los requerimientos nutricionales varían con el genotipo. Un requerimiento nutricional promedio para variedades de climas medios y cálidos es: N 136 kg/ha, potasio (K) 114 kg/ha, calcio (Ca) 54 kg/ha, azufre (S) 25 kg/ha, Mg 18 kg/ha y P 186 kg/ha.

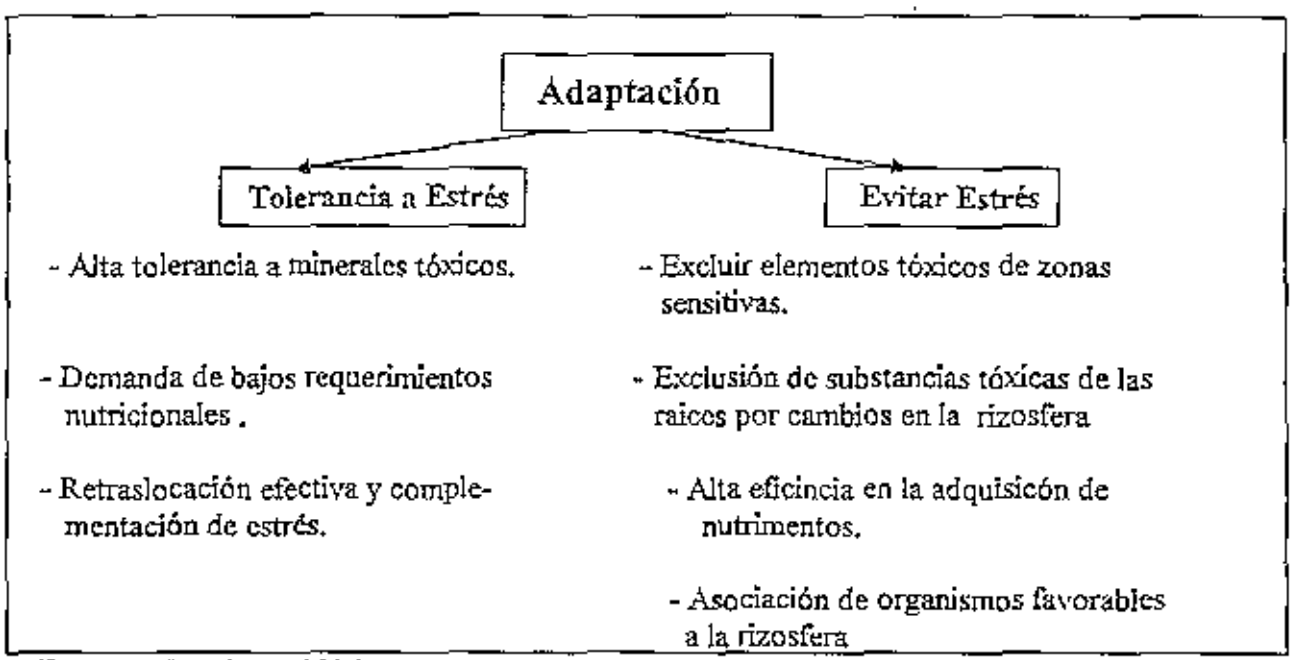
Elementos como el sodio y el aluminio son indeseables y aún en pequeñas cantidades son tóxicos (Flor y Thung, 1989).

Cuadro 2. Problemas principales de suelos ácidos infértiles de América Tropical (adaptado de Sánchez y Cochrane, 1980; citado por Rao, 1997).

Problema de suelo	Hectáreas (millones)	Área total (%)
Deficiencia de N	969	93
Deficiencia de P	1002	96
Deficiencia de K	799	77
Deficiencia de Ca	732	70
Deficiencia de Mg	739	70
Deficiencia de S	745	71
Deficiencia de Zn	645	62
Toxicidad de Al	756	72
Alta capacidad de fijación de P	672	64

2.3. ADAPTACIÓN DE PLANTAS

Adaptación de plantas es un término usado para definir los procesos conferidos por atributos genéticos que sirven a las plantas para "ajustarse" a condiciones de luz, temperatura y disponibilidad mineral y de agua (Rao, 1997).



Fuente: Marschner, 1995

Figura 1. Estrategias de adaptación de plantas a diferentes tipos de estres

Las plantas poseen diferentes mecanismos por medio de los cuales reducen el estrés provocado por factores abióticos. La Figura 1 muestra algunas de las estrategias de las plantas para adaptarse a ciertos tipos de estres. Según Marschner (1995), la rizosfera juega un papel muy importante en mecanismos de adaptación, ya que cambios en el pH de la misma, pueden disminuir toxicidades provocadas por Al y Mg. Las especies tolerantes se diferencian de las susceptibles por la capacidad que tienen las raíces de cambiar rápidamente el pH de la rizosfera. Las exudaciones de ácidos orgánicos de las raíces contribuyen a la tolerancia de ciertas sustancias tóxicas, debido a la capacidad que tienen de interactuar con las sustancias tóxicas. Estas exudaciones son mucho mayores en variedades tolerantes que susceptibles.

Las micorrizas son organismos con la capacidad de vivir en asocio con las raíces y son muy importantes para la adaptación a suelos bajos en P y altos en Al. Existen ciertos genotipos que en deficiencia de P la planta alarga su sistema radicular (Marschner, 1995).

La deficiencia de macronutrimentos en el suelo es muy importante, ya que disminuye notablemente sus rendimientos. Krieg (1993), señala que la eficiencia se mide por la cantidad de producto producido por unidad de insumo usado. La posibilidad de explotar las diferencias genotípicas en base a absorción y utilización de nutrimentos minerales para mejorar la eficiencia del uso de fertilizantes o para obtener altas productividades en suelos deficientes a estos nutrimentos ha recibido considerable atención en los últimos años.

Mecanismos para adaptación a suelos pobres es en la actualidad son el uso de genotipos que tengan una mejor habilidad de obtener nutrimentos del suelo, y genotipos que puedan hacer un mejor uso de los nutrimenos disponibles en el suelo.

Cuadro 3. Mecanismos de adaptación de las plantas a estres mineral.

1.	Morfológicas	
	1.1	Eficiencia del sistema radicular
	1.1.1	Sistema radicular grande versus sistema radicular pequeño
	1.1.2	Sistemas radiculares extensos que abarcan más volumenes de suelo
	1.1.3	Colonización de los sistemas radiculares por micorrizas y bacterias fijadoras de N_2
2.	Fisiológicas	
	2.1	Habilidad de la rizosfera de modificar altos niveles tóxicos de nutrimentos y elementos
	2.2	Alta y eficiente utilización de nutrimentos por unidad de absorción de nutrimentos
	2.3	Capacidad de almacenamientos y utilización durante periodos de estres
	2.4	Baja tasa de crecimiento
	2.5	Capacidad de metabolizar normal a bajas concentraciones de nutrimentos
	2.6	Exclusión de elementos tóxicos en la rizosfera.
	2.7	Alta tasa de absorción de nutrimentos
	2.8	Capacidad de acumular altas concentraciones de elementos tóxicos en las raíces
	2.9	Alta capacida fotosintética
	2.10	Menos pérdidas asimiladas por respiración

Fuente: Krieg (1993).

En suelos tropicales, la producción de frijol a menudo se ve limitada por la baja disponibilidad de P ya que la aplicación de grandes cantidades de fertilizantes resulta muy costosa para los pequeños agricultores. La fijación biológica de nitrógeno (FBN) está fuertemente influenciada por la nutrición del P.

Existen alternativas para mejorar la producción de frijol bajo condiciones de bajo P como la utilización de fertilizantes fosfatados incluyendo enmiendas (p.e. roca fosfatada), la tolerancia genética a bajo P, y las asociaciones con organismos benéficos (hongos y micorrizas). La utilización de fertilizantes y enmiendas por la mayoría de los productores está muy por debajo de las recomendaciones; sin embargo, variedades más eficientes podrían mejorar la productividad del cultivo aún cuando se usen dosis compatibles con sus modestas inversiones agrícolas (Rosas *et al.*, 1997).

El descubrimiento de la variabilidad genética en la necesidad y respuesta de los cultivos ha servido para buscar genotipos con importancia económica, para ser cultivados en suelos con problemas de fertilidad. Numerosos suelos y factores ambientales pueden ser responsables de la expresión de las diferencias cuantitativas entre cultivares con respecto a la absorción, translocación y utilización de nutrimentos, y la tolerancia a altas concentraciones de minerales.

Las diferentes variedades de frijol varían en su adaptación, capacidad de crecimiento y producción en diversas condiciones edáficas, ya sea de toxicidad o disponibilidad de nutrimentos, lo que se atribuye a factores genéticos. El mejoramiento genético para tolerancia a bajo P aprovecha estas diferencias genéticas para mantener o ampliar dicha adaptación; sin embargo, la meta de un programa de mejoramiento no debe ser eliminar el uso de fertilizantes. Un cultivo eficiente capaz de producir en condiciones de bajos niveles de P es apenas un elemento de lo que debe comprender un programa de manejo integrado de fertilizantes (Beebe, 1997).

El mejoramiento de leguminosas para FBN podría orientarse hacia el incremento en rendimiento y la reducción de los requerimientos nutricionales. La acumulación de N y su movilización en los granos de las leguminosas ha sido utilizado como hipótesis en muchas investigaciones. Cregan y Van Berkun (1984, citado por Wolyn *et al*, 1991) sugirieron que los atributos biológicos y bioquímicos relacionados con el metabolismo del N podrían ser incorporados en selecciones para incrementar los rendimientos. Estudios basados en la distribución y fijación de N dentro de diferentes partes de la planta de soya (Jeppson *et al.*, 1978; citado por Wolyn *et al.*, 1991) y de frijol común (Ruschel *et al.*, 1982; citado por Wolyn *et al.*, 1991), concluyeron que hubo diferencias genéticas en la movilización del nitrógeno y mejoramiento genético de la cantidad y tipo de movilización. La selección para incrementar los niveles de FBN en frijol común bajo condiciones deficientes de N, podría contribuir al mejoramiento del potencial de rendimiento del cultivo.

Según Flor y Thung (1989), una mejor absorción de nutrimentos no significa necesariamente que la planta producirá más; esto únicamente muestra la habilidad de los cultivares para hacer más eficiente el uso de nutrimentos para la producción de semilla.

2.4. DESÓRDENES NUTRICIONALES

Los nutrimentos de la planta pueden ser tomados del suelo y fertilizantes, y en el caso del N, del aire. Según Flor y Thung (1989) el diagnóstico para desórdenes nutricionales se puede agrupar en tres tipos: 1) clasificación visual de los síntomas, 2) análisis de suelos y tejidos, y 3) experimentos de campo. Conocer bien las características de las plantas en sus diferentes estadios de crecimiento es muy importante para no confundir síntomas de deficiencias con alguna enfermedad causada por virus.

En estudios realizados en invernaderos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se mostraron suelos con deficiencias que pudieron ser diagnosticadas por observación de síntomas en las plantas en los primeros estados tempranos de desarrollo: cuando la planta forma sus hojas primarias, y cuando desarrolla su primera hoja trifoliada. Estos métodos de observación también han sido exitosos en experimentos de campo para niveles de N, P, Mg y B (Flor y Thung, 1989).

Los desórdenes nutricionales pueden ser causados por cantidades excesivas o limitantes de nutrimentos. Estos incluyen toxicidades de altos niveles de algún elemento o sustancia.

2.4.1. Deficiencia de nitrógeno

Este desorden es común en suelos ácidos, pobres en materia orgánica, arenosos o con bajos niveles de Ca y P, en los que se disminuye la FBN. Hay diferencias importantes entre genotipos en cuanto a requerimientos nutricionales de este elemento. En general el cultivo de frijol lo necesita más que a cualquier otro nutrimento, pues una gran cantidad de este es necesaria para producir el alto porcentaje de proteína en la semilla (Flor y Thung, 1989). La deficiencia de N produce un amarillamiento en las hojas inferiores, avanza con una necrosis uniforme y termina con la caída de las hojas.

Esto se puede corregir con la aplicación de fertilizantes nitrogenados al momento de la siembra o antes de la floración. El tratamiento con abonos verdes y estiércol antes de la siembra da buenos resultados. En suelos donde en factor limitante es el fósforo, el cultivo de frijol puede no responder a la fertilización nitrogenada hasta que la cantidad de P necesaria sea suplida (Howeler, 1980).

2.4.2. Deficiencia de fósforo

Según Flor (1994), la deficiencia de P es quizás la más importante en América Latina y es común en suelos ácidos. La falta de P limita el crecimiento de raíces, y hojas las que se toman verde pálido y terminan en necrosis antes o después de la senescencia. Cuando la deficiencia es severa ocurre una defoliación temprana, el tallo se debilita y hay pocos nudos y ramas. El período vegetativo se prolonga y la fase reproductiva se acorta, y pocas vainas son formadas con pocas semillas por vainas. También se afecta la maduración.

La deficiencia de este elemento se corrige con la aplicación en bandas de fertilizantes fosfatados, que optimizan su uso ya que de este fertilizante sòlo el 25 % es aprovechable para la planta (Flor y Thung, 1989). El nivel de aplicación depende del contenido de P y de la capacidad de fijación que tenga el suelo de este elemento.

2.4.3. Deficiencia de potasio

Después del N este es el elemento más requerido por el cultivo. Esta deficiencia es común en oxisoles y ultisoles que son suelos con muy baja fertilidad. Es muy raro encontrar síntomas de deficiencia de este elemento en el frijol, pero puede ocurrir en suelos altos en Ca y Mg (Flor, 1994). Los síntomas de deficiencia son amarillamiento y necrosis de los ápices y márgenes de las hojas superiores; comenzando por las hojas bajeras y extendiéndose hacia las hojas superiores. Se reduce el crecimiento de las raíces. Esta deficiencia se puede corregir con aplicaciones de cloruro, sulfato y nitrato de potasio.

2.4.4. Deficiencia de calcio

Esta deficiencia se observa en combinación con la toxicidad de Al y Mn, y la deficiencia de P, por lo que es muy difícil caracterizarla. El raquitismo, la muerte de los puntos de crecimiento, pobre desarrollo de raíces y algunas veces colapso del hipocotilo, son los síntomas más importantes (Flor, 1994). La incorporación de cal es el método de corrección más efectivo. El Ca decrece en las hojas con incrementos en la aplicaciones de K (Howeler, 1980).

2.4.5. Deficiencia de magnesio

Esta deficiencia se presenta por lo general en suelos ácidos y con un porcentaje de saturación de bases muy bajo, aunque también se da en suelos con bajos niveles de K y Ca (Flor y Thung, 1989). El Mg es un elemento muy móvil y constituyente de la molécula de clorofila, por lo que sus niveles óptimos son útiles para la fotosíntesis (Howeler, 1980), y los síntomas de su deficiencia se presentan en las hojas inferiores con una clorosis intervenal y necrosis. La aplicación de cal dolomítica puede corregir este problema.

Cada elemento tiene niveles óptimos y críticos para un buen desarrollo. En el Cuadro 4 se muestran los niveles para diferentes elementos.

Cuadro 4. Niveles crítico y óptimo de los nutrimentos esenciales en la planta de frijol.

Nutrimento	Nivel crítico (%)	Nivel óptimo (%)	Observaciones
Nitrógeno	< 3	5	Hojas en la iniciación floral
Fósforo	0.2 - 0.4	1.0	Hojas en la iniciación floral
Potasio	< 2	2	Hojas maduras
Calcio	1.44	2	Hojas maduras, iniciación floral
Magnesio	0.22 - 0.3	0.35 - 1.3	Hojas maduras

Fuente : Howeler (1980).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en dos etapas, con el fin de evaluar, identificar y validar el comportamiento de 16 genotipos tolerantes a baja fertilidad en condiciones de buena tecnología y en finca de pequeños agricultores (Cuadro 5).

La primera etapa se realizó en la época de primera de 1998, y consistió en la evaluación e identificación de genotipos tolerantes a suelos con niveles bajos de varios nutrimentos, bajo pH y pobre contenido de materia orgánica (MO). Esta fase se realizó en lotes de producción de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. La segunda etapa se realizó en la época de postrera de 1998, y en ella se validaron los genotipos identificados como tolerantes y susceptibles a condiciones de baja fertilidad en suelos similares a los de la etapa anterior. Esta fase se realizó en fincas de agricultores en tres localidades aledañas a Zamorano.

3.1 EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE GENOTIPOS

3.1.1 Selección de terreno

Para la selección del lote a sembrar se muestrearon tres terrenos de Zamorano de los que se tenían registros históricos de baja fertilidad (Zavala, La Vega 5 y El Espinal), cada uno dividido por sus dimensiones y topografía para hacer más representativo el muestreo.

Los análisis realizados incluyeron pH, contenido de MO, N total, contenido de P, Ca, K y Mg. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de Zamorano (Cuadro 6), utilizando los métodos de micro-Kjeldahl para N, Walkley & Black (cálculo indirecto de MO), potenciómetro (pH), Mehlich (P), espectrofotometría de absorción atómica (K,Ca, Mg y microelementos) (Manual de suelos, 1998).

Con base en los resultados de los análisis, el lote seleccionado fue La Vega 5 (lote C), debido a sus características de pobre fertilidad.

Cuadro 5. Identificación, reservorio genético y raza, y características de tamaño y color de grano de los genotipos utilizados en la primera etapa del estudio, bajo condiciones de buena tecnología. Zamorano, 1998.

No	Genotipo	Reservorio genético	Raza	Tamaño	Color
1	A-483	Andino	Nueva Granada	Mediano	Morado moteado
2	A-752	Andino	Nueva Granada	Mediano	Morado jaspeado
3	G-22263 (Kabenga)	Andino	Nueva Granada	Mediano	Blanco
4	PVA 800-A	Andino	Nueva Granada	Mediano	Rojo moteado
5	G-6450 (Ecuador 132)	Andino	Nueva Granada	Pequeño	Negro
6	MAM-38	Mesoamericano	Jalisco	Pequeño	Rosado jaspeado
7	A-774	Mesoamericano	Mesoamericano	Pequeño	Crema
8	Carioca	Mesoamericano	Mesoamericano	Pequeño	Crema rayado
9	Porrillo Sintético	Mesoamericano	Mesoamericano	Pequeño	Negro
10	No Noduladora	Mesoamericano	Mesoamericano	Pequeño	Negro
11	ANT-7	Mesoamericano	Mesoamericano	Pequeño	Rojo
12	G-3842 (Colombia)	Mesoamericano	Mesoamericano	Pequeño	Negro
13	G-3513 (Chiapas 57-3)	Mesoamericano	Mesoamericano	Pequeño	Negro
14	IPA-6	Mesoamericano	Mesoamericano	Pequeño	Crema opaco
15	Tío Canela-75	Mesoamericano	Mesoamericano	Pequeño	Rojo
16	Catrachita	Mesoamericano	Mesoamericano	Pequeño	Rojo

Cuadro 6. Características de los suelos muestreados en Zamorano

LOTES	pH (H_2O)	M.O. (%)	N total (%)	ppm disponibles P	K	Ca	Mg
Zavala							
A	5.39 FA	2.86 M	0.06 B	10 B	112 M	720 B	105 B
B	4.90 FA	2.54 M	0.07 B	5 B	80 M	555 B	82 B
La Vega 5							
A	4.73 FA	2.22 M	0.11 M	12 B	231 A	1125 M	120 B
B	4.86 FA	1.71 B	0.10 B	9 B	205 A	922 M	105 B
C	4.73 FA	1.96 B	0.11 M	8 B	211 A	967 M	105 B
El Espinal							
A	4.99 FA	2.44 M	0.07 B	17 B	222 A	937 M	127 B
B	5.02 FA	2.50 M	0.08 B	14 B	228 A	885 M	112 B
C	4.96 FA	2.76 M	0.09 B	12 B	209 A	877 M	112 B

FA = Fuertemente ácido, A = Alto, M = Medio y B = Bajo

3.1.2 Preparación de terreno y siembra

El suelo se preparó con dos pases de rastra y un pase de arado, y se surcó con máquina a una distancia de 0,60 m. La distancia de siembra entre plantas fue de 0.1 m, para una densidad final de 166,666 plantas por hectárea.

Se utilizaron 14 genotipos y dos testigos comerciales bajo dos niveles de fertilización : 1) sin fertilización, y 2) fertilización recomendada según el análisis del suelo.

Según los resultados proporcionados por los análisis, se corrigió el pH y se suplió de las necesidades de nutrimentos del cultivo, en las parcelas que tenían el tratamiento de fertilización recomendada. El pH se corrigió con la aplicación del producto Hi Cal-Mag[1], utilizando una dosis de 8 qq/mz según recomendación de la casa comercial. La aplicación se hizo una semana antes de la siembra para permitir la reacción del producto con el suelo.

3.1.3 Diseño experimental

El diseño utilizado fue de parcelas divididas con cuatro repeticiones, donde el tratamiento de fertilización era la parcela principal y los genotipos las subparcelas. Cada genotipo se sembró en surcos individuales de 5 m de largo y 0.6 m de ancho. La aletorización de los tratamientos se hizo utilizando el programa estadístico MSTAT-C.

[1] Hidróxido de Ca y Mg ($Ca(OH)_2 + Mg(OH)_2$)

3.1.4 Fertilización

Los requerimientos de frijol que se utilizaron para suplir las deficiencias de nutrimentos fueron 120 kg/ha de N, 80 kg/ha de P y 100 kg/ha de K. Según estos requerimientos y el resultado del análisis del suelo, se recomendó la cantidad de fertilizante a utilizar.

Se utilizó 18-46-0 como fórmula (par suplir N y P) al momento de la siembra, utilizando una dosis de 118 kg/ha. A los 25 días después de la siembra (DDS), en la etapa de desarrollo R4 (tercera hoja trifoliada), se aplicó urea (46%) en dosis de 91 kg/ha, para cubrir el requerimiento de N faltante.

Se procuró dar al ensayo un mantenimiento adecuado contra plagas, enfermedades y malezas, con el fin de evitar alteraciones en los resultados.

3.1.5 Cosecha

Se cosechó en la etapa R9 (madurez fisiológica); la fecha de cosecha fue diferente para cada genotipo. La parcela útil fue de cuatro metros, dejando 0.50 m a cada extremo para evitar el efecto de borde.

3.1.6 Datos obtenidos

Se tomaron datos de días a floración (etapa R6) cuando el 50 % de las plantas presentaron la primera flor abierta, y de días a madurez fisiológica (etapa R9), caracterizada por la decoloración y secado de las vainas en el 50% de la población de plantas (CIAT, 1991).

Los componentes de rendimiento que se evaluaron fueron número de plantas cosechadas, número de vainas por planta tomando una muestra de 15 plantas por subparcela (genotipo), y número de granos por vaina tomando 30 vainas de la muestra de 15 plantas. Adicionalmente, se tomó el peso de 100 semillas secas. Para evitar variaciones de peso debido a la humedad del grano, esta se determinó al pesarlas para ajustar el rendimiento al 14% de humedad.

Estos datos se utilizaron para estimar el rendimiento de cada genotipo evaluado bajo los dos tratamientos de fertilización. La fórmula utilizada para estimar el rendimiento (ajustado al 14 % de humedad) en el ensayo fue la siguiente:

$$\text{Rendimiento} = PM * \frac{D.S.}{NPC*1000} * \frac{100 - \%H}{86}$$

donde PM= peso de la muestra (g), DS= densidad de siembra, NPC= número de plantas cosechadas , %H= humedad al momento de pesar (Castro, 1998).

Con los datos calculados se estimó un índice de rendimiento para seleccionar el genotipo con mejor respuesta a la fertilización. Para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Indice de rendimiento} = \frac{R_{SF} / R_{CF}}{\Sigma(R_{SF} / R_{CF})}$$

Donde R_{SF} = rendimiento sin fertilizante y R_{CF} = rendimiento con fertilizante; utilizando una adaptación del índice usado por Erazo (1988), para tolerancia a sequía en frijol.

3.2 VALIDACIÓN DE GENOTIPOS

La siembra para validar el comportamiento de los genotipos en fincas con suelos de baja fertilidad se realizó en la época de postrera. En cada localidad se sembró en fechas diferentes, de acuerdo a las condiciones climáticas.

Cuadro 7. Características de las localidades de la segunda etapa del estudio.

Datos generales	Galeras	Morocelí	Lavanderos
Altitud (msnm)	800	732	1200
Precipitación media anual (mm)	1,500-2,000	1,200-1,600	N/D
Temperatura media anual (° C)	23	27	19
Rendimiento promedio de frijol	35	15	12

Fuente: Departamento de Desarrollo Rural, EAP/Zamorano
N/D: no disponible

3.2.1 Selección de suelos

Con el fin de conducir el estudio en suelos pobres y representativos de su región se tomaron 20 muestras de localidades aledañas a Zamorano localizadas en los Municipios de Morocelí y Güinope en el Departamento de El Paraíso, y San Antonio de Oriente en el Departamento de Francisco Morazán.

Estas muestras se analizaron, y se seleccionaron los suelos con mayores deficiencias en nutrimentos y bajos pH y contenido de M.O. Los métodos utilizados para realizar los análisis fueron los mismos que en la etapa anterior. De acuerdo a los resultados las localidades seleccionadas fueron: Los Limones (Morocelí), Galeras y Lavanderos (Güinope) (Cuadro 8).

3.2.2 Preparación del terreno y siembra

En la preparación del terreno se utilizó la tecnología de tracción animal tradicional de estas localidades. Al momento de la siembra se surcó con surcadores manuales a una distancia de 0.5 m. La distancia entre plantas fue 0.1 m, para una densidad final de 200,000 plantas/ ha.

Se sembraron dos genotipos tolerantes (G-3513 y A-774) y uno susceptible (G-6450) identificados en el ensayo realizado en la época de primera, y un testigo comercial (Catrachita) ampliamente utilizado por los agricultores de la zona. Se aplicaron tres tratamientos de fertilización :1) fertilización recomendada según el análisis de suelo, 2) fertilización utilizada por el agricultor, y 3) sin fertilización.

3.2.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de parcelas divididas con seis repeticiones, donde cada localidad era una repetición. La parcela principal estaba conformada por el tratamiento de fertilización, y la subparcela por los genotipos. El área de cada parcela fue de 11.25 m^2 (4.5 m de largo x 2.5 m de ancho). La aleatorización de los tratamientos se hizo utilizando el programa estadístico MSTAT-C.

3.2.4 Fertilización

Para la recomendación de fertilizantes a usar en este ensayo se utilizaron los mismos requerimientos que en el ensayo anterior. Para los tratamientos de fertilización recomendada y utilizada por el agricultor, se aplicó al momento de la siembra la fórmula 18-46-0 a una dosis de 130 kg/ha (2 qq/mz) y 65 kg/ha (1 qq/mz), respectivamente. A los 25 DDS (etapa R4), se completó la fertilización con la aplicación de 65 kg/ha (1qq/mz) de urea en el tratamiento recomendado. En el tratamiento de fertilización del agricultor no se aplicó este producto porque no es una práctica habitual de los agricultores de la zona.

Se procuró dar al ensayo un mantenimiento adecuado contra plagas, enfermedades y malezas, con el fin de evitar alteraciones en los resultados.

3.2.5 Cosecha

La cosecha se realizó al momento de la madurez fisiológica (etapa R9). Se cosecharon los tres surcos centrales, dejando 0.5m a cada extremo para evitar el efecto de borde.

3.2.6 Datos obtenidos

Las variables de rendimiento fueron tomadas como en la etapa anterior. Se contaron las plantas al momento de la cosecha y se tomó una muestra al azar de 30 plantas por parcela para contar el número de vainas; de esta muestra se tomaron al azar 30 vainas para contar

el número de semillas por vaina. Se tomó el porcentaje de humedad y el peso en gramos de 100 semillas. Estos datos fueron utilizados para estimar el rendimiento.

Rendimiento = NVP*NSV*(PSCS/100)*200000/1000

Cuadro 8. Resultados de los análisis realizados a muestras de suelos de diferentes localidades aledañas a Zamorano

LOCALIDAD	AGRICULTOR	pH (H_2O)	M.O. (%)	N total (%)	ppm disponibles P	K	Ca	Mg
Güinope								
Lavanderos	José Núñez	4.07 FA	1.74 B	0.05 B	11 B	41 B	270 B	75 B
	Tomás Barahona	4.58 FA	1.87 B	0.05 B	0.8 B	60 M	442 B	75 B
Güinope								
	Eduardo Rodríguez	4.79 FA	1.79 B	0.07 B	4 B	115 M	667 B	135 B
	Leonidas Espinal	4.88 FA	2.24 M	0.11 M	55 A	140 A	1012 M	202 M
	Roque Barrientos (Lote A)	4.47 FA	4.30 A	0.14 M	9 B	64 M	502 B	105 B
	Roque Barrientos (Lote B)	4.54 FA	3.15 M	0.11 M	5 B	54 B	382 B	82 B
	Marlon Avila	4.76 FA	4.36 A	0.14 M	50 A	300 A	1807 A	195 M
	Ignacio Palma	4.49 FA	2.43 M	0.06 B	41 A	75 M	307 B	60 B
Francisco Morazán								
Galeras	Will Flores Lote A	4.80 FA	0.73 B	0.03 B	15 B	98 M	427 B	90 B
	Will Flores Lote B	5.20 FA	1.48 B	0.05 B	3 B	159 A	615 B	120 B
	Will Flores Lote C	5.22 FA	1.41 B	0.05 B	3 B	64 M	720 B	142 B
Morocelí								
Los Limones	Medardo Vallecillo	4.80 FA	1.29 B	0.06 B	11 B	130 M	547 B	67 B
	Félix Vallecillo	4.81 FA	1.66 B	0.06 B	6 B	140 A	727 B	75 B
	Alberto Rodríguez	5.09 FA	2.11 M	0.09 B	7 B	218 A	772 B	127 B
	Ruperto Rodríguez	50.4 FA	1.92 B	0.07 B	1 B	126 M	840 M	97 B
	Gustavo Flores	4.64 FA	1.47 B	0.06 B	31 M	143 A	675 B	75 B
	Juan Mejía	5.16 FA	1.66 B	0.05 B	4 B	132 M	705 B	97 B
El Paraíso								
El Barro	Cristóbal Cruz Lote A	5.10 FA	2.64 M	0.11 M	10 B	141 A	1155 M	172 B
	Cristóbal Cruz Lote B	4.36 FA	1.22 B	0.07 B	9 B	78 M	675 B	202 M
	Francisco Avila	5.14 FA	2.51 M	0.10 B	12 B	77 M	1567 A	202 M

FA = Fuertemente ácido, A = Alto, M = Medio, B = Bajo

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVALUACION E IDENTIFICACION DE GENOTIPOS

Para la variables días a floración (DF) y días a madurez (DM) no se encontraron diferencias entre los niveles de fertilización utilizados (Cuadro 9). Las variables número de vainas por planta (NVP) y número de semillas por vaina (NSV) fueron afectadas significativamente por la fertilización. Se observaron el mayor NVP en el tratamiento con fertilizante, y el NSV en el tratamiento sin fertilizante. Probablemente el NVP fue afectado por la cantidad de nutrimentos disponibles, ya que el P es el elemento que más limita el NVP y el NSV. En la variable peso seco de 100 semillas (PSCS) no se observaron diferencias entre tratamientos. En relación al rendimiento, se observaron las mejores respuestas en el tratamiento con fertilización, con una diferencia sobre tratamiento sin fertilización de 300 kg/ha, aproximadamente. En ambas parcelas los rendimientos promedios fueron bastante aceptables, sugiriendo que el nivel de fertilidad en la parcela sin fertilizante no era demasiado bajo como se hubiera deseado en este tipo de estudio, o que los genotipos tienen alta tolerancia a baja fertilidad, ya que estos fueron escogidos por haber sido referidos como tolerantes en estudios realizados por el CIAT.

Se observaron diferencias entre los DF y DM de los genotipos, siendo el más precoz G-22263 y el más tardío A-752. Observando sus rendimientos podemos decir que el genotipo más tardío es más susceptible a la baja disponibilidad de nutrimentos, ya que tiende a tener mayor desarrollo vegetativo y requiere por ende mayores cantidades de nutrimentos. El genotipo A-752 presentó el menor NVP mientras que el genotipo G-6450 el más alto. El genotipo con mayor NSV fue G-3842 y el de menor número fue A-752. En la variable PSCS se observó diferencias entre genotipos; el No Noduladora obtuvo el menor PSCS y Carioca tuvo el mayor peso.

En el caso de rendimiento también hubo diferencias significativas entre genotipos. Sin embargo, se observó que los más altos presentaban rendimientos relativamente similares, y que la diferencia mayor fue con respecto a A-752, que tuvo un comportamiento muy inferior con respecto a los restantes. Las diferencias entre los genotipos que presentaron una mejor respuesta a niveles bajos de fertilización se puede atribuir a la eficiencia que tienen estos genotipos en hacer un mejor uso de los pocos nutrimentos que le provee el suelo, o que sus necesidades nutricionales son inferiores en comparación con el genotipo que tuvo el menor rendimiento.

Cuadro 9. Resultados del ANOVA realizado para las variables de días a floración (DF), días a madurez (DM), número de vainas por planta (NVP), número de semillas por vainas (NSV), peso seco de 100 semillas (PSCS) en gramos y rendimiento de grano en kg/ha. Ensayo de primera. Zamorano, 1998.

FACTOR	DF	DM	NVP	NSV	PSCS	Rendimiento [2]
Fertilización (F)						
Sin Fert.	38	75	12.2	5.7	25.2	1699.3
Con Fert.	38	76	13.3	5.5	25.5	2012.5
ANOVA	n.s	n.s	*	**	ns	**
Genotipo (G)						
G-3513	39	78	13.3	5.9	23.0	1930.6
A-774	35	70	13.9	5.6	23.8	1955.4
MAM-38	39	78	10.2	5.9	26.3	1859.1
G-3842	40	79	13.7	6.7	21.6	2144.7
IPA-6	39	75	15.0	6.4	19.0	2064.5
A-483	35	71	12.1	4.9	31.7	2016.6
No Noduladora	40	78	15.7	5.8	17.8	1801.1
ANT-7	38	76	12.7	5.8	22.9	1927.3
G-22263	31	67	12.9	4.5	31.6	1963.0
PVA-800-A	37	76	7.2	5.1	32.6	1538.1
Carioca	39	75	13.4	5.9	33.0	2025.6
Catrachita	38	74	12.2	5.3	25.6	1930.2
Tío Canela-75	38	76	14.9	5.8	23.8	1832.4
Porrillo Sintético	38	76	13.4	6.3	20.9	1858.4
G-6450	39	77	16.1	5.9	21.6	2009.2
A-752	42	80	6.4	4.4	30.0	838.1
ANOVA	**	**	**	**	**	**
D.M.S (0.05)	2.4	4.5	2.4	0.5	2.4	436.9
Interacción (FxG)						
ANOVA	n.s	n.s	n.s.	n.s.	ns	ns
C.V. (%)	6.3	6.0	19.2	8.5	26.6	23.7

[1], **, ns significativo a P 0.05 y 0.01, y no significativo, respectivamente.
[2]: Ajustado al 14 % de humedad

Cabe resaltar que el comportamiento del genotipo G-3842 fue muy bueno tanto en los tratamientos de fertilización y no fertilización, ya que en ambos casos presentó los mejores rendimientos (Cuadro 10). El genotipo con rendimientos mas bajos en ambos tratamientos fue A-752.

El ANOVA mostró que no hubo interacción significativa entre los factores Fertlización x Genotipo, resultando deseable en este tipo de investigaciones pues sugiere que el comportamiento de los genotipos fue independiente del nivel de fertilización aplicado.

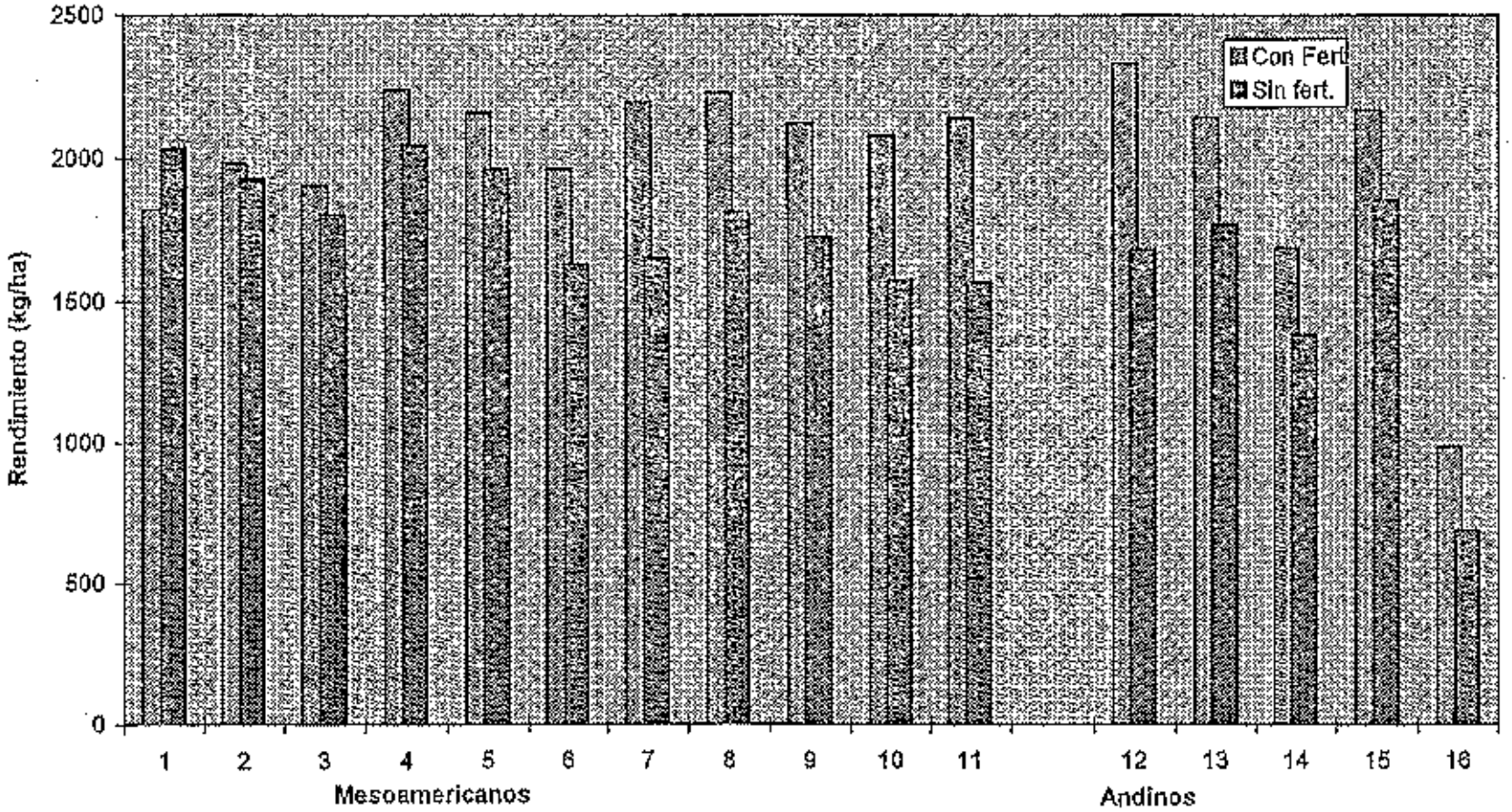
La respuesta de los genotipos se determinó utilizando un índice de tolerancia (IT) que es la relación entre el promedio de rendimiento del tratamiento sin fertilizante y con fertilizante dividido entre la relación entre el promedio de rendimiento de todos los genotipos con y sin fertilizante. La medida del índice de tolerancia nos muestra la tolerancia relativa que existe en los genotipos utilizados, siendo deseable un IT que sea mayor a 1.

Según el IT (Cuadro 10), el genotipo con mejor respuesta fue G-3513 y el más pobre A-752. Aunque para la selección de los genotipos a utilizar en la siembra de validación en fincas se utilizó el IT, se utilizó el genotipo G-6450 debido a la poca disponibilidad de semilla de A-752.

Algunos de los genotipos que no presentaron rendimientos muy altos presentaron un índice de tolerancia (IT) mayor a 1, lo que nos indica que genotipos con buenos rendimientos no necesariamente tienen que ser eficientes en condiciones de baja fertilidad.

Cuadro 10. Variaciones en el rendimiento de grano (kg/ha) e índice de tolerancia a baja fertilidad de 16 genotipos de frijol bajo dos tratamientos de fertilización. Ensayo de primera. Zamorano, 1998.

	Rendimiento		Rendimiento	Indice
Factor	Con fert.	Sin fert.	Promedio	tolerancia
Genotipo (G)				
G-3513	1824	2038	1930.6	1.30
A-774	1982	1929	1955.4	1.15
MAM-38	1908	1810	1859.1	1.12
G-3842	2239	2050	2144.7	1.08
IPA-6	2161	1968	2064.5	1.08
A-483	2172	1862	2016.6	1.02
No Noduladora	1968	1634	1801.1	0.98
ANT-7	2196	1658	1927.3	0.98
G-22263	2148	1777	1963.0	0.98
PVA-800-A	1694	1382	1538.1	0.97
Carioca	2233	1818	2025.6	0.96
Catrachita	2127	1733	1930.2	0.96
Tío Canela-75	2085	1580	1832.4	0.90
Porrillo Sintético	2143	1574	1858.4	0.87
G-6450	2332	1686	2009.2	0.86
A-752	986	691	838.1	0.82



Genotipos: 1=A-774, 2=Carioca, 3=P. Sintético, 4=No Noduladora, 5=ANT-7, 6=G-3842, 7=G-3513, 8=IPA-6, 9=Tío Canela, 10=Catrachita, 11=MAM-38, 12=A-483, 13=A-752, 14=G-22263, 15=PVA-800A, 16=G-6450

Figura 2. Comparación de rendimientos bajo dos tratamientos de fertilización de 16 genotipos de procedencia Andino y Mesoamericano

En la Gráfica 2 se pueden apreciar los rendimientos promedios de los 16 genotipos evaluados, con y sin fertilización, donde se puede observar que los genotipos de procedencia mesoamericana presentan los mejores rendimientos. A este grupo pertenece el genotipo G-3513 seleccionado como tolerante, mientras que en grupo andino se encuentran los genotipos que presentaron los rendimientos promedios más bajos como el A-752.

A este grupo En el análisis de correlación entre el rendimiento y sus componentes se observaron relaciones entre el rendimiento y el número de vainas por planta, demostrando así que a un mayor número de vainas el rendimiento es mayor. Para el caso de número de semillas por vaina se observó una relación en menor grado. Para la variables de peso seco de 100 semillas se presentó una correlación negativa, lo mismo que para el índice de tolerancia (Cuadro 11).

Cuadro 11. Resultados de análisis de correlación para las variables de número de vainas por planta (NVP), número de semillas por vainas (NSV), peso seco de cien semillas (PSCS), índice de tolerancia y rendimiento. Ensayo de primera, Zamorano, 1998.

	NVP	NSV	PSCS	Ind. Toler.
NVP				
NSV	0.449			
PSCS	-0.373	-0.645		
Ind. Toler.	-0.136	-0.023	-0.128	
Rendimiento	0.748 **	0.388 **	-0.070 **	-0.253 **

4.2 VALIDACION DE GENOTIPOS EN FINCA

En la etapa de validación se observaron diferencias significativas para las variables de número de vainas por planta (NVP) y número de semillas por vaina (NSV) para los niveles de fertilización utilizados, siendo superior en ambos casos para el tratamiento de fertilización recomendada. Para la variable de rendimiento se presentaron diferencias significativas, observándose un rendimiento promedio mayor en el tratamiento de fertilización recomendada.

En el factor Genotipos, se observaron diferencias significativas para la variable de NVP y NSV donde el genotipo G-3513 (tolerante) tuvo el mayor número en ambos casos. Para las variables de PSCS y rendimiento se observaron diferencias significativas, mostrando un mejor rendimiento promedio el genotipo G-3513 (tolerante) sobre el genotipo G-6450 (susceptible).

No se observaron diferencias significativas en la interacción para las variables de NVP, NSV y rendimiento; sin embargo, la variable de PSCS mostró una diferencia significativa. Esto demuestra que el comportamiento de los genotipos es igual en diferentes condiciones de fertilización (Cuadro 12).

Cuadro 12. Resultados del ANOVA realizado para las variables de número de vainas por planta (NVP), número de semillas por vaina (NSV), peso seco de 100 semillas (PSCS) en gramos y rendimiento de grano en kg/ha. Ensayo de postrera. 1998.

Factor	NVP	NSV	PSCS	Rendimiento
Fertilización (F)				
Sin fert.	3.95	4.43	23.44	858.14
Fert. Agricultor	5.66	4.55	23.78	1256.68
Fert. recomendada	7.15	4.82	23.72	1673.88
ANOVA	**	**	ns	**
D.M.S. (0.05)	2.31	0.27		531.4
Genotipo (G)				
G-3513	6.54	4.93	24.59	1640.53
A-774	3.40	4.83	21.12	1138.77
G-6450	5.26	4.58	20.36	1034.70
Catrachita	5.16	4.04	28.55	1237.60
ANOVA	ns	***	***	**
D.M.S. (0.05)		0.44	1.01	410.6
Interacción (FxG)				
ANOVA	ns	ns	*	ns
D.M.S. (0.05)				
C.V. (%)	29.19	11.50	5.08	38.81

5. CONCLUSIONES

1. El frijol tiene una gran variabilidad genética, la que debería ser aprovechada para la generación de nuevas variedades. En esta investigación se identificaron genotipos tolerantes a suelos pobres que pueden ser utilizados para mejorar variedades comerciales y aumentar la producción y disponibilidad de este grano.

2. El mejor genotipo identificado y validado en esta investigación fue G-3513, presentando un rendimiento estable en diferentes condiciones de ambiente y fertilidad, lo que demuestra su amplia adaptación.

3. La falta de interacción genotipo por ambiente demuestra la estabilidad de los genotipos seleccionados bajo diferentes condiciones ambientales.

4. Existe una relación directa entre el rendimiento con el número de vainas por planta, e inversa con el número de semillas por vaina, indicando así que a mayor número de vainas por planta y mayor número de semillas por vaina mejor será el rendimiento.

5. El peso seco de 100 semillas y el índice de tolerancia no afectan la productividad, lo que sugiere que no fueron criterios básicos de selección bajo condiciones del estudio.

6. RECOMENDACIONES

1. Repetir la evaluación a nivel de finca en un mayor número de localidades e incluir repeticiones en cada localidad, para disminuir el error experimental que normalmente se presenta en ensayos bajo condiciones de finca.

2. Repetir la evaluación a nivel de finca utilizando sólo el nivel de no fertilización, para comprobar la capacidad de rendimiento de los genotipos seleccionados en este estudio.

3. Utilizar otros componentes para seleccionar genotipos en pruebas de evaluación en campos experimentales, ya que el rendimiento y el índice de tolerancia no son los únicos criterios disponibles para estas evaluaciones.

4. Incluir como patrones de comparación más variedades utilizadas por el agricultor que presenten una cierta tolerancia a suelos pobres, ya que existen variedades producidas por pequeños agricultores que se adaptan a esta condiciones de baja fertilidad y además presentan las características de color y tamaño de grano que ellos prefieren.

BIBLIOGRAFIA

BAZÁN, N. 1975 Nitrogen fertilization and management of grain legumes in Central America, p 228-224. In: E. Bornemisza y A. Alvarado (eds), Soil Management in Tropical America. North Carolina State Univ.

BEEBE, S. 1997. Diversidad genética en bajo P: Frijol. 2-6 p. En R. Araya y. D. Beck (ed). Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para adaptación en suelos de bajo fósforo. San José, Costa Rica. PROFIJOL, CIAT, UCR.

CASTRO, A. 1998. Estudio de la productividad y adaptación de variedades mejoradas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la región Centro-oriental de Honduras. Tesis de Maestría en Ciencias en Agronomía y Suelos. Univ. de Mayagüez, Puerto Rico. 119 p.

CIAT. 1991. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. A. Schoonhoven y M. Pastor- Corrales (comps). 2da edición. Cali, Colombia. 56 p.

CREGAN, P. and VAN BERKUN, P. 1984. Genetics of nitrogen metabolism and physiological biochemical selection for increased grain crop productivity. Theor. Appl.. Gen. 67: 97-11.

Citado por WOLYN, D. CLAIR, S., DUBOIS, J., ROSAS, J.C, BURRIS, R. and BLISS, F. 1991. Distribution of nitrogen in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes selected for differences in nitrogen fixation ability. p 303-311. Plant and Soils 138. The Netherlands.

ERAZO, J.D. 1988. Evaluación de genotipos de *Phaselus vulgaris* bajo condiciones de déficit hídrico en diferentes épocas de siembra. Tesis del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 31 p.

FAO. 1992. Production Yearbook. FAO Collection: Statistic 112, Vol 46. 278 p.

FLOR, C. 1994. Desórdenes nutricionales. p 203-171. *In* (eds) C. Cardona, C. Flor, F. Morales, M. Pastor-Corrales. Problemas de campo en los cultivos de frijol en el trópico. Cali, Colombia. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 220 p.

_____and Thung, M. 1989. Nutritional disorders. p 341-362 In . H. Schwartz and M. Pastor-Corrales (eds). Bean production problems in the tropics. 2nd ed. Cali, Colombia. CIAT. 726 p.

HOWELER, R.H. 1980. Nutritional disorders. p 361-343. *In* (eds) H. Schwartz and G. Gálvez. Bean production problems: disease, insect, soil and climatic constraints of *Phaseolus vulgaris*. Colombia. CIAT. 418 p.

JEPSON, R., JOHNSON, R., AND HADLEY, H. 1978. Variation in movilization of plant nitrogen to the grain in nodulating and non-nodulating soybeans. Crop Sci. 18, 1058-1062.

Citado por: WOLYN, D. CLAIR, S., DUBOIS, J., ROSAS, J.C, BURRIS, R. AND BLISS, F. 1991. Distribution of nitrogen in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes selected for differences in nitrogen fixation ability. p 303-311. Plant and Soil 138. The Netherlands.

KRIEG, D.R. 1993. Stress tolerance mechanisms in above ground organs. In Adaptation of plants to soil stresses. Lincoln, Nebrasca. University of Nebrasca. 347 p.

MANUAL de Laboratorio de Suelos. 1998. Zamorano, Honduras. (manuscrito). 82 p.

MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Germany. University of Hohenhein, Gemany. 862 p.

MORENO, A. 1994. Ajuste estructural y modernización agrícola en Honduras: Una visión crítica. Honduras. FAO, PROCAPLAN. 79 p.

RAO, I. 1997. Taller de mejoramiento de frijol común. Colombia. CIAT.

ROSAS, J.C.; ANDREWS, M.; CASTRO, A. 1997. Tolerancia del frijol común a la baja disponibilidad de fósforo en suelos de Honduras. p.19-25. En R. Araya y. D. Beck (ed). Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para adaptación en suelos de bajo fósforo. San José, Costa Rica. PROFIJOL, CIAT, UCR.

_____1998. El cultivo del frijol común en América Tropical. Zamorano Academic Press, Honduras. 52 p.

RUSCHEL, A., VOSE, B., MATSUI, E., VICTORIA, R. and SAITO, S. 1982. Field evaluations of nitrogen fixation and nitrogen utilization by *Phaseolus vulgaris* bean varieties determines by nitrogen-15 isotope dilution. Plant and Soil 65: 397-408.

Citado por: WOLYN, D. CLAIR, S., DUBOIS, J., ROSAS, J.C, BURRIS, R. AND BLISS, F. 1991. Distribution of nitrogen in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes selected for differences in nitrogen fixation ability. p 303-311. Plant and Soil 138. Netherlands.

SABORÍO, A. Y BEEBE, S. 1997. Mejoramiento para tolerancia a bajo P. 10-14 p. En R. Araya y. D. Beck (ed). Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para adaptación en suelos de bajo fósforo. San José, Costa Rica. PROFIJOL, CIAT, UCR.

SÁNCHEZ, P. AND COCHRANE, T. 1980. Soil constraints in relation to major farming systems of Tropical America, In: Priorities for alleviating soil related constraints to food production in the tropics. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Philippines. 107-139 p.

Citado por: Thung, M. 1991. Mineral Nutrition. p 770-830. In (eds) V, Schoonhoven and O, Voysest. Commom Beans: Research for crop improvement. Colombia. CIAT, CAB International.

Citado por: RAO, I. 1997. Taller de mejoramiento de frijol común. Colombia. CIAT.

SECPLAN, Censo Nacional Agropecuario. 1994. Plan de acción para incrementar la producción de granos básicos en el ciclo agrícola 1994-1995. Tegucigalpa M.D.C. 224 p.

SECRETARÍA DE Agricultura y Ganaderia. Informe Anual. 1997. 87 p.

SINGH, S.P. 1998. Mejoramiento de caracteres especificos. Informe Técnico Anual 1997-98. Cali, Colombia. CIAT.

THUNG, M. 1991. Mineral Nutrition. p 770-830. In (eds.) A.Van Schoonhoven and O. Voysest. Commom Beans: Research for crop improvement. Colombia. CIAT, CAB International.

8. ANEXOS

Anexo 1. Variaciones en dias a floración (DF) y dias a madurez (DM) de 16 genotipos de frijol bajo dos tratamientos de fertilización. Ensayo de primera. Zamorano, 1998

	DF		DM	
Genotipos	Con fert.	Sin fert.	Con fert.	Sin fert.
G-3513	39	40	79	77
A-774	35	34	70	69
MAM-38	40	39	78	79
G-3842	40	40	79	76
IPA-6	37	40	74	76
A-483	38	33	75	68
No Noduladora	40	40	78	78
ANT-7	39	38	77	75
G-22263	31	32	65	68
PVA-800-A	37	38	76	76
Carioca	38	39	75	74
Catrachita	38	38	75	74
Tio Canela-75	38	39	75	78
Porrillo Sintético	38	38	75	76
G-6450	40	39	78	77
A-752	43	42	80	79

Anexo 2. Variaciones en el número de vainas por planta (NVP), número de semillas por vaina (NSV), peso seco de 100 semillas (PSCS) de 14 genotipos de frijol bajo dos tratamientos de fertilización. Ensayo de primera. Zamorano, 1998.

Genotipos	NVP		NSV		PSCS (g)	
	Con fert.	Sin fert.	Con fert.	Sin fert.	Con fert.	Sin fert.
G-3513	14	13	6	6	25.59	20.42
A-774	13	14	5	6	24.47	23.05
MAM-38	10	11	6	6	26.35	26.31
G-3842	14	13	7	7	21.13	22.15
IPA-6	15	15	6	6	19.31	18.64
A-483	13	11	5	5	32.97	30.49
No Noduladora	16	16	6	6	18.49	17.18
ANT-7	14	12	6	6	23.99	21.76
G-22263	15	11	5	4	31.40	31.74
PVA-800-A	7	8	5	5	34.24	31.05
Carioca	12	14	6	6	24.56	23.86
Catachita	12	12	5	5	26.47	24.82
Tio Canela-75	17	13	6	6	25.07	22.64
Porrillo Sintético	14	13	6	6	21.30	20.46
G-6450	19	13	6	6	20.76	21.75
A-752	7	6	4	5	31.21	28.82