

**Evaluación fenotípica de líneas endogámicas
de frijol común bajo condiciones de estrés
hídrico y baja fertilidad**

Fausto Eleodoro Román Sánchez

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2009

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Evaluación fenotípica de líneas endogámicas de frijol común bajo condiciones de estrés hídrico y baja fertilidad

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

Presentado por

Fausto Eleodoro Román Sánchez

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2009

Evaluación fenotípica de líneas endogámicas de frijol común bajo condiciones de estrés hídrico y baja fertilidad

Presentado por:

Fausto Eleodoro Román Sánchez

Aprobado:

Juan Carlos Rosas, Ph.D.
Asesor principal

Miguel Vélez, Ph.D.
Director Carrera de Ciencia y
Producción Agropecuaria

Ana Gabriela Vargas, Ing. Agr.
Asesora

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Marcelino Guachambala, Ing. Agr.
Asesor

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

Abelino Pitty, Ph.D.
Coordinador Área Fitotecnia

RESUMEN

Román, F. 2009. Evaluación fenotípica de líneas endogámicas de frijol común bajo condiciones de estrés hídrico y baja fertilidad. Proyecto Especial de graduación para el Programa de Ingeniero Agrónomo en Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras. 22 p.

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más importante para la alimentación humana en el mundo. En Centro América, la mayor parte del frijol es producido por pequeños agricultores bajo condiciones limitantes como la sequía y la baja fertilidad de los suelos. El objetivo del estudio fue caracterizar fenotípicamente 102 líneas endogámicas recombinantes, desarrolladas por el método de retrocruza y autofecundación usando como padre recurrente a la variedad Amadeus 77 y donante a la línea L88-13, bajo condiciones de estrés hídrico y baja fertilidad en cilindros con suelo en invernadero. El muestreo y la evaluación de las plantas se realizaron a la floración (40 DDS). Se evaluaron los pesos secos de nódulos, raíces, parte aérea y total de las plantas; y las características de longitud, área superficial, diámetro promedio y volumen de raíces utilizando el programa Winrhizo. Se observaron diferencias ($P < 0.05$) en la mayoría de las variables medidas y se pudo identificar genotipos superiores. Se encontraron correlaciones (r) significativas entre los pesos secos y las características de raíces. En un estudio complementario, se evaluaron el número de coronas (verticilos), número de raíces basales (coronarias) y pubescencia de las raíces en plántulas; encontrándose que los genotipos con mayor tolerancia a sequía y baja fertilidad presentaron mayor número de coronas, raíces basales o coronarias y pubescencia.

Palabras clave: Características de raíces, Inoculación, *Phaseolus vulgaris*, *Rhizobium*, retrocruza-autofecundación.

ABSTRACT

Román, F. 2009. Phenotypic evaluation of common bean inbred lines under drought and low fertility stress conditions. Special Project Graduation for the Program in Science in Agricultural Engineering and Agricultural Production, Zamorano, Honduras. 22 p.

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the most important food legume for human consumption worldwide. In Central America, most beans are produced by small farmers under limiting conditions such as drought and low soil fertility. The objective was to characterize phenotypically 102 recombinant inbred lines developed by the inbred-backcross method using to the variety Amadeus 77 as recurrent parent and the line L88-13 as donor parent, under greenhouse conditions and low fertility and water stress using soil cylinders. The sampling and evaluation of the plants was made at flowering (40 DAP). The dry weight of nodules, roots, shoot and total plant dry weight and of the length, surface area, average diameter and volume root characteristics were estimated using the Winrhizo program. Significant differences ($P < 0.05$) were observed in most of the variables measured. Correlations (r) between dry weights and root characteristics were found. In a complementary study, the number of whorls (verticils), number of basal (coronary) roots and root pubescence were evaluated in seedlings; and it was found that the genotypes with greater tolerance to drought and low fertility had the highest number of whorls and basal roots, and root pubescence.

Keywords: Inoculation, *Phaseolus vulgaris*, *Rhizobium*, inbred-backcross, root characteristics.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	6
4. CONCLUSIONES	17
5. RECOMENDACIONES	18
6. LITERATURA CITADA	19
7. ANEXOS	20

ÍNDICE DE CUADROS Y ANEXOS

Cuadro

1. Valores P de las variables peso seco aéreo, peso seco de raíz, peso seco de nódulos, peso seco total , longitud, área, diámetro promedio y volumen de las raíces por planta, a la floración (40 DDS) de 102 líneas endogámicas de frijol crecidas en condiciones de estrés hídrico y baja fertilidad en invernadero. Zamorano, Honduras, 2009.	7
2. Efecto del tratamiento de estrés hídrico en los promedios y valor P de las características de raíces y pesos secos en la etapa de floración de plantas de 102 genotipos de frijol común en invernadero. Zamorano, Honduras, 2009	9
3. Efecto del genotipo en el promedio y rango de los pesos secos aéreo, raíces, nódulos y total por planta en 102 líneas endogámicas de frijol y de los testigos Amadeus 77, L88-13 y Seda crecidas bajo tratamiento con estrés (CE), y sin estrés hídrico (SE). Zamorano, 2009.	11
4. Efecto del genotipo en el promedio y rango de las características de raíces de plantas de 102 líneas endogámicas de frijol y los testigos Amadeus 77, L88-13 y Seda crecidas bajo tratamiento con estrés (CE) y sin estrés hídrico (SE). Zamorano, 2009.	13
5. Coeficientes de correlación (r) entre los pesos secos totales de las plantas y las características de raíces de genotipos de frijol crecidos sin estrés hídrico.	14
6. Coeficientes de correlación (r) entre las variables de pesos secos totales de las plantas y características de raíces de genotipos de frijol crecidos con estrés hídrico.	15
7. Variación del número de coronas, raíces basales (coronarias) y pubescencia de los 102 genotipos (líneas) de frijol.	16

Anexo

8. Valores de peso seco aéreo, raíces, nódulos, total y características de las raíces por planta de 10 genotipos de frijol superiores e inferiores crecidos sin estrés hídrico en invernadero. Zamorano, 2009.	20
9. Valores de peso seco aéreo, raíces, nódulos, total y características de raíces por planta de 10 genotipos superiores e inferiores crecidos con estrés hídrico en invernadero. Zamorano, 2009.	21
10. Análisis del sustrato suelo: arena (1:2) utilizado en la evaluación de 102 líneas endogámicas en cilindros de suelo en invernadero. Zamorano, 2009.	22

1. INTRODUCCIÓN

La producción de frijol en América Latina, África y Asia se encuentra en manos de pequeños agricultores, donde se genera el 77% de la producción mundial. En países desarrollados, este grano básico constituye un cultivo de alta tecnología y un producto de exportación, que representa el 23% de la producción mundial (Rosas 1998).

En el trópico, las enfermedades y plagas son limitantes importantes de la producción de frijol. Existen además factores abióticos como la sequía y baja fertilidad, que disminuyen considerablemente los rendimientos, obteniéndose promedios inferiores a 0.6 t/ha, en comparación con los obtenidos en sistemas intensivos que superan las 2 t/ha (Voysset 1999). Los escasos recursos con que cuentan estos agricultores les impiden adoptar sistemas de riego o utilizar insumos orgánicos o químicos para mejorar la fertilidad de sus suelos. Por lo tanto, los programas de mejoramiento están buscando alternativas para desarrollar variedades tolerantes a ambos estreses abióticos.

Los estudios genéticos y fisiológicos en las plantas son más confiables si se utilizan materiales genéticos que difieren en las características de interés; pero que son fenotípicamente uniformes para la mayoría de las otras características, incluyendo las morfológicas y agronómicas. Esto evita que las diferencias que se presenten estén confundidas con otros caracteres, como días a madurez y/o hábito de crecimiento. El método de retrocruza-autofecundación permite generar poblaciones constituidas por líneas endogámicas (altamente homocigotas) con antecedentes genéticos del padre recurrente, y que recombinan diferencias debidas a las contribuciones del padre donante (Bliss 1981).

El conocimiento de las características de las plantas y sus sistemas radicales en genotipos que expresan tolerancia a uno u otro estrés abiótico, se vuelve importante para desarrollar estrategias de selección de germoplasma y desarrollo de variedades de tolerancia abiótica múltiple. La recombinación genética de la tolerancia a ambos estreses y el uso de multilíneas son unas de las alternativas enfocadas por algunos programas.

La evaluación y selección de genotipos de frijol bajo condiciones de sequía representa uno de los mayores intereses en los actuales procesos de mejoramiento, dado que los recursos de suelo, distribución de los períodos de lluvia y otros factores no satisfacen adecuadamente los requerimientos del cultivo (Molina 2008).

La utilización de prácticas complementarias como la inoculación con cepas eficientes de bacterias del género *Rhizobium* (organismos capaces de fijar nitrógeno de la atmósfera y hacerlo disponible para la planta), puede ser una alternativa viable para reducir el uso de insumos químicos (López 2005). Adicionalmente, esto contribuye a la implementación de

prácticas agroecológicas, mediante la inclusión de procesos existentes en la naturaleza. La planta de frijol puede obtener hasta el 50% de sus necesidades de N para una producción ideal, cuando se establece una simbiosis efectiva con dichas cepas (Rosas 2003).

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar fenotípicamente 102 líneas endogámicas recombinantes (LER) provenientes de dos retrocruzas de Amadeus 77 por L88-13 con sus tres autofecundaciones, con tres testigos comerciales (Amadeus 77, L88-13 y Seda), bajo condiciones de estrés hídrico y baja fertilidad en invernadero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 UBICACIÓN

Los ensayos se realizaron en el Invernadero #2 y en el Laboratorio de Biotecnología Aplicada, del Programa de Investigaciones en Frijol (PIF) de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), Zamorano, situada en el Valle del Yeguaré, departamento de Francisco Morazán, a 800 msnm, con una temperatura y precipitación promedio anual de 24 °C y 1100 mm. Los estudios se realizaron entre febrero y agosto de 2009.

2.2 ENSAYO 1. EVALUACIÓN DE 102 LÍNEAS ENDOGÁMICAS RECOMBINANTES (LER) Y TRES TESTIGOS (AMADEUS, L88-13 Y SEDA) BAJO ESTRÉS Y SIN ESTRÉS HÍDRICO

La selección, como el método de mejoramiento, es un procedimiento que sigue el fitomejorador para separar los mejores genotipos de los menos favorecidos. Esta selección descansa sobre dos principios básicos; la selección sólo puede actuar sobre diferencias heredables, o no crea variabilidad sino que actúa sobre la ya existente. En este sentido la selección de plantas individuales con prueba de progenies generalmente incluye tres etapas diferentes:

Primera etapa: selección de un gran número de plantas individuales (líneas) dentro de la población original. La diversidad genética se encuentra entre líneas y muy poca dentro de líneas. Se debe seleccionar para caracteres de alta heredabilidad como resistencia a enfermedades, el color del grano y el vigor de la planta.

Segunda etapa: siembra de progenies de plantas individuales seleccionadas con el fin de proceder a la evaluación.

Tercera etapa: en esta etapa se realizan experimentos con diseños experimentales apropiados, suficiente número de repeticiones y testigos con el fin de comparar las selecciones en cuanto a rendimiento y a otros caracteres como resistencia al estrés hídrico y a la baja fertilidad (Vallejo y Estrada 2002).

2.2.1 Material Experimental

En este ensayo se evaluaron 102 líneas endogámicas recombinantes (LER) obtenidas por el método de retrocruza-autofecundación, mediante dos retrocruzas hacia Amadeus 77 (padre recurrente) y utilizando la línea L88-13 como padre donante, seguidas de tres autofecundaciones por descendencia de semilla individual, y tres testigos (Amadeus 77, L88-13 y Seda).

2.2.2 Diseño Experimental

Se utilizó un arreglo factorial en parcelas divididas de un diseño de Bloques Completamente al Azar. Los tratamientos de estrés fueron ubicados en las parcelas y los genotipos en las sub-parcelas, se utilizaron cuatro repeticiones.

2.2.3 Siembra

Las semillas se pre-germinaron en platos Petri para obtener plantas con tamaño de radícula similar. Las semillas pre-germinadas fueron llevadas al invernadero y se sembraron en cilindros de suelo constituidos por bolsas plásticas de 76 cm × 7.6 cm, colocadas en el interior de tubos PVC de las mismas dimensiones, conteniendo un sustrato suelo: arena (1:2) con una baja cantidad de nutrientes, para ofrecer las condiciones de baja fertilidad requerida en el estudio (Anexo 1).

2.2.4 Riego

Inicialmente se realizó diariamente dos veces al día (9:00 a.m. y 3:00 p.m.). En las plantas bajo tratamiento con estrés hídrico, a los 10 DDS se redujo a un riego (9:00 a.m.) cada dos días, y se suspendió en su totalidad a partir de los 20 DDS. La parcela sin estrés, se regó normalmente hasta el momento del muestreo a la floración (40 DDS).

2.2.5 Inoculación

Se utilizó como inóculo las cepas CIAT 899 y CIAT 632 de *Rhizobium*. Este se preparó en un caldo levadura-manitol para ser aplicado en la base del tallo a razón de 1 mL inóculo/planta de cada cepa (1.25×10^4 rizobios/mL). La inoculación se realizó a los cuatro y ocho días después de la siembra (DDS) para asegurar la infección adecuada. Previo a la inoculación, para conocer la concentración de rizobios en el inóculo se realizó la prueba de gota.

2.2.6 Evaluaciones

A la floración (40 DDS), se separó con tijera de podar la parte aérea de la raíz. La parte aérea se secó en un horno (70 °C por 48 h) y se determinó el peso. Posteriormente se extrajeron las raíces de los cilindros rompiendo la bolsa plástica. Se lavaron las raíces utilizando tamices para escurrir y separar los residuos de la raíz, se separaron los nódulos y se obtuvo el peso seco de nódulos (50 °C por 48 horas). Las raíces se preservaron en frascos de vidrio con alcohol al 25% para ser escaneadas y analizadas con el programa WinRhizo[®]; determinándose longitud, área superficial y diámetro promedio; luego se determinó el peso seco de las raíces (70 °C por 48 h).

2.2.7 Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), separación de medias (DMS) con una probabilidad de 5% ($P \leq 0.05$). Además, se realizaron correlación de Pearson y regresión lineal (Statistix[®] 8.1 2003).

2.3 ENSAYO 2. EVALUACIÓN DE NÚMERO DE CORONAS (VERTICILOS) Y RAÍCES BASALES O CORONARIAS Y PUBESCENCIA

2.3.1 Germinación

Se colocaron cuatro semillas de cada genotipo en una hoja de papel que se enrolló. Cada rollo se colocó en una jarra Mason con agua a 1/4 de la longitud del papel, de forma tal que a las semillas en el 1/4 superior les llegó la cantidad de agua necesaria. Los rollos se cubrieron con bolsas de aluminio durante tres días.

2.3.2 Cosecha

A los cinco días se evaluó el número de coronas o verticilos, número de raíces coronarias o basales, y pubescencia. Con un estereoscopio se asignó un valor a la pubescencia usando una escala visual de 1 a 3 (1= escasa o pobre, 2= intermedia y 3= abundante).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ENSAYO 1. EVALUACIÓN DE 102 LÍNEAS ENDOGÁMICAS RECOMBINANTES (LER) Y TRES TESTIGOS (AMADEUS, L88-13 Y SEDA) BAJO ESTRÉS Y SIN ESTRÉS HÍDRICO

3.1.1 Resultados generales

Los ANDEVA del peso seco y las características de raíces muestran resultados variables para los dos factores en estudio, estrés hídrico (E) y genotipo (G), y la interacción (E × G) (Cuadro 1). En las parcelas de estrés hídrico no se observaron diferencias significativas excepto en la longitud de raíces. En cambio, los genotipos mostraron diferencias en variables peso seco y las características de raíces, pero no en el peso seco de los nódulos y el volumen de las raíces. En la interacción (E × G), se observó diferencias entre genotipos para el peso seco aéreo y total de la planta y el volumen de las raíces.

Cuadro 1. Valores P de las variables peso seco aéreo, peso seco de raíz, peso seco de nódulos, peso seco total , longitud, área, diámetro promedio y volumen de las raíces por planta, a la floración (40 DDS) de 102 líneas endogámicas de frijol crecidas en condiciones de estrés hídrico y baja fertilidad en invernadero. Zamorano, Honduras, 2009.

Factores	Pesos Secos				Raíces			
	Áereo (g)	Raíces (g)	Nódulos (mg)	Total (g)	Longitud (m)	Área (m ²)	Diametro (mm)	Volumen (cm ³)
Estrés Hídrico	0.65 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.90 ^{ns}	0.02*	0.08 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.06 ^{ns}
Genotipo	0.01*	0.00**	0.18 ^{ns}	0.00**	0.00**	0.01*	0.001**	0.22 ^{ns}
E × G	0.03*	0.08 ^{ns}	0.57 ^{ns}	0.01**	0.28 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.05*

*, ** y ^{ns} Significativo ($P \leq 0.05$), altamente significativo ($P \leq 0.01$) y no significativo, respectivamente.

3.1.2 Efecto del estrés hídrico

Los tratamientos de estrés hídrico (con y sin riego) no produjeron diferencias significativas en el peso seco de las partes de las plantas, ni en las características de las raíces; excepto en la longitud, la cual fue mucho mayor en las parcelas con riego (Cuadro 2). La disponibilidad de agua tiende a incrementar con la profundidad, y un sistema de raíces profundas es ventajoso en condiciones de sequía (Ryser 2006).

El sustrato usado en el estudio proporcionó condiciones de baja fertilidad, principalmente bajos en nitrógeno y en fósforo, lo cual afectó el crecimiento de las plantas en general, y las diferencias esperadas debido al efecto del estrés hídrico no se observaron para la mayoría de variables. Probablemente los efectos del estrés hídrico se pudieron haber observado si se hubiera incluido un factor adicional con niveles de baja y óptima fertilidad, en vez de haber tenido el estrés de baja fertilidad en todo el ensayo.

Cuadro 2. Efecto del tratamiento de estrés hídrico en los promedios y valor P de las características de raíces y pesos secos en la etapa de floración de plantas de 102 genotipos de frijol común en invernadero. Zamorano, Honduras, 2009

	Pesos Secos				Raíces			
	Área (g)	Raíces (g)	Nódulos (mg)	Total (g)	Longitud (m)	Área (m ²)	Diametro (mm)	Volumen (cm ³)
Con Riego	2.17	0.49	60	2.73	40.8	15.9	4.2	53
Sin Riego	1.05	0.41	20	1.49	32.5	11.7	3.5	37
Valor P	0.65 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.90 ^{ns}	0.02*	0.08 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.06 ^{ns}

* y ^{ns} Significativo (P≤0.05) y no significativo, respectivamente.

3.1.3 Efecto de genotipo

Para interpretar los efectos del factor genotipo en los pesos secos y las características de raíces de las plantas con más claridad, sólo se incluyeron los datos del promedio y el rango de los valores de los 102 líneas endogámicas y de los testigos Amadeus 77 y L88-13 (los padres recurrente y donante, respectivamente), y la variedad criolla Seda (Cuadro 3). Se encontraron diferencias significativas entre los genotipos en el peso seco aéreo, raíces y total de la planta, tanto en las parcelas con estrés y sin estrés; pero no en el peso seco de los nódulos. En todas las variables de peso seco, los valores extremos superaron a uno u otro de los dos padres testigos (Amadeus 77 y L88-13) o al criollo Seda, sugiriendo recombinación para estas variables en las líneas endogámicas. Para mayor información sobre las diferencias en los genotipos, en los Anexos 1 y 2 se presentan los datos de los 10 superiores y de los 10 inferiores bajo condiciones de estrés y sin estrés, respectivamente. Para propósito de desarrollo de cultivares o de selección de progenitores para mejoramiento, se identificaron algunas líneas que superaron a ambos padres en la mayoría de las características de crecimiento (pesos secos) y morfología de raíces. Son necesarios estudios posteriores al respecto con un grupo selecto de líneas endogámicas bajo condiciones de estrés hídrico y de baja fertilidad en invernadero y campo.

Cuadro 3. Efecto del genotipo en el promedio y rango de los pesos secos aéreo, raíces, nódulos y total por planta en 102 líneas endogámicas de frijol y de los testigos Amadeus 77, L88-13 y Seda crecidas bajo tratamiento con estrés (CE), y sin estrés hídrico (SE). Zamorano, 2009.

Genotipos	Áereo (g)		Raíces (g)		Nódulos (mg)		Total (g)	
	CE	SE	CE	SE	CE	SE	CE	SE
Promedio	1.06	2.1	0.39	0.51	20	50	1.5	2.7
Rango (n=105)	0.9-1.3	1.5-2.6	0.3-0.5	0.3-1.1	10-50	30-100	1.2-1.8	2.1-3.2
Amadeus 77	0.9	1.6	0.3	0.6	20	100	1.3	2.1
L88-13	1.2	1.9	0.4	0.7	20	50	1.5	2.7
Seda	1.2	2.2	0.4	0.4	30	70	1.6	2.8
Valor P (G)	0.00**	0.00**	0.001**	0.001**	0.46 ^{ns}	0.67 ^{ns}	0.00**	0.00**
Valor P (E × G)	0.03*		0.08 ^{ns}		0.57 ^{ns}		0.01*	

*, ** y ^{ns} significativo ($P \leq 0.05$), altamente significativo ($P \leq 0.01$) y no significativo, respectivamente.

Se registraron diferencias significativas entre genotipos en todas las variables de las características de raíces incluyendo longitud, área, diámetro y volumen. Al igual que en los pesos secos, los valores promedios superaron a uno u otro padre (Amadeus 77 o L88-13) o al testigo criollo Seda, sugiriendo la presencia de líneas endogámicas con mejor recombinación para algunas de estas variables, bajo una u otra condición de estrés hídrico; siendo los valores de estas características mayores en las parcelas sin estrés (riego óptimo). Estas diferencias ayudarán a la identificación de líneas endogámicas que combinan estas características con mejor crecimiento (peso seco de la planta) bajo condiciones de estrés hídrico y de baja fertilidad en el medio.

3.1.4 Efecto de la interacción Estrés × Genotipo (E × G)

Bajo las condiciones del estudio, sólo se encontraron diferencias significativas en el peso seco de la parte aérea (follaje) y del total de las plantas (Cuadro 3), y en el volumen de raíces (Cuadro 4) para la interacción E × G. Se observaron diferencias específicas de los genotipos y el factor estrés hídrico, sugiriendo que el comportamiento de las líneas presentó variaciones según el régimen hídrico al que estuvieron sujetas; presentándose algunas líneas en mejor posición bajo estrés que sin estrés y otras lo contrario (Anexos 1 y 2). Obviamente que la selección se basaría en aquellas líneas que se ubican entre las mejores bajo condición de estrés hídrico; aunque lo deseable sería seleccionar líneas que están en las primeras posiciones en ambos regímenes de estrés hídrico (con y sin riego).

Cuadro 4. Efecto del genotipo en el promedio y rango de las características de raíces de plantas de 102 líneas endogámicas de frijol y los testigos Amadeus 77, L88-13 y Seda crecidas bajo tratamiento con estrés (CE) y sin estrés hídrico (SE). Zamorano, 2009.

Genotipos	Longitud (m)		Área (m ²)		Diámetro (mm)		Volúmen (cm ³)	
	CE	SE	CE	SE	CE	SE	CE	SE
Promedio	32.9	40.3	11.4	15.6	3.5	4.2	37.1	53.0
Rango (n=105)	24.8-39.9	26.2- 53.3	9.0-15.0	10.9-20.8	2.6-5.4	2.7-6.7	25.3-52.8	30.9-133.2
Amadeus 77	29.8	39.1	10.0	14.6	2.6	3.9	29.1	43.6
L88-13	26.7	48.7	9.8	18.9	2.8	5.7	31.5	60.9
Seda	35.0	46.3	17.6	17.6	4.8	4.8	38.5	53.6
Valor P (G)	0.003**	0.001**	0.005**	0.002**	0.001**	0.001**	0.003**	0.01**
Valor P (E × G)	0.28 ^{ns}		0.18 ^{ns}		0.12 ^{ns}		0.05*	

** , * y ^{ns} Altamente significativo (P≤0.01), significativo (P<0.05) y no significativo, respectivamente

Sin estrés hídrico, se presentaron coeficientes de correlación de Pearson (r) altamente significativos entre todas las variables de peso seco y de características de raíces, a excepción del peso seco aéreo y la longitud de raíces. La correlación entre las variables de las características de raíces fue inversamente proporcional con el peso seco de los nódulos y directamente proporcionales con el de las raíces, parte aérea y total de la planta (Cuadro 5).

Con estrés hídrico, sólo se presentaron valores significativos e inversamente proporcionales entre el peso seco de los nódulos y longitud y área superficial de las raíces, pero si para la mayoría de correlaciones entre los pesos secos de raíces, aéreo y total de la planta y las variables de raíces, con la sola excepción de la longitud de raíces y el peso seco aéreo (Cuadro 6).

La nodulación es afectada por el crecimiento (longitud, área, diámetro y volumen) de las raíces que son los órganos de mayor competencia durante la formación y funcionamiento de los nódulos.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación (r) entre los pesos secos totales de las plantas y las características de raíces de genotipos de frijol crecidos sin estrés hídrico.

Observaciones	Longitud	Área	Diámetro	Volúmen
Nódulos	-0.45**	-0.38**	-0.33**	-0.12**
Raíces	0.80**	0.78**	0.70**	0.45**
Aéreo	0.07 ^{ns}	0.19**	0.17**	0.26**
Total	0.38**	0.49**	0.44**	0.42**

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$)

^{ns} No significativo, según análisis de correlación de Pearson.

Cuadro 6. Coeficientes de correlación (r) entre las variables de pesos secos totales de las plantas y características de raíces de genotipos de frijol crecidos con estrés hídrico.

Observaciones	Longitud	Área	Diámetro	Volúmen
Nódulos	-0.18**	-0.13**	-0.07 ^{ns}	-0.04 ^{ns}
Raíces	0.67**	0.59**	0.45**	0.32**
Aéreo	-0.12*	0.03 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.10*
Total	0.15**	0.26**	0.18**	0.22**

* Significativo ($P \leq 0.05$), ** Altamente significativo ($P \leq 0.01$)

^{ns} No significativo, según análisis de correlación de Pearson.

3.2 ENSAYO 2. EVALUACIÓN DE NÚMERO DE CORONAS (VERTICIOS), RAÍCES BASALES O CORONARIAS, Y PUBESCENCIA

En promedio las líneas endogámicas fueron iguales o superiores que el padre Amadeus 77, iguales o inferiores que el padre L88-13, e inferiores que la variedad criolla Seda. Sin embargo, algunas líneas presentaron valores superiores a los dos padres y al testigo criollo en número de coronas, raíces basales y pubescencia (Cuadro 7). La búsqueda de genotipos contrastantes con las peores y mejores combinaciones del número de coronas, raíces basales y pubescencia con otras características de crecimiento de las plantas, y su evaluación bajo condiciones de estrés hídrico y baja fertilidad es importante para determinar la contribución de las características de las raíces a la eficiencia de genotipos de frijol bajo estos estreses abióticos. Las líneas contrastantes identificadas mediante este estudio serán materiales útiles para este tipo de estudio porque poseen un comportamiento agronómico similar debido al método de retrocruza-aufecundación utilizado en su desarrollo, el cual las hace ser líneas isogénicas cercanas.

La variedad criolla Seda presentó características de crecimiento y de raíces bastantes interesantes a considerar. Esta variedad posee una excelente adaptación a condiciones de estreses abióticos y por ello debe ser utilizada en estudios y como progenitor en el mejoramiento de la tolerancia del frijol a estas condiciones abióticas limitantes.

Cuadro 7. Variación del número de coronas, raíces basales (coronarias) y pubescencia de los 102 genotipos (líneas) de frijol.

Raíz	Promedio	Rango (n=105)	Amadeus 77	L88-13	Seda	DMS
No. Coronas	2.26	2-3	2.0	2.5	3.0	0.00**
No. Raíces basales	4.03	2.5-5.5	3.8	4.0	4.5	0.00**
Pubescencia (1-3)	1.76	1-3	1.8	2.3	2.5	0.00**

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

4. CONCLUSIONES

- Los genotipos con mayor crecimiento (peso seco total) bajo estrés hídrico presentaron mayor crecimiento radicular, y presentaron características morfológicas de las raíces superiores a los progenitores testigos.
- Los genotipos con mayor tolerancia a sequía y baja fertilidad presentan mayor número de coronas, raíces coronarias y pubescencia que los progenitores testigos pero no fue la variedad Seda.
- Las características de crecimiento de las plantas (pesos secos) fueron directamente proporcionales a los valores de las características de las raíces; pero la nodulación fue inversamente proporcional a las características de las raíces.

5. RECOMENDACIONES

- Seleccionar y evaluar las líneas contrastantes en ensayos de campo bajo estrés de sequía y baja fertilidad para corroborar las ventajas de las diferencias morfológicas y de crecimiento de las raíces en la tolerancia a estos limitantes abióticos.
- Confirmar si las características agronómicas y comerciales de las líneas seleccionadas son igual (o superiores) a Amadeus 77, el progenitor recurrente.
- Definir la utilidad de las líneas seleccionadas en el mejoramiento de la tolerancia a factores abióticos.
- Incluir niveles de fertilidad (baja y óptima) o usar niveles moderados de estrés de baja fertilidad en el sustrato para estimar los efectos en la tolerancia a sequía en las líneas evaluadas.

6. LITERATURA CITADA

Analytical Software Statistix[®] 8.1 User's Manual. 2003. Analytical Software[®]. 396 p.

Bliss, F.A. 1981. Utilization of vegetable germoplasm. HortScience 16: 129-132.

López, I. 2005. *Rhizobium* y su destacada simbiosis con las leguminosas. Universidad Nacional Autónoma de México, 9 p.

Molina, J. 2008. Evaluación de poblaciones de frijol rojo bajo condiciones de sequía (en línea). Consultado 1 de Jun. 2009. Disponible en <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/protocolos/granos-basicos.html>

Rosas, J.C. 2003. El cultivo del frijol común en América Tropical. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 56 p.

Rosas, J.C. 1998. El cultivo de frijol común en América tropical. Zamorano, Honduras, 52 p.

Ryser, P. 2006. The mysterious root length (en línea). Consultado 16 de Oct. 2009. Disponible en <http://www.springerlink.com/content/a1j83031822t6674/fulltext.pdf?page=1>

Vallejo, C., y E. Estrada Salazar. 2002. Mejoramiento Genético de Plantas. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. 402 p.

Voysest, O. 1999. Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 191 p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Valores de peso seco aéreo, raíces, nódulos, total y características de las raíces por planta de 10 genotipos de frijol superiores e inferiores crecidos sin estrés hídrico en invernadero. Zamorano, 2009.

Genotipos.	Pesos Secos				Raíces			
	Aéreo (g)	Raíces (g)	Nódulos (mg)	Total (g)	Longitud (m)	Área (m ²)	Diam. (mm)	Vol. (cm ³)
BRT 101-156	2.56	0.54	60	3.17	47.55	16.07	3.99	44.15
BRT 101-166	2.49	0.61	50	3.15	44.21	16.72	4.46	51.78
BRT 101-149	2.47	0.55	80	3.11	37.48	14.01	3.98	44.73
BRT 101-163	2.43	0.61	60	3.10	50.26	18.26	4.61	53.63
BRT 101-234	2.42	0.60	60	3.09	46.07	20.26	5.22	72.64
BRT 101-176	2.49	0.53	50	3.08	50.14	18.01	4.84	52.43
BRT 101-218	2.41	0.59	60	3.07	45.23	19.10	6.30	93.53
BRT 101-238	1.99	1.02	50	3.06	36.74	15.66	4.06	54.18
BRT 101-172	2.40	0.57	50	3.04	46.56	19.41	6.11	88.61
BRT 101-224	2.41	0.56	40	3.03	45.02	17.88	4.43	57.99
BRT 101-249	1.98	0.39	80	2.42	38.55	15.61	3.83	51.28
BRT 101-204	1.97	0.41	30	2.42	36.71	14.68	4.09	49.17
BRT 101-208	1.89	0.47	40	2.41	39.06	14.86	3.90	46.24
BRT 101-206	1.79	0.53	80	2.40	42.47	15.80	4.12	47.82
BRT 101-233	1.81	0.45	80	2.35	42.72	14.93	4.10	43.71
BRT 101-162	1.85	0.43	40	2.34	31.58	10.99	3.02	30.86
BRT 101-237	1.78	0.37	70	2.24	30.39	11.99	3.05	39.19
BRT 101-152	1.83	0.31	70	2.23	30.29	12.55	3.63	42.63
BRT 101-226	1.81	0.36	40	2.22	28.02	11.79	2.98	40.67
BRT 101-248	1.73	0.36	60	2.15	36.50	14.33	3.81	52.75
Promedio	2.17	0.49	60	2.73	40.84	15.90	4.20	53.00
Valor P	0.1 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.007**	0.27 ^{ns}	0.1 ^{ns}	0.78 ^{ns}
Seda	2.22	0.43	70	2.85	46.34	17.64	4.82	53.64
Amadeus 77	1.6	0.58	110	2.12	39.11	14.60	3.96	43.65
L88-13	1.91	0.68	50	2.74	48.70	18.89	5.71	60.90

Anexo 2. Valores de peso seco aéreo, raíces, nódulos, total y características de raíces por planta de 10 genotipos superiores e inferiores crecidos con estrés hídrico en invernadero. Zamorano, 2009.

Genotipos	Pesos Secos				Raíces			
	Aéreo (g)	Raíces (g)	Nódulos (mg)	Total (g)	Longitud (m)	Área (m ²)	Diam. (mm)	Vol. (cm ³)
BRT 101-182	1.34	0.44	20	1.81	36.47	13.61	4.05	43.91
BRT 101-183	1.21	0.42	40	1.68	34.35	12.36	3.65	38.39
BRT 101-194	1.26	0.40	20	1.68	30.98	11.30	3.05	34.87
BRT 101-184	1.22	0.41	40	1.68	35.45	13.03	4.03	44.14
BRT 101-173	1.21	0.43	20	1.67	33.79	12.09	3.59	37.44
BRT 101-199	1.16	0.45	50	1.67	31.30	11.56	3.42	36.89
BRT 101-167	1.15	0.48	10	1.66	38.85	13.32	4.01	39.15
BRT 101-224	1.16	0.46	30	1.65	37.35	12.76	3.95	37.26
BRT 101-213	1.17	0.43	30	1.63	38.01	14.23	4.36	45.67
BRT 101-172	1.15	0.44	30	1.63	38.40	14.74	3.97	52.52
BRT 101-204	0.93	0.39	30	1.36	30.08	3.29	3.29	33.32
BRT 101-202	0.98	0.33	20	1.36	25.44	9.60	2.90	31.46
BRT 101-191	0.93	0.39	10	1.35	36.12	12.76	3.77	38.67
BRT 101-185	0.95	0.37	10	1.35	35.07	12.41	3.53	37.03
BRT 101-205	0.98	0.32	30	1.34	28.83	9.50	2.71	26.25
BRT 101-240	0.99	0.30	30	1.33	28.23	9.03	2.62	25.26
BRT 101-235	0.87	0.42	20	1.31	33.65	12.18	3.55	42.56
BRT 101-243	0.86	0.39	50	1.30	32.77	11.19	3.40	32.24
BRT 101-212	0.89	0.38	20	1.30	26.56	10.08	2.89	33.09
BRT 101-247	0.91	0.29	30	1.24	26.06	9.26	3.04	28.55
Promedio	1.05	0.41	20	1.49	32.50	11.78	3.50	37.05
Valor P	0.82 ^{ns}	0.05*	0.04*	0.73 ^{ns}	0.05*	0.12 ^{ns}	0.03*	0.24 ^{ns}
Seda	1.17	0.39	30	1.60	35.04	12.53	3.29	38.54
Amadeus 77	0.90	0.34	20	1.27	0.02	10.03	2.57	29.14
L88-13	1.18	0.35	20	1.55	26.68	9.80	2.78	31.48

Anexo 3. Análisis del sustrato suelo: arena (1:2) utilizado en la evaluación de 102 líneas endogámicas en cilindros de suelo en invernadero. Zamorano, 2009.

Elementos	Resultados	Interpretación
pH	6.11	Lig. ácido
M.O. (%)	0.75	Bajo
N Total (%)	0.4	Bajo
P ppm (Disponible)	10	bajo
K ppm (Disponible)	266	Alto
Ca ppm (Disponible)	1040	Medio
Mg ppm (Disponible)	140	Medio
Na ppm (Disponible)	180	Normal
Cu ppm (Disponible)	2.2	Medio
Fe ppm (Disponible)	119	Alto
Mn ppm (Disponible)	80	Medio
Zn ppm (Disponible)	1.1	Bajo