Características fenotípicas de líneas de frijol común tolerantes a la sequía y a la baja fertilidad

Marcia Lucinda Benites Panchi

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2008

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Características fenotípicas de líneas de frijol común tolerantes a la sequía y a la baja fertilidad

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

Presentado por:
Marcia Lucinda Benites Panchi

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2008

Características fenotípicas de líneas de frijol común tolerantes a la sequía y a la baja fertilidad

Presentado por:

Marcia Lucinda Benites Panchi

Aprobado:

Juan Carlos Rosas, Ph.D.
Asesor Principal

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

Marcelino Guachambala, Ing. Agr.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Abelino Pitty, Ph.D.
Coordinador Fitotecnia

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

RESUMEN

Benites M. 2008. Características fenotípicas de líneas de frijol común tolerantes a la sequía y a la baja fertilidad. Proyecto especial de Ingeniero Agrónomo en Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras. 18 p.

La productividad del frijol es limitada por la sequía y la baja fertilidad. Por tal motivo, se hace énfasis en la identificación de genotipos que presenten características asociadas a mayor tolerancia a estos factores, incluyendo las características de raíces que podrían estar asociadas a su mayor eficiencia bajo estas condiciones. El objetivo del estudio fue determinar las diferencias fenotípicas que inciden en la eficiencia fisiológica de seis líneas de frijol tolerantes (SX 14825-7-1, MDSX 14797-6-1, IBC 302-29, IBC 301-204, Amadeus 77 y Seda), que fueron evaluadas bajo estrés por sequía y baja fertilidad, en invernadero y campo. Los ensayos se realizaron entre junio y agosto de 2008 en Zamorano, Honduras. Se utilizó un arreglo factorial en parcelas divididas de un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA). En el invernadero, las plantas sin fertilizante presentaron valores más altos en la longitud, área superficial, diámetro, volumen y peso de raíces ($P < 0.05$). En los genotipos se observaron resultados más altos en el genotipo SX 14825-7-1 y Seda para todas las variables de raíces. En la interacción tratamiento $\times$ genotipo sólo se observó diferencia en el peso seco de la raíz ($P < 0.05$). En el campo, el rendimiento fue superior en el tratamiento con fertilizante, pero no se observaron diferencias entre genotipos. Se registraron diferencias debida a la fertilización en el peso seco de la parte aérea, arquitectura, días a madurez y resistencia a enfermedades. Los genotipos presentaron diferencias en las mismas variables, y además en el tamaño y color de grano.

Palabras clave: eficiencia fisiológica, factores abióticos, mejoramiento genético. *Phaseolus vulgaris*.

ABSTRACT

Benites M. 2008. Phenotypic characteristics of common bean lines tolerant to drought and low fertility. Special Project of Science in Agricultural Engineering and Agricultural Production, Zamorano, Honduras. 18 p.

Bean crop productivity is limited by drought and low fertility. For this reason, emphasis is placed on identifying genotypes with characteristics associated with increased tolerance to these factors, including root characteristics that could be associated to their greater efficiency under these conditions. The objective of the study was to determine the phenotypic differences that affect the physiological efficiency of six tolerant bean lines (SX 14825-7-1, MDSX 14797-6-1, IBC 302-29, IBC 301-204, Amadeus 77 and Seda), which were evaluated under drought and low fertility stresses, in the greenhouse and field. The trials were carried from June to August 2008 in Zamorano, Honduras. A factorial arrangement in split plots of a randomized complete block (BCA) design was used. In the greenhouse, plants without fertilizer showed higher values in root length, surface area, diameter, volume and dry weight ($P < 0.05$). Among genotypes, the values were higher in the lines SX 14825-7-1 and Seda, for all the root variables. The only difference in the treatment $\times$ genotype interaction was observed in root dry weight ($P < 0.05$). In the field trial, the yield was higher in the treatment with fertilizer, but there were no differences among genotypes. On the other hand, there were differences due to fertilization in shoot dry weight, architecture, days to maturity and disease resistance. The genotypes showed differences in the same variables, and also in grain color and size.

Key words: abiotic factors, breeding, *Phaseolus vulgaris*, physiological efficiency

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Contenido.....	v
Índice de Cuadros y Anexos.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
CONCLUSIONES Y COMENDACIONES.....	14
LITERATURA CITADA.....	15

ÍNDICE DE CUADROS Y ANEXOS

Cuadro		Página
1.	Características de raíces y parte aérea en la etapa de floración de seis genotipos de frijol crecidos en condiciones de estrés de sequía y baja fertilidad bajo invernadero. Zamorano, Honduras, 2008.....	9
2.	Características de raíces y parte aérea en la etapa de la floración, rendimiento, valor comercial y peso de 100 semillas a la madurez de cosecha, y otras características agronómicas de seis genotipos de frijol común crecidos en condiciones de campo bajo estrés de baja fertilidad. La Vega 4, Zamorano, Honduras, 2008.....	13
Anexo		
1.	Identificación y pedigrí de los genotipos de frijol incluidos en los ensayos. (Red SICTA, 2007).....	17
2.	Resultado del análisis del sustrato suelo: arena (2:1) utilizado en el ensayo de invernadero. Zamorano, Honduras, 2008.....	17
3.	Cálculo de las necesidades de nutrimentos para el tratamiento con fertilización del ensayo de invernadero según los requerimientos nutricionales del cultivo de frijol (CIAT 2007).....	18
4.	Resultados del análisis de suelo del lote La Vega 4 usado en el ensayo de campo. Zamorano, Honduras, 2006.....	18

INTRODUCCIÓN

El frijol es un alimento de primera necesidad en Centro América y en otras regiones en el mundo; sin embargo, el potencial productivo del cultivo no es explotado porque se le cultiva mayormente en sistemas con bajos insumos y en condiciones marginales. La mayor parte de la producción se lleva a cabo en terrenos de laderas con pendientes extremas, suelos pobres en nutrimentos y limitaciones causadas por factores bióticos y abióticos. Bajo estos sistemas, la sequía y la baja fertilidad son los factores abióticos más importantes, ya que la falta de sistemas de riego para corregir la insuficiencia de las lluvias y la escasa disponibilidad de fertilizantes afectan la productividad del cultivo, debido a que la mayoría son manejados por pequeños productores de escasos recursos (Rosas *et al.* 2000).

En Honduras existen más de 268,000 productores de maíz y frijol. Un estudio realizado por la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras señala que los grandes productores cultivan en promedio 6.4 ha de frijol y obtienen rendimientos de 1.3 t/ha. Los productores medianos cultivan, en promedio, 2.0 ha de frijol y obtienen rendimientos de 1.2 t/ha. El pequeño productor cultiva en promedio 1.0 ha de frijol, con rendimientos de 1.0 t/ha. Las principales zonas de producción se encuentran en los departamentos de Olancho (38%), El Paraíso (30%) y Comayagua (13%) (Proyecto Red SICTA 2007).

Los enfoques de mejoramiento y selección para el desarrollo de variedades de frijol tolerantes a condiciones abióticas limitantes, responden a las limitaciones que confrontan los agricultores que producen la mayor proporción de los granos básicos en Centroamérica, incluyendo el frijol. La tolerancia a la sequía y a la baja fertilidad de los suelos están asociadas a la mayor eficiencia de ciertos genotipos de frijol con características de raíces que les permite una mayor absorción de agua y nutrimentos y/o una mayor tasa de producción de biomasa y desarrollo de granos bajo estas condiciones limitantes (Red SICTA 2006). La identificación de genotipos que presentan estas características asociadas a mayor tolerancia a la sequía y la baja fertilidad es importante para fines de mejoramiento, a través de la incorporación de estas características en genotipos superiores y/o su utilización en enfoques de variedades multilíneas para ambientes variables que presentan estrés causado por la sequía y la baja fertilidad individualmente, o ambos simultáneamente (Henry *et al.* 2008).

Los aspectos botánicos ayudan a precisar datos, por lo que una descripción varietal puede determinar la diferencia, la uniformidad y la estabilidad para cada especie: diferencia en el sentido de que la variedad se puede identificar por una o mas características morfológicas y físicas; uniforme, en el sentido de que se puede describir la variación de las características esenciales y típicas; y estable, por cuanto la variedad permanecerá sin

cambios y ofrecerá un grado razonable de confiabilidad en sus características esenciales y típicas (Muñoz *et al.* 1993).

La raíz como órgano relativamente plástico, suele sufrir, bajo la influencia del medio, modificaciones importantes. La penetración de las raíces en profundidad permite una mejor absorción de agua y aumenta la resistencia a la sequía (Dile y Box 1973). Las relaciones del sistema radicular y el agua son, sin discusión, el punto capital de su fisiología. Las raíces buscan siempre agua y cuando falta este elemento descienden a capas profundas del suelo, a condición de que la planta haya adquirido un desarrollo suficiente, para alimentar la multiplicación celular resultante de este alargamiento.

La baja fertilidad de los suelos tiene efectos negativos en el desarrollo de la planta así como en el rendimiento. Los elementos N, P, K, Ca y Mg, cumplen funciones importantes en las plantas. El papel esencial del nitrógeno es la constitución de los núcleos celulares de la clorofila en las plantas. El fósforo está ligado al metabolismo, la acción de este elemento sobre el desarrollo del sistema radicular puede tener importantes repercusiones sobre el comportamiento; en cuanto al rendimiento, a diferencia del nitrógeno, su acción influye más sobre la productividad y no sobre el peso. El potasio facilita el aumento de los órganos de reserva y un buen desarrollo de follaje; favorece la absorción de las sales nutritivas y disminuye la transpiración: El calcio y el magnesio tienen en la planta funciones múltiples; el calcio interviene en la constitución de los tejidos y tiene acción antitóxica con relación a los excesos de potasio. En cuanto al magnesio, éste interviene en la composición de la clorofila (Dile y Box 1973).

El sistema radicular pivotante consta de una raíz principal que profundiza en el suelo en busca de agua, y de raíces secundarias con pelos absorbentes más superficiales, cuya función es capturar los nutrientes que se alojan, mayoritariamente, en los primeros 20 cm del suelo (IICA 2008).

El objetivo de este estudio fue determinar las diferencias fenotípicas que inciden en la eficiencia fisiológica de líneas de frijol tolerantes a la sequía y baja fertilidad. Para ello se evaluaron estas líneas tolerantes con dos testigos comerciales bajo condiciones controladas de estrés por sequía y por baja fertilidad en invernadero, y bajo condiciones de estrés por baja fertilidad en el campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se condujeron dos ensayos, uno en invernadero y otro en campo. Ambos ensayos estuvieron ubicados en la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), Zamorano, Valle del Yegua departamento de Francisco Morazán, Honduras a 800 msnm, con una temperatura media anual de 24°C y una precipitación promedio anual de 1100 mm.

Ensayo 1: Evaluación de la tolerancia a la sequía y a la baja fertilidad de líneas promisorias y variedades de frijol bajo condiciones controladas en invernadero.

Ubicación

El ensayo se llevó a cabo en el Invernadero # 2 y en el Laboratorio de Biotecnología Aplicada del Programa de Investigaciones en Frijol (PIF) de la EAP/Zamorano.

Material experimental

Se utilizaron seis genotipos de frijol común, incluyendo las líneas promisorias SX 14825-7-1, MDSX 14797-6-1, IBC 302-29 e IBC 301-204, la variedad mejorada Amadeus 77 y la variedad criolla Seda. Los padres de las líneas promisorias identificadas como IBC incluidas en este estudio son las variedades mejoradas Amadeus 77 y Carrizalito, y la variedad criolla Paraisito (Anexo 1).

Amadeus 77 fue desarrollada como una variedad tolerante al calor y resistente al virus del mosaico dorado amarillo, para las siembras en zonas costeras de América Central. Las plantas de la variedad Amadeus 77 son de hábito arbustivo-indeterminado tipo II y de madurez temprana de 68-70 días después de la siembra (DDS). Amadeus 77 tiene una semilla de color rojo claro brillante, de forma ovoide alargada y un peso individual de 0.25 g (Rosas *et al.* 2004).

Carrizalito ha sido identificada como una variedad de alto rendimiento. Las plantas de esta variedad son de un hábito arbustivo-indeterminado erecto tipo III y de madurez temprana de 68-70 DDS. Carrizalito tiene una semilla de color rojo brillante, de forma ovoide y un peso individual de 0.22 g (Rosas *et al.* 2004).

Paraisito es una de las variedades criollas más cultivadas en Honduras. Como la mayoría de las variedades criollas de Honduras, es muy precoz, 64 días a madurez fisiológica, y de un excelente valor comercial por el color rojo claro brillante del grano. Sin embargo, es una variedad muy susceptible a las enfermedades principales de este cultivo y su potencial de rendimiento es inferior al de las variedades mejoradas. Su adaptación a zonas bajas es muy pobre por ser sensible a las altas temperaturas.

Tratamientos

Para evaluar la tolerancia a sequía y baja fertilidad de los genotipos de frijol, éstos fueron sometidos a los siguientes tratamientos: T1) Con riego, con fertilización; T2) Con riego, sin fertilización; T3) Sin riego, con fertilización; y T4) Sin riego, sin fertilización.

Diseño experimental

Se utilizó un arreglo factorial en parcelas divididas de un diseño de bloques completos al azar (BCA), en el cual los tratamientos fueron distribuidos al azar en las parcelas principales y los genotipos en las sub-parcelas. Se emplearon cinco repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por una planta por cilindro de suelo.

Facilidades

Se utilizaron cilindros de lámina de acetato de 8.5 cm de diámetro × 73 cm de altura para el crecimiento de las plantas. Los cilindros fueron colocados dentro de tubos de PVC para no afectar el crecimiento de las raíces por exposición a la luz. A su vez, los cilindros dentro de los tubos de PVC, fueron colocados en soportes de madera para mantenerlos fijos. Los cilindros fueron llenados de forma alterna con sustrato y agua para obtener una capacidad de campo uniforme en todo el cilindro antes de iniciar el ensayo. Cada cilindro a capacidad de campo pesó 5.4 kg. El sustrato utilizado fue una mezcla de suelo: arena (2:1). Los cilindros fueron ubicados en el Invernadero No. 2 del PIF donde se condujo el ensayo.

Siembra

La siembra se hizo utilizando semillas esterilizadas con cloro al 10% y pre-germinadas durante tres días en papel toalla, para obtener un establecimiento uniforme del ensayo.

Fertilización

Los cilindros con sustrato suelo: arena (2:1) presentaron una concentración media de materia orgánica (2.05%) y baja de N (0.10%), y contenidos medio de P (30.7 ppm), alto de K (550 ppm), medio de Ca (1.380 ppm) y bajo de Mg (170 ppm) (Anexo1). Los cilindros con tratamientos con y sin fertilizantes, fueron preparados por separado. En el sustrato suelo: arena con fertilizante, se añadió 4.37 g de urea (46% N), 2.73 g de triple superfosfato (46% P₂O₅), 7.55 g de cal dolomítica (22% Ca y 9.5% Mg) por cada 41 kg de medio, como se indica en el Anexo 2. Adicionalmente, el sustrato suelo: arena de los cilindros fue tratado con 15.33 g de fungicida Acrobat[®] MZ 69 WP (dimetomorf 9%, mancozeb 60%) por cilindro. La mezcla del sustrato con fertilizante y fungicida se realizó en una mezcladora manual de suelo para homogenizar el sustrato.

Riego

El riego de los cilindros se realizó por diferencia de peso, siendo el peso inicial de cada cilindro con sustrato a capacidad de campo de 5.44 kg. La diferencia del peso del cilindro al inicio y el peso cada 3-4 días determinó el volumen de agua aplicada en cada riego. El riego se suministró en horas frescas (9:00 am) con el fin de evitar daños a la planta, hasta poco antes del muestreo realizado previo a la floración. Para producir estrés por falta de agua en los cilindros bajo tratamiento sin riego (estrés por sequía), el riego se suspendió a los 10 días después de la siembra (DDS).

Muestreo y evaluación

Se muestrearon las plantas a los 28 DDS, cuando se estaba iniciando la pre-floración. La parte aérea fue separada de las raíces mediante un corte con tijera de poda a la altura de la base del tallo, separándose luego en tallos y hojas. Las hojas fueron escaneadas y evaluadas con el programa WinRhizo para determinar el área foliar. Luego, los tallos y hojas fueron secados en estufa a 75°C por 48 horas, para determinar el peso seco de la parte aérea. Las raíces fueron extraídas cortando las láminas de acetato, de esta manera se evitaron lesiones y pérdida de raíces; se colocó el contenido del cilindro en un recipiente con agua y se utilizaron tamices para escurrir y coleccionar todas las raíces. Una vez coleccionadas y lavadas con agua potable, las raíces se colocaron en erlenmeyers con una solución de etanol al 20% para su conservación. Posteriormente, las raíces fueron escaneadas, determinándose el área, volumen, diámetro promedio y longitud de la raíz de cada planta utilizando el programa WinRhizo. Después de esta evaluación, las raíces se colocaron en estufa al 75°C por 48 horas para determinar el peso seco.

Análisis estadístico

Los datos del ensayo, incluyendo los de las características de raíces determinadas en el WinRhizo, el área foliar, y los pesos secos de la parte aérea y de raíces, fueron analizados utilizando el programa estadístico Statistic 8.1. Se realizaron análisis de varianza y separación de medias (diferencia mínima significativa), al 0.05 de probabilidad.

Ensayo 2: Evaluación de la tolerancia a la baja fertilidad de líneas promisorias y variedades de frijol bajo condiciones de campo.

Este ensayo de campo se condujo en la Vega 4 de la EAP/Zamorano. Previo a la siembra (siete días antes) se aplicó Roundupmax[®] (glifosato) para controlar las malezas presentes en el lote a una dosis de 15 ml/L.

Material experimental

Se utilizaron seis genotipos de frijol común, las líneas promisorias SX 14825-7-1, MDSX 14797-6-1, IBC 302-29 y IBC 301-204, la variedad mejorada Amadeus 77 y la variedad criolla Seda.

Tratamientos

Los seis genotipos de frijol recibieron dos tratamientos: con y sin fertilizante, utilizándose tres repeticiones.

Diseño experimental

Se utilizó un arreglo factorial distribuido en parcelas divididas en un diseño BCA. Los tratamientos con y sin fertilización estuvieron asignados al azar en las parcelas principales y los genotipos a las sub-parcelas. La unidad experimental estuvo constituida por una parcela de ocho surcos de 5 m de largo (área de 24 m² conteniendo 400 plantas)

Siembra

La siembra se realizó el 12 de junio de 2008. El terreno fue preparado mediante un pase de rastra pesada seguido de dos pases de rastra ligera cruzadas y una levantadora de surcos de 0.6 m entre surcos.

Fertilización

El análisis del suelo del lote empleado dio los siguientes resultados: concentraciones bajas de materia orgánica (1.6%) y de N (0.08%), contenido bajo de P (11 ppm), alto de K (386 ppm), medio de Ca (1.550 ppm) y bajo de Mg (170 ppm) (Anexo 3). Para el tratamiento con fertilización se aplicaron 130 kg/ha de 18-46-0 en el fondo del surco a la siembra y 65 kg/ha de urea (46% N) a los 25 DDS en banda al pie de la hilera de plantas previo al aporque de las plantas con azadón. Las parcelas sin fertilización también fueron aporcadas.

Manejo del ensayo

Inmediatamente después de la siembra, se aplicó el herbicida Prowl[®] 50 (pendimetalina) para el control de malezas en pre-emergencia a una dosis de 8 ml/L. En la etapa V4 (3ra hoja trifoliada), se aplicó el herbicida Flex[®] 25 SL (Fomesafen-Difenilo5; benzamide; nitrobenzamide) para controlar malezas de hoja ancha a una dosis de 3.6 ml/L. Durante el ensayo se registraron 531.9 mm de lluvia según registros de la Estación Meteorológica de la EAP/ Zamorano.

Muestreo a la floración

El primer muestreo se realizó a los 42 DDS (etapa de floración), cosechándose muestras de 10 plantas por parcela, y separando la parte aérea y las raíces. La parte aérea (tallo, flores y hojas) se colocaron a secar en estufa a 75°C por 24 horas para determinar el peso seco. Las raíces se evaluaron contando el número de coronas (verticilios), raíces basales y raíces adventicias, para luego ser secadas en estufa para determinar el peso seco.

Evaluación de características agronómicas

Los genotipos fueron evaluados por características de importancia agronómica incluyendo la arquitectura de la planta, la reacción a enfermedades, y la madurez fisiológica. Estos criterios fueron evaluados usando una escala de 1 a 9, como se describen en el sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol (CIAT 1987).

Muestreo a la madurez de cosecha

La cosecha en las parcelas sin fertilización se realizó a los 77 DDS y en las parcelas con fertilización dos días después. Se tomaron 50 plantas por unidad experimental para determinar el rendimiento por parcela y el peso seco de 100 semillas para determinar el tamaño del grano. Las muestras de semillas fueron colocadas en estufa a 37 °C por 72 horas, para alcanzar una humedad adecuada en la semilla y expresar el rendimiento con base al 14% de humedad. Posteriormente, las muestras de semilla fueron evaluadas por su valor comercial (color) utilizando la escala de color de grano 1 a 9 desarrollada para evaluar variedades de grano rojo pequeño (raza Mesoamericana), donde 1=muy buena aceptación, y 9= pobre aceptación (Melgar 2004).

Análisis estadístico

Los datos del ensayo que incluyen variables de la etapa de floración, etapa de madurez de cosecha, evaluación de otras características agronómicas deseables, fueron analizados utilizando el programa estadístico Statistic 8.1. Se realizaron análisis de varianza y separación de medias (diferencia mínima significativa), al 0.05 de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo 1: Evaluación de la tolerancia a sequía y la baja fertilidad de líneas promisorias y variedades de frijol bajo condiciones controladas en invernadero.

Se encontraron diferencias significativas en todas las variables para los factores tratamientos (T) y genotipos (G), pero no para la interacción tratamiento $\times$ genotipo (T $\times$ G); a excepción de la interacción T $\times$ G para el peso seco de raíces (PSR). Los valores promedios de tratamientos, genotipos y la interacción T $\times$ G, y los valores DMS se indican en el Cuadro 1.

Tratamientos

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para todas las variables de raíces. Los valores de longitud, área, volumen, diámetro y PSR, fueron superiores en los tratamientos sin fertilizante que con fertilización, tanto en las plantas que recibieron riego como las que estuvieron sin riego a partir de los 10 DDS (Cuadro 1). Estos valores superiores se deben a la capacidad de adaptación de los genotipos, que se expresa en un incremento de las variables de raíces cuando las plantas se encuentran en condiciones de estrés por baja fertilidad. Las tendencias observadas en las variables de raíces, también se observaron en la parte aérea. El área foliar y el peso seco fue mayor en los tratamientos sin fertilización que los que recibieron fertilizante.

Genotipos

Se encontraron diferencias significativas entre los genotipos en todas las variables de raíces. Los mayores valores se registraron en las raíces de la línea SX 14825-7-1 y la variedad criolla Seda. A su vez, se presentaron valores similares entre Seda y Amadeus 77 en la mayoría de estas variables, excepto en el PSR (Cuadro 1). Sin embargo, las diferencias en el área foliar fueron menos obvias, aunque la línea SX 14825-7-1 y las variedades Seda y Amadeus 77 fueron relativamente superiores al resto. Cabe mencionar que los genotipos incluidos en el ensayo fueron previamente seleccionados por su mayor tolerancia a la sequía y a la baja fertilidad; incluyendo a las variedades testigos, Amadeus 77 (mejorada) y Seda (criolla), que presentan una buena adaptación a niveles moderados de estos dos estreses.

Tratamiento $\times$ Genotipo

No se encontraron diferencias significativas en las variables de raíces (con excepción del peso seco), ni en la parte aérea para la interacción T $\times$ G, lo que sugiere un mismo patrón de comportamiento de los genotipos bajo uno u otro tratamiento, aunque hubo diferencias en cuanto a los valores absolutos. Las diferencias en PSR más contrastantes, fueron para la interacción T4 (sin riego, sin fertilizante) $\times$ SX 14825-7-1 que presentó el mayor peso

seco (234 mg/planta) comparado con la interacción T1 (con riego, con fertilización) $\times$ el mismo genotipo (59 mg/planta) y las interacciones de este mismo T1 $\times$ otros genotipos, que presentaron los PSR más bajos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de raíces y parte aérea en la etapa de floración de seis genotipos de frijol crecidos en condiciones de estrés de sequía y baja fertilidad bajo invernadero. Zamorano, Honduras, 2008.

Fuentes de variación	Raíces				Parte aérea		
	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Diámetro (mm)	Peso seco (mg)	Área Foliar (cm ²)	Peso seco (mg)
Tratamiento:							
Con riego, con fertilizante (T1)	1076 ^b	130 ^b	1.26 ^b	0.91 ^b	94 ^b	635 ^{bc}	758 ^b
Con riego, sin fertilizante (T2)	1723 ^a	215 ^a	2.14 ^a	1.23 ^a	158 ^a	1159 ^a	115 ^a
Sin riego, con fertilizante (T3)	1013 ^b	132 ^b	1.39 ^b	0.73 ^b	105 ^b	413 ^c	670 ^b
Sin riego, sin fertilizante (T4)	1800 ^a	238 ^a	2.53 ^a	1.27 ^a	158 ^a	865 ^{ab}	987 ^a
DMS 0.05	335 ^{**}	44 ^{**}	0.47 ^{**}	0.28 ^{**}	22 ^{**}	355 ^{**}	225 ^{**}
Genotipo							
SX 14825-7-1	1859 ^a	239 ^a	2.46 ^a	1.34 ^a	150 ^a	945 ^a	1157 ^a
MDSX 14797-6-1	1349 ^{cd}	171 ^{bc}	1.74 ^{bc}	0.99 ^{bc}	123 ^{bc}	772 ^{abc}	873 ^{bcd}
IBC 302-29	1065 ^d	130 ^d	1.28 ^d	0.76 ^d	117 ^c	564 ^{bc}	743 ^{cd}
IBC 301-204	1103 ^{cd}	146 ^{cd}	1.54 ^{cd}	0.92 ^{cd}	120 ^{bc}	504 ^c	655 ^d
Amadeus 77	1379 ^{bc}	181 ^{bc}	1.90 ^{bc}	1.06 ^{bc}	119 ^c	823 ^{ab}	893 ^{bc}
Seda	1664 ^{ab}	207 ^{ab}	2.05 ^{ab}	1.16 ^{ab}	144 ^{ab}	1000 ^a	1027 ^{ab}
DMS 0.05	288 ^{**}	39 ^{**}	0.44 ^{**}	0.22 ^{**}	25 ^{**}	289 ^{**}	222 ^{**}
Tratamiento × Genotipo							
T1 SX 14825-7-1	1544	190	1.87	1.24	59 ^h	927	1085
T1 MDSX 14797-6-1	916	107	1.00	0.82	81 ^{gh}	618	693
T1 IBC 302-29	643	71	0.63	0.49	91 ^{fgh}	252	526
T1 IBC 301-204	677	81	0.77	0.69	112 ^{defg}	111	381
T1 Amadeus 77	1233	153	1.52	1.09	81 ^{gh}	1010	917
T1 Seda	1446	178	1.77	1.16	139 ^{bcd}	894	947
T2 SX 14825-7-1	2001	246	2.42	1.40	182 ^b	1271	1411
T2 MDSX 14797-6-1	1617	199	1.95	1.09	153 ^{bcd}	1207	1197
T2 IBC 302-29	1549	190	1.86	1.10	163 ^{bc}	999	1014
T2 IBC 301-204	1183	153	1.58	1.07	111 ^{defg}	805	747
T2 Amadeus 77	1791	235	2.47	1.34	160 ^{bcd}	1078	1148
T2 Seda	2199	267	2.58	1.39	179 ^b	1596	1385
T3 SX 14825-7-1	1219	162	1.72	0.85	126 ^{cdefg}	436	759
T3 MDSX 14797-6-1	1122	144	1.49	0.91	111 ^{defg}	442	699
T3 IBC 302-29	944	121	1.24	0.66	102 ^{efgh}	518	717
T3 IBC 301-204	932	125	1.35	0.68	97 ^{efgh}	319	591
T3 Amadeus 77	889	121	1.32	0.70	98 ^{efgh}	404	614
T3 Seda	970	122	1.23	0.57	95 ^{fgh}	357	637
T4 SX 14825-7-1	2674	358	3.84	1.87	234 ^a	1146	1373
T4 MDSX 14797-6-1	1740	235	2.53	1.11	146 ^{bcd}	820	904
T4 IBC 302-29	1125	140	1.39	0.79	110 ^{defg}	487	716
T4 IBC 301-204	1620	223	2.46	1.23	159 ^{bcd}	783	902
T4 Amadeus 77	1603	214	2.29	1.11	137 ^{bcd}	801	891
T4 Seda	2040	259	2.64	1.87	164 ^{bc}	1155	1137
DMS 0.05	ns	ns	ns	ns	50 ^{**}	ns	ns

** =P< 0.05; DMS=diferencia mínima significativa; ns=no significativo; Medias seguidas de letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes.

Ensayo 2: Evaluación de la tolerancia a la baja fertilidad de líneas promisorias y variedades de frijol bajo condiciones de campo.

En el campo se determinaron variables distintas a las que se evaluaron en invernadero, ya que en el campo es imposible extraer la raíz completa; sin embargo fue posible contar coronas, raíces basales y adventicias. En éste segundo ensayo se evaluaron las raíces y la parte aérea a la etapa de floración, la arquitectura, y la reacción a enfermedades en la etapa de llenado de vainas, el rendimiento a la cosecha y posterior el valor comercial.

Etapa de floración

Se tomó la primera muestra de las unidades experimentales a la etapa de floración, se hizo un conteo de número de coronas (NC), raíces basales (RB), raíces adventicias (RA), y peso seco de la parte aérea (PSA) de las plantas, no se encontraron diferencias entre estas variables por efecto del tratamiento (T) a excepción del PSA. En el factor genotipo (G), RA y PSA fueron significativas. Para la interacción de tratamiento $\times$ genotipo ($T \times G$), solo se encontró diferencias en la variable PSA. En el Cuadro 2 se indica los valores promedios de tratamiento, genotipo y la interacción $T \times G$, así como los valores de DMS, para estas variables.

Tratamientos

Hubo diferencia significativa entre los tratamientos en la variable PSA, siendo el tratamiento con fertilizante de mayor peso (12.5 g/planta) que el tratamiento sin fertilización (4.3 g/planta). El NC, RB y RA no variaron por el efecto del tratamiento (Cuadro 2). El mayor valor de PSA obtenido en el tratamiento con fertilizante se debe a la mayor disponibilidad de nutrientes en las plantas con este tratamiento.

Genotipos

Se presentaron diferencias significativas en RA y PSA (Cuadro 2). Los resultados señalaron que Seda tuvo el valor más alto de RA (28.7/planta) y Amadeus 77 el más bajo (14.0/planta). En cuanto al PSA, el peso más alto se observó en la línea SX 14825-7-1 (9.6 g/planta) y el más bajo en IBC 301-204 (7.5 g/planta).

Tratamiento $\times$ Genotipo

En la interacción $T \times G$, el tratamiento con fertilizante $\times$ SX 14825-7-1 obtuvo el valor más alto de PSA (13.6 g/pl), a pesar que estadísticamente muestra ser igual que los tratamientos con fertilizante $\times$ Seda y $\times$ IBC 302-29. El menor PSA se obtuvo con la interacción tratamiento sin fertilizante $\times$ Seda (3.1 g/pl).

Etapa de madurez de cosecha

En el segundo muestreo realizado a la madurez de cosecha, se evaluaron las variables rendimiento de grano, color del grano o valor comercial (VC) y peso de 100 semillas (PCS) (Cuadro 2). Los resultados indican que en el factor tratamiento (T) solo tuvo efecto significativa para la variable rendimiento de grano. En el factor genotipo (G), se observaron diferencias significativas en las variables VC y PCS. En la interacción de $T \times G$ solo se observaron diferencias significativas en la variable VC.

Tratamiento

El rendimiento y el VC del grano son dos criterios utilizados por los agricultores para la aceptación de una nueva variedad. En el rendimiento, el tratamiento con fertilizante fue superior (2774 kg/ha) que sin fertilizante (1038 kg/ha), lo que sugiere la importancia de la nutrición en la productividad de las plantas.

Genotipo

No se presentaron diferencias significativas entre genotipos en el rendimiento de grano, pero si en el VC y PCS (Cuadro 2). El VC fue mejor en las líneas IBC y la variedad Seda. El PCS fue mayor en la línea SX 14825-7-1 que en el resto, con la excepción de la variedad Seda; aunque en general, todas poseen tamaño aceptable de semilla de la clase comercial rojo pequeño, de la cual las variedades criollas tipo rojo de seda (como la variedad Seda) son las preferidas en el mercado (Proyecto Red SICTA 2007).

Tratamiento × Genotipo

No se encontraron diferencias en la interacción T × G para las variables rendimiento y PSC (Cuadro 2). Las diferencias más extremas en VC del grano se observaron en las interacciones del tratamiento con fertilizante × Seda, que fue el mejor (2.0) y las del tratamiento sin fertilización × SX 14825-7-1 (5.0) y el tratamiento con fertilizante × SX 14825-7-1 (4.0) con los VC más bajos.

Evaluación de otras características agronómicas deseables

Se hizo un evaluación de días a madures fisiológica (DMF) en esta etapa; y de la resistencia a enfermedades (RE) y de la arquitectura de la planta (AP) en la etapa de llenado de la vaina. Las diferencias en estas variables fueron significativas para los factores tratamiento y genotipo, pero en la interacción T × G solo fue significativo en la arquitectura de las plantas (Cuadro 2).

Tratamiento

Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para DMF, RE y AP (Cuadro 2). El tratamiento sin fertilizante fue más precoz (67.5 días) que con fertilizante (68.9 días), lo cual es normal por el mayor vigor y mayor producción de las plantas fertilizadas. En las variedades tratadas con fertilizante se observó una mayor RE (3.9) que en las no fertilizadas (5.3), según la escala de evaluación (1= muy resistente y 9= muy susceptible), lo que indica la contribución de la fertilización a la sanidad de la planta. En la variable AP, el tratamiento con fertilizante fue mejor (3.9) que sin fertilizante (4.7), debido al mejor vigor del primero.

Genotipo

Se registraron diferencias significativas entre genotipos para las tres variables (Cuadro 2). La variedad criolla Seda fue la más precoz (63.7 días) y la línea MDSX 14797-6-1 la más tardía (75 días) (Cuadro 2). Debido a la precocidad de las variedades criollas como Seda, las líneas mejoradas deben de presentar una madurez similar para ser aceptadas por los agricultores. La RE de algunas líneas fue superior a la variedad Seda, la cual fue la más susceptible. Por otro lado, la AP de varias líneas fue superior a esta variedad criolla.

Tratamiento × Genotipo

Se presentaron diferencias significativas solamente en la variable AP (escala 1= excelente; 9= muy pobre) para la interacción T × G (Cuadro 2). Los resultados indicaron como mejor al tratamiento sin fertilizante × SX 14825-7-1 (2.3), y como el peor el tratamiento con fertilización × Seda (6.7).

Cuadro 2. Características de raíces y parte aérea en la etapa de la floración, rendimiento, valor comercial y peso de 100 semillas a la madurez de cosecha, y otras características agronómicas de seis genotipos de frijol común crecidos en condiciones de campo bajo estrés de baja fertilidad. La Vega 4, Zamorano, Honduras, 2008.

Fuentes de variación	Floración				Madurez de cosecha			Características agronómicas		
	Número coronas raíces	Número raíces basales	Número raíces adventicias	Peso seco parte aérea (g)	Rendimiento (kg/ha)	Valor comercial (1-9)	Peso 100 semillas (g)	Días a madurez fisiológica	Reacción enfermedades (1-9)	Arqui tectura (1-9)
Tratamiento:										
Sin fertilizante (T1)	1.71	5.04	17.6	4.3 ^b	1038 ^b	3.6	20.6	67.5 ^b	5.3 ^a	4.7 ^a
Con fertilizante (T2)	1.83	5.03	21.2	12.5 ^a	2774 ^a	2.9	20.3	68.9 ^a	3.9 ^b	3.9 ^b
DMS 0.05	ns	ns	ns	4.3 ^{**}	906 ^{**}	ns	ns	1.2 ^{**}	0.7 ^{**}	0.7 ^{**}
Genotipo:										
SX 14825-7-1	1.87	5.27	15.7 ^{cd}	9.6 ^a	1852	4.5 ^a	23.0 ^a	65.5 ^d	3.8 ^{bc}	3.0 ^d
MDSX 14797-6-1	1.75	5.02	19.5 ^b	8.0 ^{bc}	1943	3.7 ^b	19.5 ^b	75.0 ^a	3.0 ^c	3.2 ^{cd}
IBC 302-29	1.67	4.62	17.8 ^{bc}	8.7 ^{ab}	1912	3.0 ^{cd}	19.2 ^b	66.3 ^{cd}	3.8 ^{bc}	3.8 ^{cd}
IBC 301-204	1.72	4.77	20.8 ^b	7.5 ^c	1945	2.5 ^d	19.8 ^b	67.3 ^c	5.5 ^{ab}	5.2 ^b
Amadeus 77	1.83	5.45	14.0 ^d	8.2 ^{bc}	1918	3.2 ^{bc}	19.5 ^b	71.5 ^b	5.3 ^{ab}	4.2 ^{bc}
Seda	1.78	5.10	28.7 ^a	8.4 ^{bc}	1868	2.7 ^{cd}	21.5 ^{ab}	63.7 ^e	6.2 ^a	6.5 ^a
DMS 0.05	ns	ns	3.3 ^{**}	1.0 ^{**}	ns	0.5 ^{**}	2.4 ^{**}	1.6 ^{**}	1.9 ^{**}	1.0 ^{**}
Tratamiento × Genotipo:										
T1 SX 14825-7-1	1.80	5.23	13.2	5.6 ^c	1065	5.0 ^a	23.0	65.3	4.7	2.3 ^d
T1 MDSX 14797-6-1	1.67	5.17	19.1	4.6 ^{cd}	1107	3.7 ^{bc}	20.3	74.3	4.0	3.7 ^{cd}
T1 IBC 302-29	1.70	4.43	16.9	4.5 ^{cde}	1136	3.3 ^{bcd}	20.0	65.7	4.7	4.3 ^{bc}
T1 IBC 301-204	1.53	4.67	16.1	3.9 ^{de}	779	2.3 ^{de}	19.7	66.0	6.3	6.0 ^a
T1 Amadeus 77	1.87	5.53	14.0	4.1 ^{cde}	1044	4.0 ^{ab}	19.7	70.7	6.0	5.7 ^{ab}
T1 Seda	1.70	4.83	26.1	3.1 ^e	1100	3.3 ^{bcd}	20.7	63.0	6.0	6.3 ^a
T2 SX 14825-7-1	1.93	5.30	18.2	13.7 ^a	2639	4.0 ^{ab}	23.0	65.7	3.0	3.7 ^{cd}
T2 MDSX 14797-6-1	1.83	4.87	19.9	11.3 ^b	2778	3.7 ^{bc}	18.7	75.7	2.0	2.7 ^d
T2 IBC 302-29	1.63	4.80	18.8	12.8 ^a	2689	2.7 ^{cde}	18.3	67.0	3.0	3.3 ^{cd}
T2 IBC 301-204	1.90	4.87	25.5	11.0 ^b	3111	2.7 ^{cde}	20.0	68.7	4.7	4.3 ^{bc}
T2 Amadeus 77	1.80	5.37	13.9	12.3 ^{ab}	2792	2.3 ^{de}	19.3	72.3	4.7	2.7 ^d
T2 Seda	1.87	5.37	31.3	13.6 ^a	2636	2.0 ^e	22.3	64.3	6.3	6.7 ^a
DMS 0.05	ns	ns	ns	4.4 ^{**}	ns	1.2 ^{**}	ns	ns	ns	1.5 ^{**}

** =P< 0,05; DMS=diferencia mínima significativa; ns=no significativo; Medias seguidas de letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes.

CONCLUSIONES

- En el ensayo conducido en invernadero, el crecimiento radicular y de la parte aérea fue mayor bajo estrés de baja fertilidad, y en los genotipos SX 14825-7-1 y Seda.
- En el ensayo de campo, se obtuvo un mayor rendimiento en las parcelas tratadas con fertilización, pero no se observaron diferencias entre genotipos.
- Bajo condiciones de campo, se presentaron diferencias en días a madurez fisiológica, reacción a enfermedades y arquitectura de planta, entre tratamientos y entre genotipos, lo que podría influenciar en la aceptación de los genotipos por los agricultores.
- También se observaron diferencias en el valor comercial del grano, lo cual podría afectar la aceptación de los genotipos por agricultores y consumidores.

RECOMENDACIONES

- Continuar con estudios controlados y de campo que aclaren la influencia de características de raíces y otras partes de las plantas, en la tolerancia a la sequía y a la baja fertilidad de genotipos de frijol.
- Realizar ensayos de campo para evaluar el comportamiento de los genotipos con la presencia de sequía y baja fertilidad simultáneamente, en la época de postrera o de verano bajo riego.
- Para futuras validaciones, seleccionar los genotipos que se comporten mejor bajo estrés de sequía y baja fertilidad, y que posean características agronómicas y de valor comercial deseables para asegurar su aceptación y adopción por agricultores y consumidores.

LITERATURA CITADA

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. Cali, Colombia. 56 p.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2007. Requerimientos nutricionales del cultivo de frijol. Protocolo para la evaluación de frijol bajo estrés de sequía. Manuscrito. 1 p.

Dile R.; Box J.M. 1973. Fitotecnia General, Fisiología del sistema radicular. Madrid, España. Editorial Mundi-prensa. 814 p.

Henry A; Rosas J.C.; Beaver J.S.; Lynch, J.P. 2008. Multilines of contrasting root architecture: Multiple stress response and belowground competition. Crop Science (sometido para publicación).

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2008. Raíces del frijol rojo para resistir sequía y baja fertilidad de los suelos (en línea). 28 de septiembre de 2008. Disponible en: <http://webiica.iica.ac.cr/prensa/boletines/nicaragua/default.asp?boletin=Boletin195&num=195>

Melgar Flores H. 2004. Desarrollo de una escala colorimétrica digital de triple estímulo para grano de frijol rojo centroamericano. Cartilla para evaluar el color de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 23 p.

Muñoz G.; Giraldo G.; Fernández de Soto J. 1993. Descriptores varietales: Arroz, frijol, maíz, sorgo. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 174 p.

Proyecto Red SICTA (Sistema de Integración Centroamericana de Tecnología Agrícola). 2007. Mapeo de las Cadenas Agroalimentarias del Maíz Blanco y Frijol en Centroamérica: Superficie cosechada, producción y rendimiento de frijol. IICA, Managua, Nicaragua. 132 p.

Red SICTA (Sistema de Integración Centroamericana de Tecnología Agrícola). 2006. Variedades de frijol tolerantes al estrés abiótico de la baja fertilidad y la sequía, y la sostenibilidad productiva y alimentaria de Centroamérica. Convocatoria a concurso de Proyectos de Innovación Estratégica Regional. Ficha del proyecto. 28 p.

Red SICTA (Proyectos Red de Innovación Agrícola). 2007. Resultados experimentales 2007. Pruebas de agricultores de líneas de frijol tolerantes a la sequía y a la baja fertilidad, Programa de Investigaciones en Frijol, EAP, Zamorano, Honduras. 8 p.

Rosas J.C.; Castro A.; Flores E. 2000. Mejoramiento genético del frijol rojo y negro mesoamericano para Centroamérica y el Caribe. *Agronomía Mesoamericana* 11(2):37-46.

Rosas J.C.; Beaver J.S.; Beebe, S.; Viana A. 2004. Nomenclatura de variedades de frijol común liberadas en Centro América y el Caribe. *Agronomía Mesoamericana* 15(2):221-224.

ANEXOS

Anexo 1. Identificación y pedigrí de los genotipos de frijol incluidos en los ensayos. (Red SICTA 2007)

Línea	Pedigrí
SX 14825-7-1	/S/B 122/PRF9653-16B-1/F1//S/B125/-MC-16P-MQ
MDSX 14797-6-1	/S/B 166/PRF9653-16B-1/S/B 136/MC-1P-MQ
IBC 302-29	Carrizalito//Carrizalito/Paraisito
IBC 301-204	Amadeus77//Amadeus77/Paraisito
Amadeus 77	Variedad mejorada
Seda	Variedad criolla

Anexo 2. Resultado del análisis del sustrato suelo: arena (2:1) utilizado en el ensayo de invernadero. Zamorano, Honduras, 2008.

Elementos	Resultados	Interpretación
pH	6.50	
M.O. %	2.05	Medio
N Total %	0.10	Bajo
P ppm (Disponible)	30.70	Medio
K ppm (Disponible)	550	Alto
Ca ppm (Disponible)	1380	Medio
Mg ppm (Disponible)	170	Bajo
Textura		Franco-arenosa
Arena %	68	
Limo %	18	
Arcilla %	14	

Anexo 3. Cálculo de las necesidades de nutrimentos para el tratamiento con fertilización del ensayo de invernadero según los requerimientos nutricionales del cultivo de frijol (CIAT 2007).

Fuente	Nutrimento	Nutrimento	Nutrimento	Fuente	Peso	Suelo	g de fuente
		(%)	(kg/ha)	(kg/ha)	(t/ha)		(Kg)
Urea	N	46.0	80.0	173.91	1630.00	41	4.374
Super fosfato triple	P2O5	46.0	50.0	108.70	1630.00	41	2.734
Cal dolomítica	Ca, Mg	22.0	66.0	300.00	1630.00	41	7.546

Anexo 4. Resultados del análisis de suelo del lote La Vega 4 usado en el ensayo de campo. Zamorano, Honduras, 2006.

Elementos	Resultados	Rango medio
pH	5.98	
M.O. %	1.63	2,00-4,00
N Total %	0.08	0,20-0,50
P ppm (Disponible)	11.00	13-30
K ppm (Disponible)	386	150-280
Ca ppm (Disponible)	1550	1000-2500
Mg ppm (Disponible)	170	180-250