

# **Caracterización de la tolerancia a sequía y baja fertilidad de genotipos de frijol**

**María Dolores Camalle Chiliquina**

**Escuela Agrícola Panamericana Zamorano**

**Honduras**

Noviembre, 2013

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

# **Caracterización de la tolerancia a sequía y baja fertilidad de genotipos de frijol**

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

Presentado por

**María Dolores Camalle Chiliquinga**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2013

## Caracterización de la tolerancia a la sequía y baja fertilidad de genotipos de frijol

María Dolores Camalle Chilingua

**Resumen:** La producción de frijol está concentrada principalmente en los países tropicales de bajos ingresos, donde la sequía y la baja fertilidad de los suelos son factores importantes en la reducción del rendimiento. El objetivo de este estudio fue identificar genotipos de frijol tolerantes a sequía y baja fertilidad en casa de malla y de campo, para su utilización como variedades comerciales o progenitores en programas de mejoramiento; y determinar las características relacionadas a la mayor eficiencia en crecimiento y rendimiento de grano bajo estas condiciones de estrés. En el ensayo en casa de malla se utilizaron 20 genotipos de frijol crecidos en cilindros de suelo con un sustrato suelo: arena (1:1), bajo tratamientos con (riego hasta los 20 DDS) y sin estrés hídrico (riego hasta el muestreo a la floración); y con y sin fertilización, mediante la aplicación de solución nutritiva cada dos días hasta los 20 DDS. En el ensayo de campo, 12 genotipos fueron crecidos con tratamientos con y sin fertilización; sin embargo, este ensayo estuvo sujeto a estrés hídrico (150 mm). En ambos ensayos se utilizó un arreglo factorial de parcelas divididas de un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En casa de malla, se presentaron diferencias por efectos individuales de estrés hídrico (E), fertilización (F) y genotipos (G), y las interacciones  $E \times F$  y  $E \times G$  en algunas variables de raíces y pesos secos de la planta. Aunque algunos genotipos como RAB 651 y MER 2226-28 tuvieron valores superiores en algunas variables de raíces bajo ambos estreses, se sugiere necesario desarrollar variedades con combinaciones de las características de raíces más importantes para mejorar la tolerancia a estas condiciones limitantes. En el campo, bajo estrés de sequía (150 mm), los efectos por fertilización presentaron las mayores diferencias en variables de raíces, peso seco y rendimiento de los genotipos. El efecto de genotipo se observó en el número de raíces coronarias y adventicias, y el diámetro de la raíz principal. Al utilizarse la media geométrica, los valores superiores de rendimiento se observaron en Amadeus 77 e IBC 308-15, sugiriendo su mejor adaptación a condiciones variables de fertilidad bajo estrés hídrico.

**Palabras clave:** Estrés hídrico, cilindros de suelo, fitomejoramiento, raíces adventicias, raíces coronarias.

**Abstract:** Bean production is concentrated mainly in low income in the tropical countries, where drought and low soil fertility are major constraints to reduce production of this crop. The aim of this study was to identify bean genotypes that are drought tolerant and low soil fertility in screen house and field for use as commercial varieties or parents in breeding programs and to determine the characteristics related to increased growth and yield efficiency grain under those stress conditions. Screen house trial were used 20 bean genotypes grown in soil cylinders with a substrate soil and sand (1:1) under treatments (irrigation until 20 DDS) and no water stress (irrigation until sampling at the bloom) and with and without fertilization by applying nutrient solution every two days until the 20 DDS. Field trial, 12 genotypes were grown with and without fertilization treatments. Though, this trial was subjected to water stress (150 mm). In both trials were used a split-plot factorial design of randomized complete block with four replications. In screen house, there were individual significance differences among water stress effects (E),

fertilization (F) and genotypes (G), and interactions among  $E \times F$  and  $E \times G$  in some variables of roots and plant dry weights. Although some genotypes such as RAB 651 and MER 2226-28 had higher values in some variables roots under both stresses, it suggests a need to develop varieties with combinations of root characteristics most important to improve tolerance of drought and low soil fertility. In the field under drought stress (150 mm), the effects of fertilization showed the greatest differences in variables of roots, dry weight and yield of the genotypes. The effect of genotype was observed in number of coronary and adventitious roots, and the diameter of the main root. The higher values of geometric mean in the yield was observed in Amadeus 77 and IBC 308-15, suggesting its better adaptation to changing conditions under water stress and low soil fertility.

**Keywords:** Adventitious roots, breeding, cylinders of soil, roots coronary, water stress.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	v
Índice de cuadros, figuras y anexos .....	vi
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>4 CONCLUSIONES .....</b>	<b>17</b>
<b>5 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>18</b>
<b>6 LITERATURA CITADA.....</b>	<b>19</b>
<b>7 ANEXOS .....</b>	<b>22</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURA Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Efecto del estrés hídrico, fertilización y del genotipo en: ángulos (AC), número (NC) y diámetro (DC) de las raíces coronarias 1 y 2, número (NA), diámetro (DiA) y densidad (DeA) de raíces adventicias, diámetro (DRP), longitud (LR), superficie (SR) y volumen (VR) de la raíz, peso seco raíz, follaje y peso total de 20 genotipos frijol. Zamorano, Honduras, 2013. ....	9
2. Efecto de la influencia del estrés hídrico y baja fertilidad de suelo en las características de la raíz en la etapa de floración, ángulo de corona uno (AC1), y corona 2 (AC2), número de corona uno (NC1), y corona 2 (NC2), diámetro de corona (DC1), y corona 2 (DC2), número (NA), densidad (DiA), densidad (DeA) de la raíz adventicias, diámetro de la raíz principal (DiP), longitud total, área superficial y volumen (VR) de la raíz, peso seco (PSR), follaje (PSF), y total (PST) por planta de 20 genotipos de frijol crecidos bajo invernadero. Zamorano, Honduras. 2013 .....	10
3. Efecto de Interacción del estrés hídrico × el genotipo en las características de la raíz y la parte aérea de la planta en la etapa de floración, corona uno (AC1) y corona 2 (AC2), número de corona uno (NC1), y corona dos (NC2), diámetro de corona uno (DC1) y corona dos (DC2), número (NA), diámetro (DiA), y densidad (DeA) de la raíz adventicia, diámetro de raíz principal (DiP) longitud de total (LR), área superficial (ASR), y volumen (VR) de la raíz, peso seco raíz (PSR), y follaje (PSF), y total (PST) por planta ,de 20 genotipos de frijol crecidos bajo invernadero. Zamorano, Honduras, 2013. ....	11
4. Efecto de Interacción del estrés hídrico × el genotipo en las características de la raíz y la parte aérea de la planta en la etapa de floración, corona uno (AC1) y corona 2 (AC2), número de corona uno (NC1), y corona dos (NC2), diámetro de corona uno (DC1) y corona dos (DC2), número (NA), diámetro (DiA), y densidad (DeA) de la raíz adventicia, diámetro de raíz principal (DiP) longitud de total (LR), área superficial (ASR), y volumen (VR) de la raíz, peso seco raíz (PSR), y follaje (PSF), y total (PST) por planta ,de 20 genotipos de frijol crecidos bajo invernadero. Zamorano, Honduras, 2013. ....	12
5. Efecto baja fertilidad de suelo y genotipo en las características de raíces ángulo; de la corona uno (AC1) y corona dos (AC2), numero de corona uno (NC1) y corona dos (NC2) diámetro de corona uno (DC1) y de corona dos (DC2), numero (NA), diámetro (DiA), densidad (DeA) de la raíz adventicia diámetro de la raíz principal (DiP) evaluadas floración y el rendimiento (RD) evaluado a madurez de cosecha de 12 genotipos de frijol crecidos en campo bajo condiciones de estrés hídrico Zamorano, Honduras, 2013.....	15
6. Efecto de la fertilización en el rendimiento de genotipos de frijol.....	16

Figura	Página
1. Influencia de los tratameintos estrés hídrico (sin riego) y la baja ferilidad ( con fertilizante y sin fertilizante) en crecimiento y desarrollo de l raíz de un genotipo cultivado bajo invernadero (casa de malla). .....	7
2. Influencia de los tratamientos estrés hídrico (con reigo) y baja fertilidad ( sin fertil y con fertilizante) en crecimiento y desarrollo de la raíz de un genotipo cultivado baja invernadero (casa de malla). .....	8

Anexo	Página
1. Análisis de los suelos usados en el ensayo 1 y ensayo 2.....	22
2. Procedencia, pedigrí y color de grano de los 20 genotipos. ....	23
3. Solución nutritiva libre de nitrógeno de Broughthon y Dillworth (1971). ....	24

# 1. INTRODUCCIÓN

El frijol común, *Phaseolus vulgaris*, es la leguminosa alimenticia más importante para el consumo humano (Pastor y Howerd 1994). Contiene de 18 a 25% de proteína, 61% de carbohidratos y 2% de grasa. Esto hace que el frijol sea considerado como una fuente barata de proteína y calorías para pequeños agricultores de países de bajo recursos económicos (Rao 2002).

La producción de frijol está concentrada principalmente en los países tropicales de bajos ingresos, los cuales generan más de las tres cuartas partes de la producción mundial que es de aproximadamente 8.5 millones de toneladas métricas. En Honduras la producción de frijol para el 2011 fue de 91,149 toneladas (FAOSTAT 2013).

Cerca del 60% de las regiones productoras de frijol presentan periodos prolongados de sequía, y este es el segundo factor más importante de la reducción en rendimiento, después de las enfermedades (Thung; Rao 1999; Rao 2002). Más del 60 % del área de cultivo de frijol en Honduras y Centro América se siembra en postrera bajo el sistema de relevo después del maíz (Rosas *et al.* 1991). Durante la época de postrera el área de frijol sembrada en Honduras se triplica en comparación a primera; y en esta época de postrera las pérdidas por sequía alcanza hasta un 50 % (Cotty *et al.* 2001).

Según el estudio realizado en el corredor seco de Honduras en el 2012, constituido por departamentos que se caracterizan por presentar precipitaciones bajas e irregulares, las pérdidas en frijol por sequía en la producción de ciclo de primera y de postrera, alcanzan el 38% y 60%, respectivamente, en los municipios del sur de La Paz y el sur de Francisco Morazán; y un 10% y 53% en Intibucá, Lempira, Santa Bárbara, y el norte de La Paz (FAO 2012).

El frijol requiere de 300 a 350 mm de agua durante el ciclo del cultivo, siendo el máximo consumo de agua en el llenado de las vainas, cuando el consumo llega a 8 mm por día (Rosas, 2003). La planta al no contar con la disponibilidad de agua es sometida al estrés hídrico o sequía. Los efectos de la sequía son impactantes si se dan en los periodos críticos del cultivo, es decir, en la floración y al inicio del llenado del grano (FAO, 2012).

El frijol no es una leguminosa tolerante a sequía; sin embargo, posee características que le atribuyen escape (precocidad), evasión y tolerancia a la deshidratación (Acosta *et al.* 2004). La tolerancia a sequía se define por el rendimiento relativo de un genotipo comparado con otros genotipos sujetos a las mismas condiciones de sequía (Hall 1993). Para conocer el rendimiento bajo condiciones de sequía ( $R_s$ ) y sin sequía ( $R_r$ ), se calcula la media geometría del rendimiento  $MG = \sqrt{R_s * R_r}$  para cada genotipo. Se ha usado la MG como criterio de selección porque ha mostrado ser el criterio más efectivo para la resistencia a sequía en frijol; para calcular la MG se usa, datos de rendimiento de cada genotipo, bajo riego y sequía (Abebe *et al.*, 1988; Samper 1984).



La raíz es un órgano importante que cumple con varias funciones fisiológicas incluyendo la nutrición de la planta, cuya función tiene relación directa con la cantidad y calidad de biomasa a cosechar; además es el órgano de sostén, reserva y la regulación fisiológica de la planta (Morales 1997).

Es importante que la planta desarrolle un sistema radicular vigoroso para mantener la absorción de agua en suelos secos como característica de adaptación (Turner 1979; Huang y Gao 2000). El sistema radicular superficial es más eficiente en la absorción de nutrientes en los primeros 20 cm de profundidad donde se concentra los nutrientes del suelo, y los sistemas de raíces profundas favorecen a la extracción de agua y la resistencia a la sequía (Ho *et al.* 2005).

En Zamorano, el Programa de Investigaciones en Frijol (PIF) conduce investigaciones con el objetivo de identificar genotipos tolerantes a sequía y a baja fertilidad del suelo. En un ensayo conducido en el 2008, se determinó las características fenotípicas de seis genotipos de frijol sometidas a condiciones de estrés hídrico y a la baja fertilidad, para conocer los mecanismos relacionados a la tolerancia a condiciones de estrés abiótico (Benites 2008). En otro ensayo se evaluó la respuesta de 12 genotipos de frijol inoculados con cepas de *Rhizobium* (CIAT 899 y CIAT 632), sometidos a condiciones de estrés hídrico y baja fertilidad de suelo (Valladares 2009). Posteriormente se evaluaron 20 genotipos de frijol sometidos a condiciones de sequía y baja fertilidad inoculadas con tres cepas de *Rhizobium* (Díaz y Moncayo 2011).

El agua es un factor importante para el crecimiento de cualquier planta, es por ello que el crecimiento y rendimiento del cultivo de frijol depende de la disponibilidad de agua. Desafortunadamente se estima que el 60% de los cultivos de frijol en los países subdesarrollados sufren de falta de agua, es decir sequía (White 1985), por ende es indispensable contar con genotipos de frijol que se adapten a la sequía y la baja fertilidad del suelo y contribuir con la seguridad alimentaria.

El cambio climático trae consigo sequías prolongadas o excesos de lluvia que dificulta, cada vez más, la producción agrícola, a esto se une el mal uso del suelo que ha dado como resultado suelos pobres deficientes de nutrientes. Estos eventos crean la necesidad de buscar nuevas alternativas de producción como el uso de variedades mejoradas con mejor potencial de rendimiento en suelos con baja fertilidad y condiciones de sequía.

El objetivo del estudio fue identificar genotipos de frijol tolerantes a sequía y baja fertilidad en condiciones controladas bajo invernadero (casa de malla) y de campo para la utilización como variedades comerciales o progenitores en programas de mejoramiento. Además determinar las características de genotipos de frijol relacionadas a la mayor eficiencia en crecimiento y rendimiento de grano bajo condiciones de estrés hídrico y baja fertilidad del suelo.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** Los experimentos de campo y casa malla se realizaron en la instalación de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano situado en el Valle de Yeguaré, departamento de Francisco Morazán, a 14° 00' N, 87° 02' W, 800 msnm, con una precipitación y temperatura promedio anual de 1100 mm y 24 °C. Los estudios se realizaron en el periodo de junio y Octubre 2012.

**Ensayo 1: Tolerancia a sequía y baja fertilidad de 18 líneas avanzadas y dos variedades testigos en condiciones controladas de casa malla.**

**Tratamientos y diseño experimental.** El ensayo 1 se llevó a cabo en el invernadero número dos (casa de malla) del Programa de Investigación de Frijol (PIF) de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Durante los meses de junio y octubre del 2012, usando la metodología de cilindros PVC de 80 cm largo x 8 cm diámetro conteniendo un sustrato suelo: arena (1:1, peso: peso) en bolsas plásticas desarrollada en CIAT (Polanía *et al.* 2009). Las características del sustrato fueron: pH 5,57, 1,64% M.O. (bajo), 0,08 % N total (bajo), 13 mg/kg P (medio), 226 mg/kg K (alto), 967 mg/kg Ca (medio), 159 mg/kg Mg (medio), y 35 mg/kg Na (normal) (Anexo 1).

El ensayo incluyó 20 genotipos de frijol, 18 variedades/líneas seleccionados en ensayos anteriores por su tolerancia a sequía y baja fertilidad y dos variedades testigos, Amadeus 77 (variedad mejorada) y Seda (variedad criolla). Los genotipos se describen en el Anexo 2. El experimento se estableció en un arreglo factorial con parcelas divididas de un Diseño de Bloques Completos al azar (BCA). Los tratamientos de estrés hídrico (con y sin riego) fueron distribuidos en parcelas, los de fertilizante (con y sin fertilización) en subparcelas y los genotipos en sub-subparcelas con 4 repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por un cilindro de suelo conteniendo una planta.

Se sembraron dos semillas pregerminadas por cada cilindro de suelo. Las semillas fueron esterilizadas superficialmente con alcohol al 70% y cloro al 5%, luego fueron pregerminadas por dos días en placas Petri conteniendo agar. Se utilizaron dos cilindros por genotipo, para los muestreos a la floración y madurez de cosecha. El riego se realizó por la mañana (9:00- 10:00am) aplicando 70ml/día/cilindro. El riego en el tratamiento con estrés de sequía fue suspendido a los 20 DDS; el tratamiento sin estrés hídrico, se continuó regando hasta el momento de los muestreos a floración y cosecha. Los tratamientos con fertilización fueron implementados a través del riego usando una solución nutritiva libre de nitrógeno (Broughton y Dillworth, 1970) (Anexo 3), con adición de 2 gramos de urea a 1000ml de agua, aplicada cada dos días hasta los 20 DDS.

Las unidades experimentales con tratamiento sin fertilizante sólo recibieron agua en el riego diario.

**Evaluación.** En la etapa de floración, 35 días después de la siembra (DDS), se cosecharon las plantas separando la parte aérea de la raíz mediante un corte en la base del tallo. La parte aérea de la planta se colocó en una bolsa de papel y se colocó en un horno a 70 °C × 72 h para determinar el peso seco en una balanza digital.

Las raíces separadas del follaje fue extraída y lavada, para eliminar los residuos de sustrato, introducidas en bolsas plásticas y llevadas al laboratorio para la evaluación del número de coronas (verticilios), ángulo de la corona con un transportador, diámetro de las raíces coronarias, diámetro de la raíz principal a los 10 cm, y diámetro de las raíces adventicias con la ayuda del pie de rey en mm, número de raíces adventicias y densidad de la raíz adventicias. Luego la raíz fue colocada en una solución de alcohol al 25 %, después escaneadas con un escáner Epson Perfection 4990 Photo. Las imágenes escaneadas fueron analizadas con el software (WinRHIZO, Regent Instruments, Canadá). Con el software se midió la longitud, superficie del área, volumen y el diámetro de la raíz. Después las raíces se secaron en horno a 70 °C × 72 h, y se determinó la biomasa de raíz.

## **Ensayo 2: Tolerancia de genotipos de frijol a la baja fertilidad del suelo en condiciones de campo.**

El ensayo 2 fue conducido en siembra de postrera en Octubre del 2012, en el lote La Vega 4, ubicado en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. El ensayo se condujo para determinar las diferencias de crecimiento y rendimiento de grano de los genotipos de frijol bajo estrés de baja fertilidad.

**Tratamientos y diseño experimental.** El ensayo incluyó 12 genotipos de frijol, 10 líneas avanzadas (VAX 3, A774, La Majada AF, RBF 19-63, IBC 308-15, IBC 309-23, IBC 305-67, SX 14825-7-1, RAB 651 y Aifi Wuríti) y dos testigos, Amadeus 77 (variedad mejorada) y Seda (variedad criolla). Las líneas fueron seleccionadas por presentar tolerancia a la sequía y la baja fertilidad en estudios anteriores. Ver detalles de los genotipos incluidos en el estudio en el anexo 2. Se usaron dos tratamientos de fertilización: con y sin 130 kg/ha de 18-46-0 a la siembra y 32.5 kg/ha de urea al aporque.

Se usó un arreglo factorial en parcelas divididas de un diseño de bloques completamente al azar. Los tratamientos con y sin fertilización fueron distribuidos en parcelas y los genotipos en sub-parcelas, y se utilizaron cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por parcelas de tres surcos de 5 m de largo. Al ser sembrado en la parte final del ciclo de postrera, el ensayo estuvo sujeto a condiciones de baja precipitación (150 mm lluvia y riego) por lo que se tuvo un condiciones de estrés de sequía que afectaron el crecimiento y rendimiento de grano.

La siembra se efectuó con distanciamientos de 70 cm entre surcos y 10 cm entre plantas. Al momento de la siembra, las parcelas con fertilizante fueron fertilizadas con 130kg/ha de 18-46-9 y 32.5 kg/ha de urea al aporque, se realizó el control químico de malezas a la

siembra y a la floración; y el control de insectos y enfermedades recomendado hasta el llenado de vainas.

**Evaluación.** Para la primera evaluación se realizó un muestreo a los 35 DDS (floración), cosechándose 5 plantas por unidad experimental. Se separó la raíz de la parte aérea de planta, y se procedió a lavar las raíces para luego evaluar el ángulo (con transportador) de las coronas, número y diámetro de las raíces coronarias, diámetro de la raíz principal a los 10cm, y número, diámetro (con pie de rey) y densidad de raíces adventicias. La parte aérea (follaje) se colocó en bolsas de papel y fueron secadas en un horno a  $70\text{ }^{\circ}\text{C} \times 72\text{ h}$  y se determinó el peso seco aéreo con una balanza digital.

A la madurez de cosecha, a los 75 DDS, se cosecharon 20 plantas por unidad experimental y se determinaron el rendimiento por parcela y en kg/ha.

En los dos ensayos se realizaron análisis de varianza (ANDEVA), para determinar la significancia del modelo; separación de medias con el método de la Diferencia Mínima Significativa (DMS) con probabilidad  $P \leq 0.05$  para evidenciar si existe diferencia entre tratamientos. El paquete estadístico usado fue Statistix 10.0.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **Ensayo 1: Tolerancia a sequia y baja fertilidad de 18 líneas avanzadas y dos variedades testigos, en condiciones controladas de casa malla.**

**Estrés Hídrico.** No se encontró diferencia significativa en los tratamientos estrés hídrico (con riego, sin riego) para todas las variables de raíz. Solo tres variables presentaron diferencia significativa el diámetros de corona uno (DC1) y corona dos (DC2) y Peso seco raíz (PSR) (Cuadro1). El estrés por sequía redujo la producción del peso seco de la raíz.

**Fertilizante.** En tratamiento fertilizante (sin fertilizante y con fertilizante) se encontró diferencia significativa en las variables, número (NA), y densidad (DeA) de la raíz adventicia, longitud total (LR), área superficial (ASR), volumen (VR), y peso seco (PSR) de la raíz. El estrés por fertilízate redujo notablemente la producción de biomasa de raíz y aérea cuando se compra con la producción con fertilizante (Cuadro 1).

Los genotipos IBC 308-15, SX 14825-7-1, MDSX 14797-6-1, IBC 302-29 tuvieron mayor crecimiento radicular a través de la profundidad del suelo, el genotipo SX 14825-7-1 condicen con lo reportado por Benites (2008), Díaz y Moncayo (2011). Los genotipos TLP 19, MDSX 14797-6-1, RAB 651, IBC 302-29 coincide con los reportas por Díaz y Moncayo (2011), lo que indica que son genotipos con tendencias a desarrollar raíz profundas características importante para la selección de un genotipo como tolerante a la sequia. La disponibilidad de agua tiende a ser mayor con la profundidad, y un genotipo con raíz profunda sería favorable en condiciones de sequía (Ryser 2006; Ho *et al.* 2005).

**Genotipos.** No se observaron diferencias genotípicas significativas en las variables de las características de raíz solo se encontró diferencia para variables de la raíz adventicia (NA), (DiA) y (DeA), y el numero de la corona (NC2). Los genotipos más sobresalientes para las variables que presentan diferencia significativa son PR 0340-3-3-1, IBC 301-204 (*bgml*), La Majada AF, RAB 651, Aifi Wuríti, TLP 19, comparados con el testigo Seda (variedad criolla, el otro testigo Amadeus 77 tuvo un comportamiento similar a los 6 genotipos mencionados anteriormente (Cuadro 1).

#### **Interacciones**

**Estrés hídrico × fertilizante (E × F).** Los tratamientos estrés hídrico (con riego y sin riego) × tratamiento fertilizante (con fertilizante y sin fertilizante) no produjo diferencias significativas en las características de raíz excepto en el (NA) en donde el tratamiento con riego, sin fertilizante presente el valor más alto (10 raíces/planta) lo que podría indicar que en presencia de riego y ausencia de fertilizante la planta desarrollaría más raíces adventicias para buscar nutrientes del suelo, y en el peso (PSF) característica de la parte

aérea de la planta (Cuadro 2) el peso seco del follaje (PSF), y el peso total (PST) se vio afectada por el estrés de sequía y baja fertilidad, esto se debería a que según se incrementa la sequía, el proceso se que ve afectado es la expansión y crecimiento celular, debido a la disminución de la turgencia (Davies; Zhang 1991).

**Estrés hídrico × genotipo (E × G).** Bajo las condiciones del estudio, no se encontró diferencia significativa para todas las características de raíz ni la parte aérea de la planta con excepción del DC1. Sin embargo se encontró diferencias en las medias de los genotipos RAB 651, IBC 302-29, MDSX 14797-6-1, A774, IBC 308-15, SX 14825-7-1, La Majada AF para las variables LR, ASR, PSR, PSF, y los de menor desarrollo fueron VAX 3, MER 2226 -28, Aifi Wuríti para la variable LR, IBC 309-23, IBC 308-15 para la variable PSR, y PSF (Cuadro3 y 4).

Para los resultados en la LR, ASR, PSF fueron sobre salientes los genotipos SX 14825-7-1, RAB 651, IBC 302-29, IBC 305- 67, SRS 6-6, y los genotipos de menor desarrollo fueron Seda usado con testigo, IBC 301-204 e IBC 309-23, genotipos en condiciones de sequía (sin riego) por 20 DDS. El genotipo SX 14825-7-1 no presenta un valor sobresaliente en la variable (PSF) por lo que podría ser que la planta está destinando la mayor cantidad de energía en profundizar la raíz (Cuadro 3 y 4). La inhibición de la tasa de emisión de las raíces secundarias y la raíz adventicia podría ser una estrategia que le permite a la planta economizar fotosintatos durante la sequía, los cuales podrían ser usados para la formación de nuevas raíces cuando se retorne el riego (Ontiveros *et al.*2005).

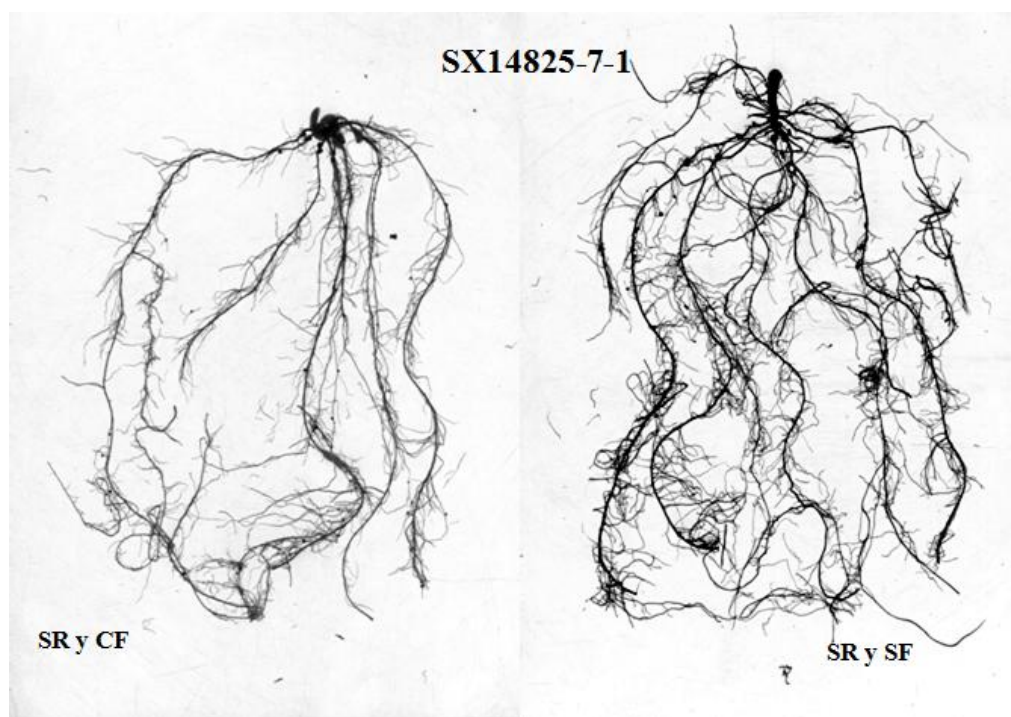


Figura 1. Influencia de los tratamientos estrés hídrico (sin riego) y baja fertilidad (con fertilizante y sin fertilizante) en crecimiento y desarrollo de la raíz de un genotipo cultivado baja invernadero (casa de malla).

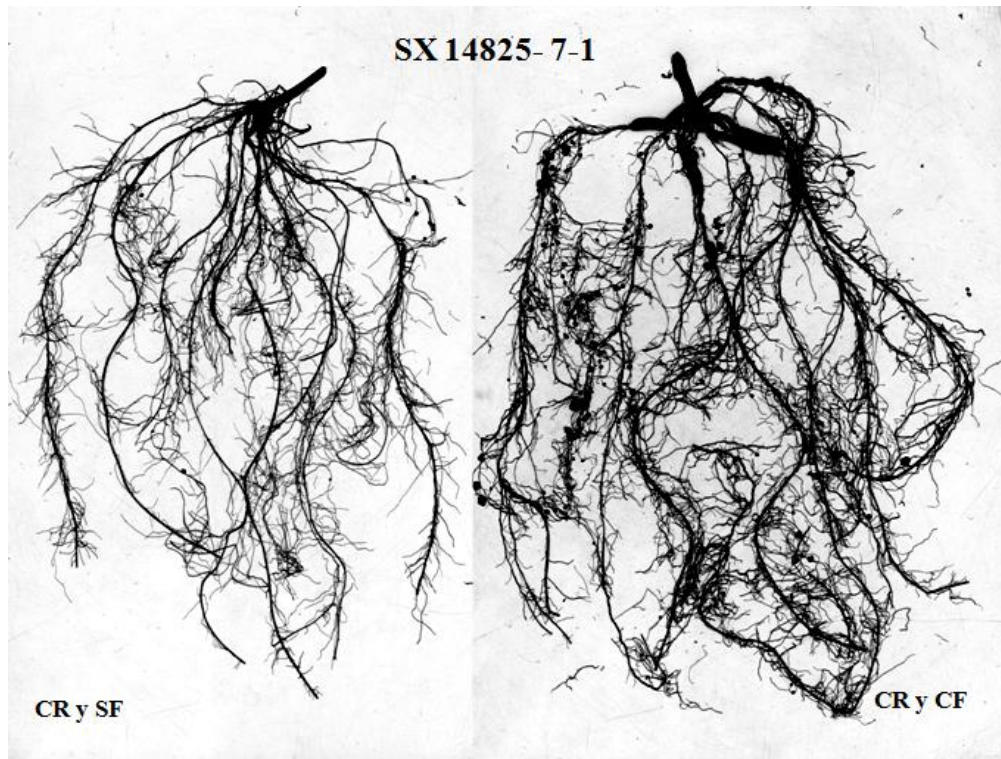


Figura 2. Influencia de los tratamientos estrés hídrico (con riego), y baja fertilidad (sin fertilizante y con fertilizante) sobre el desarrollo de las características de la raíz de un genotipo cultivado bajo invernadero (casa de malla).

**Fertilizante × genotipo (F × G).** No se encontró diferencia significativa entre tratamientos.

**Tratamiento × genotipo (R × F × G).** Bajo las condiciones del estudio, no se encontró diferencia significativa.

Cuadro 1. Efecto del estrés hídrico, fertilización y del genotipo en: ángulos (AC), número (NC) y diámetro (DC) de las raíces coronarias 1 y 2, número (NA), diámetro (DiA) y densidad (DeA) de raíces adventicias, diámetro (DRP), longitud (LR), superficie (SR) y volumen (VR) de la raíz, peso seco raíz, follaje y peso total de 20 genotipos frijol. Zamorano, Honduras, 2013.

Fuentes de variación	AC1 (°)	AC2 (°)	NC1	NC2	DC1 (mm)	DC2 (mm)	NA	DiA (mm)	DeA	DRP (mm)	LR (m)	ASR (m <sup>2</sup> )	VR (cm <sup>3</sup> )	PSR (g)	PSF (g)	PST (g)
<b>Estrés hídrico</b>																
Con riego	8.3	22.4	3.3	3.3	0.8	0.8	7.8	0.4	21.5	7.0	49.0	11.2	3.5	0.4	1.6	2.0
Sin riego	6.3	19.3	3.4	3.3	0.7	0.7	5.6	0.3	16.7	0.7	37.8	9.9	3.3	0.3	0.9	1.2
DMS 0.05	ns	ns	ns	ns	0.04*	0.05*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.08*	ns	ns
<b>Fertilización</b>																
Con fertilizante	6.9	22.0	3.4	3.2	0.8	0.8	8.0	0.4	23.5	7.0	47.7	11.4	3.6	0.4	1.5	1.9
Sin fertilizante	7.6	19.8	3.3	3.4	0.7	0.8	5.4	0.3	14.7	0.7	39.0	8.8	3.2	0.3	0.9	1.2
DMS 0.05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.43*	ns	8.2*	ns	8.2*	2.4*	0.4*	0.04*	0.31*	ns
<b>Genotipo</b>																
VAX 3	6.9	18.2	3.3	3.3	0.8	0.7	6.8	0.7	33.2	0.7	31.2	7.1	3.1	0.4	1.2	1.5
A774	7.3	17.5	3.4	3.4	0.8	0.7	6.4	0.8	8.0	0.7	46.3	10.7	3.3	0.4	1.3	1.7
PR 0340-3-3-1	8.1	20.6	3.8	3.3	0.7	0.9	7.9	0.7	10.3	0.8	42.6	9.5	3.0	0.4	1.3	1.7
La Majada AF	7.9	18.8	3.4	3.8	0.8	0.8	4.7	0.7	4.3	0.7	47.7	10.3	3.4	0.4	1.3	1.7
RBF 19-63	7.5	18.8	3.5	3.3	0.7	0.7	5.3	0.8	22.0	0.8	40.6	9.8	3.8	0.3	1.3	1.6
IBC 308-15	6.9	18.9	3.3	3.4	0.8	0.8	5.4	0.8	18.3	0.7	51.0	11.9	3.6	0.3	1.2	1.5
IBC 309-23	6.6	18.8	2.9	2.6	0.7	0.7	8.1	0.8	16.9	0.7	37.5	8.6	3.6	0.3	1.0	1.4
IBC 301-204 (bgml)	8.6	25.0	3.2	3.1	0.7	0.7	7.8	0.7	25.1	0.7	40.5	11.9	3.9	0.4	1.2	1.6
IBC 302-29 (bgml)	6.3	21.3	3.0	3.3	0.7	0.8	6.4	0.8	9.5	0.7	60.9	14.4	3.5	0.4	1.2	1.6
IBC 305- 67	7.4	21.3	3.6	3.4	0.8	0.8	8.4	0.7	19.4	0.7	43.8	10.0	3.0	0.3	1.2	1.5
SX 14825-7-1	7.2	19.4	3.3	3.4	0.7	0.7	3.9	0.7	16.1	0.7	51.8	11.9	3.0	0.3	1.1	1.4
MDSX 14797-6-1	6.9	21.3	3.4	3.5	0.7	0.8	6.6	0.7	19.3	0.7	50.4	12.4	3.1	0.4	1.2	1.6
TLP 19	6.9	21.3	3.1	3.5	0.8	0.8	6.3	0.8	42.5	0.8	39.8	9.6	4.6	0.4	1.3	1.7
RAB 651	8.9	21.3	3.6	3.4	0.6	0.7	8.6	0.8	25.9	0.7	46.3	11.1	3.3	0.3	1.2	1.6
SRS 6-6	7.3	20.0	3.1	2.9	0.7	0.8	7.6	0.7	17.8	0.7	47.9	11.2	3.3	0.4	1.3	1.7
RBF 18 - 72	7.4	23.1	3.3	3.4	0.7	0.8	5.9	0.7	24.1	0.7	38.7	8.8	3.3	0.4	1.2	1.6
MER 2226 -28	6.8	21.3	3.4	3.8	0.8	0.8	9.6	0.8	13.3	0.7	34.0	7.8	3.4	0.4	1.3	1.6
Aifi Wuríti	8.4	22.6	3.6	2.7	0.8	0.8	5.6	0.8	22.1	0.8	41.6	9.9	3.5	0.4	1.3	1.6
Amadeus 77	6.1	19.4	3.4	3.6	0.7	0.8	6.6	0.8	24.8	0.8	40.7	9.9	3.7	0.4	1.2	1.6
Seda	6.6	20.6	3.6	3.6	0.7	0.7	6.4	0.7	9.3	0.7	34.2	7.8	3.1	0.4	1.3	1.7
DMS 0.05	ns	ns	ns	0.6*	ns	ns	3.0*	0.1*	15.9**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

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



Cuadro 2. Efecto de la influencia del estrés hídrico y baja fertilidad de suelo en las características de la raíz en la etapa de floración, ángulo de corona uno (AC1), y corona 2 (AC2), número de corona uno (NC1), y corona 2 (NC2), diámetro de corona (DC1), y corona 2 (DC2), número (NA), densidad (DiA), densidad (DeA) de la raíz adventicias, diámetro de la raíz principal (DiP), longitud total, área superficial y volumen (VR) de la raíz, peso seco (PSR), follaje (PSF), y total (PST) por planta de 20 genotipos de frijol crecidos bajo invernadero. Zamorano, Honduras. 2013.

Interacción	AC1 (°)	AC2 (°)	NC1	NC2	DC1 (mm)	DC2 (mm)	ND	DiA (mm)	DeA	DRP (mm)	LR (m)	AR (m <sup>2</sup> )	VR (cm <sup>3</sup> )	PSR (g)	PSF (g)	PST (g)
<b>Riego x Fertilizante</b>																
Con riego, con fertilizante	8.4	2.4	3.4	3.3	0.8	0.8	6	0.4	29.0	0.7	46.7	13.3	3.8	0.5	2.0	2.8
Con riego, sin fertilizante	8.2	2.1	3.3	3.4	0.7	0.8	10	0.4	17.0	0.7	41.2	9.2	3.3	0.3	1.1	1.5
Sin riego, con fertilizante	5.6	2.0	3.4	3.2	0.7	0.7	5	0.3	19.0	0.7	38.7	9.6	3.5	0.3	1.0	1.9
Sin riego, sin fertilizante	7.0	1.8	3.4	3.4	0.7	0.7	6	0.3	15.0	0.8	36.8	8.3	3.1	0.3	0.8	1.5
DMS 0.05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	2**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.89*	0.9*

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

Cuadro 3. Efecto de Interacción del estrés hídrico × el genotipo en las características de la raíz y la parte aérea de la planta en la etapa de floración, corona uno (AC1) y corona 2 (AC2), número de corona uno (NC1), y corona dos (NC2), diámetro de corona uno (DC1) y corona dos (DC2), número (NA), diámetro (DiA), y densidad (DeA) de la raíz adventicia, diámetro de raíz principal (DiP) longitud de total (LR), área superficial (ASR), y volumen (VR) de la raíz, peso seco raíz (PSR), y follaje (PSF), y total (PST) por planta, de 20 genotipos de frijol crecidos bajo invernadero. Zamorano, Honduras, 2013.

Fuentes de variación	AC1 (°)	AC2 (°)	NC1	NC2	DC1 (mm)	DC2 (mm)	NA	DiA (mm)	DeA	DiP (mm)	LR (m)	ASR (m <sup>2</sup> )	VR (cm <sup>3</sup> )	PSR (g)	PSF (g)	PST (g)
Con riego																
VAX 3	6.2	20.0	3.0	3.0	0.8	0.7	9.9	0.4	13.9	0.8	32.7	7.3	3.1	0.4	1.5	1.8
A774	7.8	16.3	3.4	3.3	0.9	0.7	7.9	0.4	9.3	0.7	53.2	12.2	3.4	0.5	1.7	2.2
PR 0340-3-3-1	10.1	17.5	3.4	2.9	0.8	0.9	11.1	0.4	16.4	0.6	47.4	10.5	2.8	0.4	1.7	2.2
La Majada AF	10.3	18.8	3.1	3.5	0.7	0.8	5.8	0.3	20.4	0.7	52.5	10.6	3.5	0.4	1.6	2.0
RBF 19-63	7.1	32.5	3.8	3.3	0.7	0.8	3.8	0.5	25.7	0.8	41.0	9.9	4.0	0.4	1.5	1.8
IBC 308-15	6.5	20.0	3.0	3.4	0.8	0.8	5.1	0.4	23.8	0.7	61.7	14.1	3.7	0.3	1.4	1.8
IBC 309-23	9.0	16.5	3.1	3.1	0.6	0.8	10.8	0.4	23.9	0.7	45.9	10.7	4.0	0.3	1.4	1.7
IBC 301-204 (bgml)	10.1	20.0	3.0	2.9	0.8	0.8	8.1	0.4	24.9	0.8	53.9	12.9	3.7	0.4	1.6	2.0
IBC 302-29 (bgml)	9.5	15.0	3.0	3.4	0.7	0.9	6.6	0.3	18.4	0.7	75.8	17.8	3.5	0.4	1.5	1.8
IBC 305- 67	9.5	20.0	3.6	3.5	0.9	0.8	9.4	0.4	15.1	0.7	43.1	9.4	2.8	0.4	1.5	1.9
SX 14825-7-1	7.9	17.5	3.5	3.4	0.8	0.8	4.0	0.4	15.8	0.7	52.9	11.7	3.1	0.4	1.5	1.9
MDSX 14797-6-1	7.8	21.3	3.4	3.5	0.7	0.8	9.1	0.5	25.5	0.7	68.3	15.8	3.5	0.4	1.5	2.0
TLP 19	6.2	17.5	3.1	3.6	0.8	0.9	7.5	0.6	52.1	0.8	47.2	11.6	6.1	0.5	1.6	2.1
RAB 651	10.1	18.8	3.6	3.6	0.7	0.7	11.0	0.6	43.1	0.7	46.2	11.4	3.2	0.4	1.6	2.0
SRS 6-6	10.1	13.9	3.0	3.0	0.8	0.8	8.9	0.5	24.4	0.7	41.9	12.0	3.4	0.4	1.6	2.1
RBF 18 - 72	6.6	26.3	3.1	3.4	0.6	0.8	7.3	0.4	17.0	0.7	46.6	10.3	3.1	0.4	1.6	2.0
MER 2226 -28	6.8	18.8	3.4	3.6	0.7	0.8	10.9	0.5	21.4	0.7	37.7	8.5	3.3	0.4	1.6	2.0
Aifi Wuríti	7.8	20.1	3.5	3.2	0.9	0.9	4.4	0.4	16.6	0.8	39.0	9.1	3.7	0.4	1.7	2.1
Amadeus 77	7.9	17.5	3.6	3.6	0.8	0.8	6.9	0.4	27.3	0.8	41.6	9.9	3.8	0.5	1.6	2.1
Seda	7.8	18.8	3.8	3.8	0.7	0.8	8.0	0.4	13.8	0.7	41.2	9.1	2.9	0.5	1.8	2.2

Cuadro 4. Efecto de Interacción del estrés hídrico × el genotipo en las características de la raíz y la parte aérea de la planta en la etapa de floración, corona uno (AC1) y corona 2 (AC2), número de corona uno (NC1), y corona dos (NC2), diámetro de corona uno (DC1) y corona dos (DC2), número (NA), diámetro (DiA), y densidad (DeA) de la raíz adventicia, diámetro de raíz principal (DiP) longitud de total (LR), área superficial (ASR), y volumen (VR) de la raíz, peso seco raíz (PSR), y follaje (PSF), y total (PST) por planta, de 20 genotipos de frijol crecidos bajo invernadero. Zamorano, Honduras, 2013.

Interacción	AC1 (°)	AC2 (°)	NC1	NC2	DC1 (mm)	DC2 (mm)	NA	DiA (mm)	DeA	DiP (mm)	LR (m)	ASR (m <sup>2</sup> )	VR (cm <sup>3</sup> )	PSR (g)	PSF (g)	PST (g)
	Sin riego															
VAX 3	7.1	16.4	3.6	3.5	0.7	0.7	3.8	0.7	48.5	0.7	29.6	6.9	3.1	0.3	0.9	1.2
A774	6.9	18.8	3.5	3.5	0.6	0.6	5.0	0.7	6.8	0.7	39.4	9.1	3.3	0.3	0.9	1.2
PR 0340-3-3-1	6.1	23.8	3.4	3.6	0.6	0.8	4.8	0.7	4.1	0.7	37.8	8.6	3.1	0.3	0.8	1.2
La Majada AF	5.5	18.8	3.6	4.1	0.9	0.7	3.6	0.7	1.5	0.7	42.9	10.1	3.4	0.3	1.0	1.3
RBF 19-63	7.9	20.0	3.3	3.2	0.7	0.6	6.9	0.7	18.3	0.8	40.1	9.7	3.6	0.3	1.0	1.3
IBC 308-15	7.4	17.5	3.6	3.5	0.8	0.7	5.8	0.7	12.8	0.8	40.2	9.7	3.5	0.3	0.9	1.2
IBC 309-23	4.3	17.5	2.8	3.1	0.8	0.6	5.5	0.7	9.8	0.7	29.0	6.6	3.1	0.3	0.8	1.1
IBC 301-204 (bgml)	7.1	30.0	3.3	3.2	0.6	0.7	7.4	0.7	25.4	0.8	27.1	6.3	4.2	0.3	0.8	1.1
IBC 302-29 (bgml)	3.1	27.5	3.0	3.2	0.6	0.8	6.1	0.7	10.0	0.8	45.8	10.9	3.3	0.5	1.0	1.5
IBC 305- 67	5.4	22.5	3.5	3.4	0.6	0.7	7.4	0.7	23.8	0.7	44.6	10.7	3.1	0.3	0.9	1.2
SX 14825-7-1	6.5	21.3	3.0	3.4	0.7	0.7	3.9	0.5	16.4	0.7	50.8	12.0	2.9	0.2	0.7	0.9
MDSX 14797-6-1	6.0	21.3	3.5	3.5	0.7	0.8	4.1	0.7	13.1	0.7	32.5	9.1	2.7	0.3	1.0	1.3
TLP 19	7.3	25.0	3.0	3.4	0.7	0.8	5.1	0.7	32.9	0.7	32.5	7.5	3.1	0.3	1.0	1.3
RAB 651	7.8	26.3	3.6	3.1	0.6	0.8	6.1	0.7	8.8	0.7	46.4	10.7	3.0	0.3	0.9	1.2
SRS 6-6	4.4	26.3	3.3	3.0	0.7	0.7	6.4	0.8	11.3	0.8	44.0	10.3	3.1	0.4	1.0	1.3
RBF 18 - 72	8.3	20.0	3.5	3.5	0.7	0.8	4.5	0.7	31.1	0.8	30.7	7.3	3.3	0.3	0.9	1.2
MER 2226 -28	6.8	23.8	3.5	4.0	0.6	0.8	8.3	0.8	5.2	0.7	30.2	7.1	3.4	0.3	0.9	1.2
Aifi Wuríti	9.0	25.0	3.6	2.2	0.7	0.6	6.9	0.8	27.5	0.8	44.3	10.6	3.3	0.3	0.9	1.2
Amadeus 77	4.4	21.3	3.3	3.5	0.6	0.8	6.4	0.7	22.4	0.8	39.9	9.8	3.5	0.3	0.8	1.1
Seda	5.5	22.5	3.5	3.5	0.7	0.7	4.8	0.6	4.8	0.7	27.2	6.4	3.2	0.3	0.9	1.2
DMS 0.05	ns	ns	ns	ns	0.2**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

\*\* y ns altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ) y no significativo.

## **Ensayo 2: Tolerancia a la baja fertilidad del suelo de 12 genotipos de en condiciones de campo.**

En el campo no se evaluaron todas las variables evaluadas en invernadero (casa de malla), debido a que se dificulta la extracción de raíz completa; sin embargo fue posible evaluar coronas, raíz adventicia, raíz principal a los 35DDS. A madurez de cosecha a los 75 DDS se evaluó el rendimiento en kg/ha.

**Etapa floración.** A los 35 DSS se muestreo las primeras unidades experimentales y se evaluó el ángulo, número y diámetro de la corno, número, diámetro y densidad de la raíz adventicia y diámetro de la raíz principal. Se encontró diferencias significativas por el efecto tratamiento en la variables peso seco follaje (PSF), número de corona uno (NC1), diámetro de corona uno (DC1) y dos (DC2), y la densidad de raíz adventicia (DeA) (Cuadro 4). En el factor genotipo (G) fueron significativos las variables ángulo de corona uno (AC1), número de raíz adventicia (NA) y la variables diámetro de la raíz principal (DiP). Ninguna variable fue significativa en la interacción de tratamiento  $\times$  genotipo (T $\times$ G).

**Fertilizante.** El resultado del PSF, AC1, DC1 y DC2, NA, DiA fueron significativos entre los tratamientos. El tratamiento con fertilización fue el más sobresaliente entre todas las variables que presenta significancia, como el PSF (33.2g/planta) comparado con tratamiento sin fertilización (20.7g) (Cuadro 5), los resultados obtenidos se debe que los genotipos crecidos bajo el tratamiento con fertilizante tuvieron disponibilidad de nutrientes. El desarrollo del ángulo del cornaca (verticilo) de forma vertical se relaciona con la capacidad de buscar nutrientes, lo que indica que los genotipos con mayor ángulo crecieron en busca de nutrientes por la poca disponibilidad de nutrientes en la capa superficial del suelo.

**Genotipo.** Los resultados del NC1, NA y DRP, muestran diferencias significativas (Cuadro 4). Los resultados señalan que estadísticamente existe diferencia entre los genotipos para la variable PSF siendo la variedad Aifi Wuríti 55 la que presenta el valor más alto (32.2 g) este peso corresponde al resultado de 5 plantas, y el valor más bajo presenta la variedad La Majada AF que presenta un valor de (21.2 g/planta) (Cuadro 5).

**Etapa de la madurez a cosecha.** En esta etapa de muestreo 20 plantas por unidad experimental para evaluar el peso del grano y el rendimiento de la planta en una hectárea (Cuadro 5). Los resultados indican que factor tratamiento (con fertilizante) tuvo significancia en la variable RTO, (Cuadro 5). El factor genotipo y la interacción de T  $\times$  G no presenta diferencia significativa para la variedad evaluada.

**Fertilizante.** El potencial de rendimiento de un genotipo crecido en suelos de baja fertilidad es importante a la hora de caracterizar un genotipo. El resultado del rendimiento el tratamiento con fertilizante fue superior (973.3 kg/ha) que el Tratamiento sin fertilizante (564.3 kg/ha), es resultado indica la importancia de la nutrición en la planta.

**Genotipo.** El resultado obtenido no muestra diferencia significativa para la variable RTO (Cuadro 6). Sin embargo la variedad Amadeus 77 presenta el valor más alto (883.6 kg/ha)

y el genotipo IBC 308-15 (836.3 kg/ha), y el valor más bajo presenta el genotipo Aifi Wuríti 55 (597.9 kg/ha).

**Media Geométrica (MG).** La media geométrica es usada como criterio de selección, ya que es considerado útil para la identificación de líneas de alto rendimiento en ambientes de estrés hídrico (Samper y Adams 1985).

Al calcular la media geométrica resultan sobresalientes los genotipos Amadeus 77 (851.2 kg/ha), IBC 308-15 (807.3 kg/ha), RBF 19-63 (785.1kg/ha), y con la MG mas baja el genotipo Aifi Wuríti 55 (563.5 kg/ha) (Cuadro 6).

Cuadro 5. Efecto baja fertilidad de suelo y genotipo en las características de raíces ángulo; de la corona uno (AC1) y corona dos (AC2), numero de corona uno (NC1) y corona dos (NC2) diámetro de corona uno (DC1) y de corona dos (DC2), numero (NA), diámetro (DiA), densidad (DeA) de la raíz adventicia diámetro de la raíz principal (DiP) evaluadas floración y el rendimiento (RDT) evaluado a madurez de cosecha de 12 genotipos de frijol crecidos en campo bajo condiciones de estrés hídrico Zamorano, Honduras, 2013.

Fuente de variación	RDT kg/ha	PSF (g)	AC1 (°)	AC2 (°)	NC1	NC2	DC1 (mm)	DC2 (mm)	NA	DiA (mm)	DeA	DiP (mm)
<b>Fertilización</b>												
Con fertilizante	973.3	33.2	4.2	15.6	2.4	2.5	1.2	1.28	9.4	0.3	5.3	1.2
Sin fertilizante	564.3	20.7	3.4	14.2	2.6	2.7	0.8	1.1	9.5	0.2	2.8	1.1
DMS 0.05	197.6**	3.5**	ns	ns	0.14*	ns	0.08**	0.09**	ns	ns	1.5**	ns
<b>Genotipo</b>												
VAX 3	764.6	25.8	4.4	17.4	2.6	2.7	1.0	1.2	9.6	0.3	5.4	1.1
A774	812.5	28.3	2.7	13.3	2.6	2.7	1.0	1.2	10.8	0.2	3.5	1.1
La Majada AF	721.9	21.2	4.3	14.8	2.6	2.7	1.0	1.2	12.0	0.2	3.0	1.3
RBF 19-63	806.3	26.5	4.4	17.2	2.4	2.6	1.0	1.2	7.5	0.4	5.0	1.1
IBC 308-15	836.5	26.4	3.3	14.3	2.2	2.4	1.0	1.1	8.4	0.3	4.3	1.1
IBC 309-23	787.5	27.0	3.2	14.8	2.5	2.6	1.0	1.2	8.2	0.3	3.1	1.2
IBC 305-67	791.9	25.3	3.5	14.4	2.6	2.6	1.1	1.2	10.3	0.2	3.3	1.2
SX 14825-7-1	683.3	28.3	4.6	15.8	2.6	2.6	1.0	1.3	6.4	0.2	5.4	1.0
RAB 651	720.8	26.0	5.0	16.0	2.4	2.5	1.1	1.1	11.0	0.3	5.3	1.1
Aifi Wuríti 55	597.9	32.2	2.4	13.7	2.4	2.5	1.0	1.2	8.6	0.2	4.1	1.1
Amadeus 77	883.6	25.3	3.9	14.0	2.4	2.4	1.1	1.2	9.5	0.2	2.4	1.3
Seda	818.8	31.1	3.6	12.9	2.8	3.0	0.9	1.2	11.0	0.2	4.0	1.2
DMS 0.05	ns	ns	ns	ns	0.4*	ns	ns	ns	2.2**	ns	ns	0.1**

\* ,\*\* y ns significativo, altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ) y no significativo.

Cuadro 6. Efecto de la fertilización en el rendimiento de genotipos de frijol.

Genotipo	Rendimiento (kg/ha)		
	Sin F	Con F	MG
VAX 3	595.8	933.3	745.7
A774	583.3	1041.7	779.5
La Majada AF	535.4	908.3	697.4
RBF 19-63	622.9	989.6	785.1
IBC 308-15	618.7	1054.2	807.6
IBC 309-23	575.0	1000.0	758.3
IBC 305-67	604.6	979.2	769.4
SX 14825-7-1	445.8	920.8	640.7
RAB 651	529.2	912.5	694.9
Aifi Wuríti 55	397.9	797.9	563.5
Amadeus 77	646.5	1120.8	851.2
Seda	616.7	1020.8	793.4
Media	564.3	973.3	740.6
DMS <0.05	247.0**	307.0**	

## 4. CONCLUSIONES

- En casa de malla, se presentaron diferencias por efectos individuales de estrés hídrico (E), fertilización (F) y genotipos (G), e interacciones  $E \times F$  y  $E \times G$  en algunas variables de raíces y pesos secos de la planta, siendo mayores los valores sin estrés hídrico y con fertilización.
- Algunos genotipos como RAB 651 y MER 2226-28 tuvieron valores mayores en algunas variables de raíces bajo estrés de riego y fertilización, pero no en otras variables, sugiriendo que será necesario desarrollar variedades con combinaciones de las características de raíces más importantes para mejorar la tolerancia a estas condiciones limitantes.
- En el campo, bajo estrés de sequía (150 mm), los efectos por fertilización presentaron las mayores diferencias en variables de raíces, peso seco y rendimiento de los genotipos. El efecto de genotipo se observó en el número de raíces coronarias y adventicias, y diámetro de la raíz principal.
- Al utilizar el criterio de selección de la MG, los valores superiores de rendimiento se observaron en Amadeus 77 e IBC 308-15, sugiriendo su mejor adaptación a condiciones variables de fertilidad.



## **5. RECOMENDACIONES**

- Continuar los estudios de raíces en relación a la tolerancia a sequía y baja fertilidad, utilizando un menor número de genotipos contrastantes según los resultados observados.
- Mejorar la metodología de los ensayos en casa de malla incluyendo factores como tratamientos de fertilización al sustrato en vez de solución nutritiva, y envases (maceteros) de mayor volumen para permitir un mejor crecimiento de raíces que en los cilindros de suelo.
- En el campo, utilizar tratamientos de estrés de sequía y baja fertilidad simultáneamente en los ensayos, con la finalidad de poder medir los efectos de los estreses en forma individual y de la interacción en el comportamiento de los genotipos.
- Evaluar los días de floración y madurez de cosecha ya que hay estudios que han demostrado que una tendencia a escapar de los efectos de sequía es mediante un desarrollo precoz, reducción en el número de días floración y a madurez de cosecha.

## 6. LITERATURA CITADA

Abebe, A.; Brick, M.; Kirkby, R.A. 1998. Comparison of selection indices to identify productive dry bean lines under diverse environmental conditions (en línea). *Field Crops Res.* 58: 15-23. Consultado 15 jun.2012. Disponible en <http://beans.agsci.colostate.edu/.../12.%20Selection%20Ind>.

Acosta, E.; Trejo, C.; Ruiz, L. M.; Padilla, J. y Acosta, J. 2004. Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. *Terra Latinoamericana* 22(1): 49-58.

Benites M. 2008. Características fenotípicas de líneas de frijol común tolerantes a la sequía y a la baja fertilidad. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 18 p.

Broughton BJ, Dilworth MJ (1971) Control of leghaemoglobin synthesis in snake beans. *Biochem J* 125: 1075-1080.

Cotty, D.; Garcõa, M.; Estrada, I.; Anchundia, E. 2001. Indicadores básicos sobre el desempeño agropecuario 1971-2000. In: Moya, J., (Ed.), *Proyecto de Información Agrícola y Análisis de Políticas*. Instituto Nacional de Estadística, Zamorano, Honduras. 34-38 pp.

Davies, W.J. Zhang. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42,55-57.

Día, J; Moncayo, L. 2011. Selección de cepas de *Rhizobium* y genotipos de frijol común con alta expresión simbiótica en condiciones de sequia y baja fertilidad. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 38 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2012. Ciclo primavera 2012. Impacto de la Sequia en la Producción de Granos Básicos en el Corredor Seco (en línea). Consultado 20 fer.2013. Disponible en [http://www.fao.org/hn/l/images/doc/Impacto\\_sequia\\_produccion\\_granos.pdf](http://www.fao.org/hn/l/images/doc/Impacto_sequia_produccion_granos.pdf)

FAOSTAT. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). 2013. FAOSTAT ProdSTAT, Crops, <http://faostat3.fao.org> (ingresado agosto 2013).

Hall, A.E. 1993. Is dehydration tolerance relevant to genotypic differences in leaf senescence and crop adaptation to dry environments? In: Close, T. J.; Bray, F. A. (Eds.).

Plant response to cellular dehydration during environmental stress. The American Society of Plant Physiologists. 1- 9 pp.

Ho, M.D; J. C. Rosas, J; Brown, K; Lynch, J. 2005. Root architecture tradeoffs for water and phosphorus acquisition. *Functional Plant Biol.* 32, 737-748

Huang, B.; Gao, H. 2000. Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop Sci.* 40, 196-203.

Morales, E. 1997. Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales. Simposio internacional “posibilidades de manejo forestal sostenible en América tropical” Bolivia.

Pachico, D. 1994. Tendencias en la producción mundial de frijol común. In: M. Pastor y H. Schwartz (ed.) *Problemas de Producción del Frijol en los Trópicos.* 2 ed. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). p.1

Ontiveros, A; Kohashi, J; Yañez, P; Acosta, J.; Martínez, A. 2005. Crecimiento de la raíz del frijol con diferentes velocidades de secado del suelo. *Terra Latinoamericana* 23 (3): 311-320

Polanía, J; Rao, M; Beebe, S; García, M. 2009. Desarrollo y distribución de raíces bajo estrés por sequía en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en un sistema de tubos con suelo. *Agronomía Colombiana.* 27 (1): 25-32

Polanía, J. 2011. Identificación de características morfo fisiológicas asociadas a la adaptación a sequía para ser usadas como criterios de selección en mejoramiento de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L). Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/6663/1/josearnulfopolaniaperdomo.2011.pdf>.

Rosas, J.C.; Erazo, D., Moncada, J.R. 1991. Tolerancia a la sequía en germoplasma de frijol común y frijol tépari. *Ceiba* 32: 91-105.

Rosas, J. 2003. El Cultivo del Frijol Común en América Tropical. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 57 p.

Rao, I. 2002. Role of physiology in improving crop adaptation to abiotic stresses in the tropics: The case of common bean and tropical forages. pp. 583-613. En: Pessaraki, M. (ed.). *Handbook of Plant and Crop Physiology.* Marcel Dekker, New York, NY.

Rao, I.M.; S. Beebe, J. Polanía, M.A. Grajales y R. Garcia. 2006. Differences in drought resistance of advances lines developed for the last 3 decades. Pp. 2-6. En: Project Ip-1: Bean improvement for the tropics. CIAT Annual report 2006. CIAT, Calí, Colombia.

Samper, C. 1984. Effects of water stress imposed at mid-pod filling upon yield and dry matter partitioning in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis M.Sc., East Lansing, MI, EE.UU., Universidad Estatal de Michigan.131 p.

Turner, N. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. pp. 343-372. En: Mussell, H. y R.C. Staples, (ed.). *Stress Physiology in Crop Plants*. Wiley Interscience, New York, NY.

Valladares, R. 2009. Respuesta de 12 genotipos de frijol a la inoculación con *Rhizobium* bajo condiciones de estrés hídrico y baja fertilidad. . Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 28 p.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de los suelos usados en el ensayo 1 y ensayo 2.

Muestra	pH	%		mg/Kg (extractable)				
		M.O.	N total	P	K	Ca	Mg	Na
<b>Sustrato</b>	5.57	Bajo 1.64	Bajo 0,08	Medio 13	Alto 226	Alto 967	Medio 159	Normal 35

Rango medio	2	0.2	13	Por saturación de bases				
-------------	---	-----	----	-------------------------	--	--	--	--

Muestra	pH	%		mg/Kg (extractable)				
		M.O.	N total	P	K	Ca	Mg	Na
<b>La Vega 4</b>	6,03	Bajo 1,63	Bajo 0,08	Medio 13	Alto 428	Alto 1490	Medio 168	

Rango medio	2	0.2	13	Por saturación de bases				
-------------	---	-----	----	-------------------------	--	--	--	--

Anexo 2. Procedencia, pedigrí y color de grano de los 20 genotipos de frijol

Genotipos	Procedencia	Pedigrí	Color del grano
VAX 3	CIAT, Colombia		Rojo
A774	CIAT	BAT85///A375/G17702//F1A445	Crema
PR 0340-3-3-1	Univ. Puerto Rico		Rojo claro
La Majada AF	PIF/Zamorano, Honduras	Amadeus 77// Amadeus 77 / Paraisito	Rojo
RBF 19-63	PIF	Carrizalito//Carrizalito/Cincuentaño///CRF61/L88-63	Negro
IBC 308-15	PIF	Amadeus 77 // Amadeus/ Cincuentaño	Rojo
IBC 309-23	PIF	Carrizalito // Carrizalito / Cincuentaño	Rojo
IBC 301-204 (bgml)	PIF	Amadeus 77 // Amadeus 77 / Paraisito	Rojo
IBC 302-29 (bgml)	PIF	Carrizalito // Carrizalito / Paraisito	Rojo
IBC 305- 67	PIF	Amadeus 77// Amadeus 77/ Sacapobres	Rojo
SX 14825-7-1	CIAT, INTA/Nicaragua	/S/B122/PRF9653 - 16 B -1/ F1 //S / B / 125 /- MC - 16 P – MQ	Rojo
MDSX 14797-6-1	CIAT, INTA Nicaragua	/S/ B166/PRF 9653-16B-1/S/ B136 / MC-1P-MQ	Rojo
TLP 19	CIAT		Negro
RAB 651	CIAT		Rojo
SRS 6-6	PIF	DICTA 17 / Amadeus 77	Rojo
RBF 18 - 72	PIF	Amadeus77//Amadeus77/Cincuentaño///CRF61/L88-63	Rojo
MER 2226 -28	PIF	Milenio 47 / Amadeus 77	Rojo
Aifi Wuríti	PIF	TC75 /DICTA 105// BG12/WB12// TC75/DICTA 105//AL12	Negro
Amadeus 77	PIF	Tío Canela 75/ DICTA 105	Rojo
Seda	Honduras	Criolla	Rojo

Anexo 3. Solución nutritiva libre de nitrógeno de Broughton y Dillworth (1971)

**Solución stock 1:** a 1.0 L de agua destilada, agregar 294.1 g de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (cloruro de calcio dihidratado).

**Solución stock 2:** a 1.0 L de agua destilada, agregar 136.1 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (fosfato de potasio dibásico).

**Solución stock 3:** a 1.0 L de agua destilada, agregar 6.7 g de citrato de hierro, 123.3 g de sulfato de magnesio heptahidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), 87 g de sulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) y 0.34 g de sulfato de manganeso hidratado ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Mezclar bien todos estos ingredientes.

**Solución stock 4:** a 1.0 L de agua destilada agregar 0.25 g de ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), 0.29 g de sulfato de zinc heptahidratado ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) y 0.048 g de molibdato de sodio dihidratado ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Mezclar bien todos los ingredientes.