

**Selección de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes a estrés hídrico con mayor eficiencia fisiológica y rendimiento**

**Iván Alexander Alarcón Mendoza  
Kevin Xavier Burgos Mendoza**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

# **Selección de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes a estrés hídrico con mayor eficiencia fisiológica y rendimiento**

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

Presentado por

**Iván Alexander Alarcón Mendoza**  
**Kevin Xavier Burgos Mendoza**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2016

## Selección de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes a estrés hídrico con mayor eficiencia fisiológica y rendimiento

Iván Alexander Alarcón Mendoza  
Kevin Xavier Burgos Mendoza

**Resumen.** El estrés de sequía afecta a cultivos de importancia alimentaria como el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Los objetivos del estudio fueron evaluar el crecimiento, eficiencia fisiológica y rendimiento *per se* de líneas de frijol bajo condiciones de estrés de sequía en el campo, y las características de raíces y el crecimiento de las plantas en casa de malla. Durante el verano, se evaluaron 25 líneas de frijol bajo tratamientos con estrés por sequía ( $\leq 150$  mm de agua) y sin estrés ( $\geq 300$  mm). La unidad experimental fue un surco de cinco metros de largo, con 0.7 m entre surcos y 0.1 m entre plantas. El diseño experimental fue un arreglo factorial en parcelas divididas, los tratamientos de estrés en parcelas y líneas de frijol en sub-parcelas, con cuatro repeticiones. El estrés de sequía se impuso a los 30 días después de siembra (DDS) y el tratamiento sin estrés se siguió regando hasta los 60 DDS. En casa de malla, se evaluaron 24 líneas de frijol distribuidos en un diseño y repeticiones similares al ensayo de campo. Se usaron cilindros de PVC de nueve centímetros de diámetro  $\times$  75 cm de longitud conteniendo un sustrato de suelo: compost (1:1). Los tratamientos con estrés (riego hasta 21 DDS) y sin estrés. A los 43 DDS, se separó el follaje de las raíces para determinar los pesos secos de follaje (PSF) y raíces (PSR), longitud, volumen, diámetro, área superficial, número de raíces basales y adventicias y ángulo de las raíces. En campo, el estrés de sequía afectó el rendimiento y peso de semilla de las líneas; las líneas USMR 20 e IBC 301-204 presentaron el mayor rendimiento; USMR 20 también fue superior en condiciones sin estrés. El ensayo fue afectado por incidencia de *Macrophomina phaseolina* causando coeficientes de variabilidad altos. En el ensayo de casa malla, las variables de PSR, longitud, área y volumen de raíces, presentaron diferencias significativas en los tratamientos y líneas de frijol ( $P \leq 0.05$ ). Sin embargo, bajo condiciones de estrés, estas variables no estuvieron correlacionadas con el crecimiento (PSF) de las plantas. De las mediciones visuales de raíces, solamente el número de raíces adventicias presentó diferencias significativas debido al estrés ( $P \leq 0.05$ ). Se recomienda continuar evaluando líneas promisorias bajo estrés de sequía a nivel de campo y de casa de malla, para identificar nuevas líneas tolerantes y sus características fenotípicas relacionadas con la mayor eficiencia bajo sequía.

**Palabras clave:** Caracterización de raíces, estrés de sequía, rendimiento.

**Abstract.** Important crops including common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are affected by drought stress. The objectives of the study were to evaluate plant growth, physiological efficiency and yield of bean lines under drought stress conditions in the field, and root characteristics and plant growth in screen house. Twenty five bean lines were evaluated during the summer season, under drought stress ( $\leq 150$  mm) and without stress ( $\geq 300$  mm) treatments. The experimental unit was a single row 5 m long, 0.7 m between rows and 0.1 m between plants. The experimental design was a factorial arrangement split plot design, treatments in plots and bean lines in sub-plots, with four replications. Drought stress was imposed 30 days after planting (DAP), while non-stressed plots were irrigated until 60 DAP. In the screen house experiment, 24 bean lines were evaluated in a similar design on field using PVC cylinders of 3.5'' diameter  $\times$  30'' long containing a soil: compost (1:1) substrate, using a drought stress (irrigation until 21 DAP) and without stress treatments. At 43 DAS, plants were separated from roots and plant (PDW) and roots dry (RDW) weights, length, volume, diameter, surface area, number of basal and adventitious roots and basal root angle. In the field experiment, drought stress affected yield and seed weight of bean lines; the lines USMR 20 and IBC 301-204 presented the highest yield. USMR 20 also was higher in non-stress conditions. The experiment was affected by incidence of *Macrophomina phaseolina* causing high variability coefficients. In the screenhouse experiment, RDW, root length, surface area and volume showed significant differences under stress treatments and bean lines ( $P \leq 0.05$ ). However, under stress conditions, these variables were not correlated with PDW. In the visual root evaluation only the number of adventitious roots presented differences due to stress. It is recommended to continue evaluating bean lines under drought stress at field and screen house, to identify new bean lines tolerant and their phenotypic characteristics related to greater efficiency under drought.

**Key words:** Drought stress, root characterization, seed yield.

## 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>7</b>
<b>4 CONCLUSIONES.....</b>	<b>16</b>
<b>5 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>17</b>
<b>6 LITERATURA CITADA .....</b>	<b>18</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Listado de las 25 líneas de frijol del Ensayo ERSEQ conducido bajo condiciones de estrés de sequía. Zamorano, 2016.....	3
2. Listado de 24 líneas de frijol del ensayo conducido bajo condiciones de estrés de sequía en casa malla, Zamorano, 2016.....	5
3. Promedios y valores P de rendimiento, peso seco de 100 semillas (PSC) e índice de cosecha (IC) de 25 líneas de frijol con estrés y sin estrés de sequía. Lote 21, Zamorano, Honduras, 2016. ....	7
4. Rendimiento, peso seco de 100 semillas (PSC) e índice de cosecha (IC) de 25 líneas de frijol crecidas con y sin estrés de sequía. Lote 21, Zamorano, Honduras, 2016. ....	8
5. Promedios y valores P del número de coronas, número de raíces basales, ángulo de raíces basales y número de raíces adventicias de 24 líneas de frijol evaluadas en el ensayo de invernadero con y sin estrés hídrico. Zamorano, 2016. ....	10
6. Peso seco de follaje y raíces, número de coronas, número de raíces basales, ángulo de raíces basales y número de raíces adventicias de 24 líneas de frijol evaluadas en el ensayo de invernadero con y sin estrés hídrico. Zamorano, Honduras 2016.....	11
7. Promedios y valores P de los pesos secos de follaje (PSF) y raíces (PSR), y longitud, área superficial, diámetro y volumen de raíces de 24 líneas de frijol evaluadas en el ensayo de invernadero con y sin estrés hídrico. Zamorano, 2016. ....	12
8. Peso seco de follaje (PSF), de raíces (PSR), longitud, área superficial, diámetro y volumen de raíces de 25 líneas de frijol evaluadas en el ensayo de invernadero con y sin estrés de sequía. Zamorano, 2016. ....	13
9. Coeficientes de correlación entre los pesos secos de follaje y raíces y las variables medidas con el WinRhizo® del ensayo de casa de malla en el tratamiento sin estrés y con estrés de sequía. Zamorano, 2016.....	15

Figuras	Página
1. Escala visual 1-9 para la evaluación del ángulo de las raíces basales.....	6
2. Relación entre el rendimiento (kg/ha) con estrés y sin estrés de sequía de 25 líneas de frijol en el ensayo de campo conducido en la época de verano. Lote 21, zona dos, Zamorano, 2016.....	9
3. Relación entre peso seco de follaje con estrés y sin estrés de sequía de 24 líneas de frijol en el ensayo de invernadero. Zamorano, 2016 .....	14

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las mayores problemáticas que la agricultura afronta para el futuro es la producción bajo condiciones climáticas adversas. La mayoría de los cultivos están siendo afectados por el cambio climático y el calentamiento global. En Honduras se estima que la producción agrícola se verá afectada por el aumento gradual de las temperaturas mínimas y máximas en 0.022 °C/año y 0.018 °C/año, respectivamente (Porch et al. 2007). El cambio climático ocasiona sequías prolongadas o excesos de lluvia que dificultan, cada vez más, la producción agrícola; adicionalmente, el mal manejo y uso de los suelos resultan en suelos pobres deficientes de nutrientes (Camalle Chiliquina 2013).

En Centro América, uno de los cultivos de mayor importancia alimenticia para la población es el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Este cultivo es principalmente conducido en una agricultura a pequeña escala (Borja Sevilla 2001), generalmente de baja tecnificación; por lo que la producción del frijol se ve afectada por el ataque de varias enfermedades y plagas (Graham et al. 2003).

El mejoramiento genético es una de las opciones para mejorar la adaptación a los factores que limitan la productividad del frijol (Rosas 2001). Para afrontar las condiciones climáticas adversas, el mejoramiento se enfoca en mejorar las características de la planta para lograr un mejor crecimiento y productividad en condiciones de estrés hídrico, siendo el buen desarrollo estructural de la raíz uno de los criterios de selección ya que las raíces del frijol más profundas presentan mejor desarrollo bajo sequía (Ho et al. 2005). 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 (Camalle Chiliquina 2013), pero también de su uso eficiente.

El interés del Programa de Investigaciones en Frijol (PIF) de Zamorano en el desarrollo de variedades de frijol que se adapten a condiciones de sequía se remonta a 1988, con la evaluación del comportamiento agronómico del frijol común y frijol tepari (*P. acutifolius*) bajo estrés de sequía (Gallardo Salazar 2013). Otros estudios realizados en la Escuela Agrícola Panamericana han reflejado un amplio interés por reducir el impacto de la sequía a través de variedades tolerantes. Para desarrollar variedades tolerantes al estrés de sequía, se requiere identificar genotipos con alta eficiencia fotosintética en la producción de biomasa, la translocación de los fotosintatos acumulados en el follaje hacia la formación de vainas y semillas, y el rendimiento de grano bajo estrés de sequía (Beebe et al. 2013). Los genotipos con mayor adaptación a condiciones de estrés de sequía son utilizados como progenitores para su recombinación con líneas o variedades elites que poseen otros caracteres agronómicos y comerciales deseables mediante el mejoramiento genético.



Los objetivos del presente estudio fueron evaluar líneas de frijol utilizando mediciones de crecimiento (biomasa), eficiencia fisiológica (índice de cosecha) y rendimiento *per se*, bajo condiciones de estrés y sin estrés de sequía en el campo, y determinar las relaciones de características de raíces con el crecimiento de las plantas en condiciones de casa de malla, con el fin de identificar líneas tolerantes al estrés de sequía para fines de validación como variedades o progenitores en programas de mejoramiento genético.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos de campo y en casa de malla se condujeron en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, situada en el Valle de Yegüare, departamento de Francisco Morazán, a 14° 00' N, 87° 02' W, 800 msnm, y una precipitación promedio anual de 1100 mm y temperatura promedio de 24°C.

**Ensayo de campo.** Se evaluaron 25 líneas de frijol que conforman el Ensayo Regional de Líneas de Frijol Tolerantes a Sequía (ERSEQ) que fue conducido en la época de verano del 2016 bajo riego, en el Lote 21, Zona II de Zamorano (Cuadro 1). Estas líneas fueron seleccionadas de un grupo de cuatro ensayos (BASE, Small Reds-CIAT, Small Reds-EAP y Small Blacks-EAP) conducidos en el 2015 por el Programa de Investigaciones en Frijol (PIF) en Zamorano bajo condiciones de estrés de sequía.

Cuadro 1. Listado de las 25 líneas de frijol del Ensayo ERSEQ conducido bajo condiciones de estrés de sequía. Zamorano, Honduras, 2016.

N° Línea	N° Línea	N° Línea	N° Línea	N° Línea
1 MHN 322-49	6 MPN 103-137	11 Amadeus 77	16 SX 14825-7-1	21 MEN 2201-64ML
2 USMR 20	7 SEN 56	12 SER 16	17 SCR 55	22 SER 316
3 SEQ 342-87	8 SRC2-18-1	13 IBC 301-204	18 PT7-2	23 SCR 6
4 SEN 46	9 Seda	14 SER 125	19 BFS 101	24 BFS 81
5 SCR 2	10 MEN 2207-17	15 SEF 60	20 RS 814-26	25 PR 1147-8

Los tratamientos de estrés hídrico consistieron en parcelas bajo estrés ( $\leq 150$  mm de agua) y sin estrés ( $\geq 300$  mm de agua) utilizando riego por aspersión. El estrés hídrico se impuso a los 30 días después de la siembra (DDS), en la etapa de desarrollo de pre-floración (R5). La parcela del tratamiento sin estrés hídrico se continuó regando hasta los 60 DDS, en la etapa de llenado de vainas (R8).

El diseño experimental utilizado fue un arreglo factorial de parcelas divididas, los tratamientos de estrés distribuidos en parcelas y las líneas de frijol en sub-parcelas, de un diseño e bloques completamente al azar (BCA), con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue un surco de 5 m de largo, usando distanciamientos de 0.7 m entre surcos

y 0.1 m entre plantas (50 plantas por parcela). En el ensayo se hizo un manejo adecuado de malezas, plagas y enfermedades, según las prácticas de manejo del cultivo de frijol recomendadas por Rosas (2003).

**Variabes medidas y datos registrados.** A la madurez de cosecha, se muestrearon 10 plantas por parcela y se determinaron el peso seco de vainas (PSV), el peso seco de semillas (PSS) y el índice de cosecha (IC), y el peso de 100 semillas (PCS). El índice de cosecha (IC) es la proporción de foto-asimilados traslocados o destinados a la formación de semilla (Beebe et al. 2013), el cual se calcula mediante la ecuación [1].

$$IC = \frac{PSS}{PSS + PSV} \quad [1]$$

El rendimiento (kg/ha) se calculó usando datos de rendimiento por parcela ajustado al 14% de humedad y usando una densidad poblacional de 142,857 plantas por hectárea. El PCS se determinó para medir los efectos del estrés en el tamaño de la semilla que es un criterio de calidad importante.

**Ensayo de casa malla.** En el ensayo conducido en casa de malla se evaluaron 24 líneas provenientes de ensayos conducidos en el verano del 2016 (Cuadro 2). La justificación de este ensayo fue facilitar las mediciones de variables de características de raíces y determinar si algunas de estas variables estuvieron relacionadas con las diferencias en el comportamiento de las líneas de frijol bajo los tratamientos con y sin estrés hídrico en el campo. Cabe indicar que bajo las condiciones de campo no es factible obtener los sistemas radicales completos para hacer evaluaciones detalladas de las diversas características de raíces.

Previo a la siembra, las semillas se pre-germinaron en papel de germinación, y a los 4 días de trasplantaron dos plántulas por cada cilindro de policloruro de vinilo (PVC) de 75 cm de largo  $\times$  9 cm de diámetro y un volumen de 0.003 m<sup>3</sup>, conteniendo un sustrato de suelo: compost (2:1). A los 14 después de siembra (DDS) se procedió a dejar una sola planta por unidad experimental. El riego de ambos tratamientos fue similar hasta los 21 DDS; en esta fecha, el riego fue suspendido en el tratamiento de estrés hídrico y las plantas del tratamiento sin estrés se continuaron regando diariamente.

Cuadro 2. Listado de 24 líneas de frijol del ensayo conducido bajo condiciones de estrés de sequía en casa malla. Zamorano, Honduras, 2016.

N°	Línea	N°	Línea	N°	Línea
1	ALB 74	9	SB 787	17	SEF 71
2	BFS 139	10	ALS 0532-6	18	SER 113
3	BFS 81	11	SB2-170	19	USMR 20
4	BFS 94	12	SB2-46	20	Zenith
5	DPC 40	13	Matterhorn	21	Tepary G40001
6	G21212	14	SEF 15	22	Tepary Tep 22
7	MHN 322-49	15	SEF 16	23	Amadeus 77
8	NCB 280	16	SEF 17	24	DOR 390

A los 43 DDS, se procedió a mostrar el ensayo separando la parte aérea de las plantas de las raíces. El follaje se procedió a cortar en pedazos pequeños y luego a secar en estufa a  $70^{\circ}\text{C} \times 48 \text{ h}$  para determinar el peso seco. Las raíces se lavaron con agua y detergente para poder hacer las evaluaciones visuales, y luego, fueron almacenadas en etanol al 30% hasta captar una imagen digital con el escáner Epson® Perfection 4990 Photo, para su posterior análisis de las raíces con el programa WinRhizo®.

#### **Variables medidas de manera visual.**

**Número de coronas (verticilos).** Las coronas o verticilos se encuentran en la región comprendida entre el hipocotíleo y la radícula, y es la zona es donde salen las raíces coronarias.

**Número de raíces coronarias (basales).** Raíces que nacen en las coronas o verticilos.

**Ángulo de las raíces.** Se midió utilizando una escala de 1-9 para estimar el ángulo de las raíces: 1 ( $0-18^{\circ}$ ), 3 ( $19-36^{\circ}$ ), 5 ( $37-54^{\circ}$ ), 7 ( $55-72^{\circ}$ ) y 9 ( $73-90^{\circ}$ ) (Figura 1).

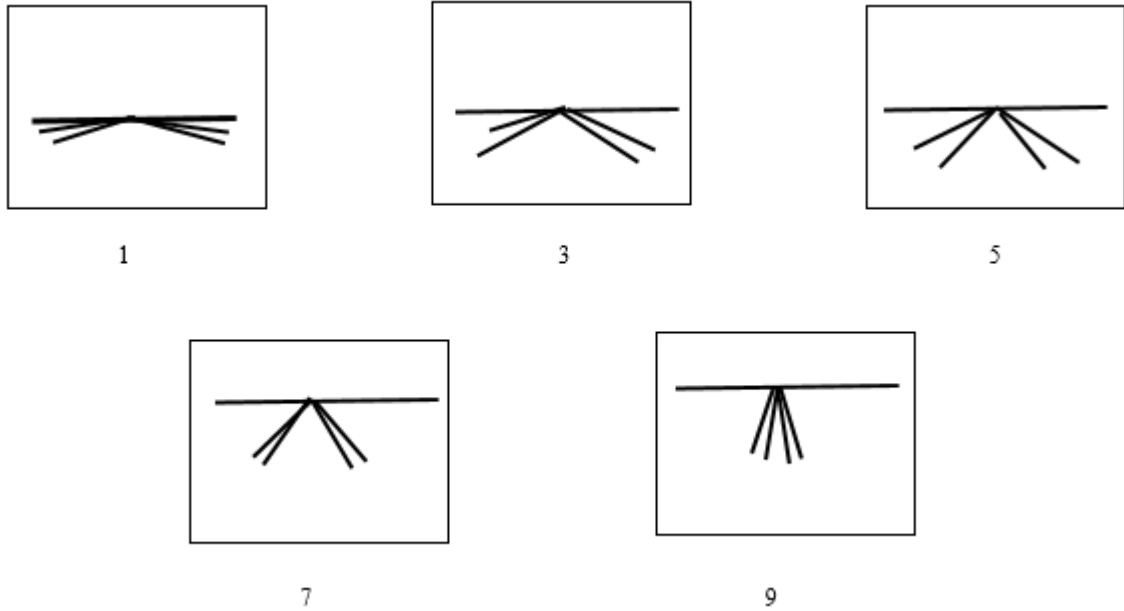


Figura 1. Escala visual 1-9 para la evaluación del ángulo de las raíces basales.

**Número de raíces adventicias.** Situadas en la parte superior de las coronas o verticilos, son raíces finas útiles en la absorción de nutrientes y agua.

**Variables medidas mediante WinRhizo®.** Este software nos permite analizar las imágenes de las raíces tomadas por el escáner y medir las siguientes variables: Longitud total (cm), área superficial (cm<sup>2</sup>), diámetro promedio (mm) y volumen (m<sup>3</sup>) de la raíz.

Los datos de los ensayos se analizaron mediante análisis de varianza (ANDEVA) y separación de medias con el método de la Diferencia Mínima Significativa (DMS) con probabilidad  $P \leq 0.05$ . El paquete estadístico usado en los análisis fue Statistix 8.1®.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Ensayo de campo.** Se presentaron diferencias significativas por efecto de los tratamientos con y sin estrés en las variables de rendimiento y de peso seco de cien semillas (PSC); el efecto de las líneas de frijol fue significativo en las variables de PSC y de IC; y en la interacción de estrés x línea se encontraron diferencias significativas en rendimiento y PSC (Cuadro 3). En general, el estrés de sequía impuesto en el ensayo de campo (150 mm hasta los 30 DDS), resultó ser muy severo causando reducciones significativas en el rendimiento de las líneas del estudio.

Una alta incidencia de pudrición gris causada por el hongo de suelo *Macrophomina phaseolina*, afectó el número de plantas de las unidades experimentales, y posiblemente el que se hayan obtenido coeficientes de variabilidad más altos que en anteriores ensayos con tratamientos de estrés de sequía. También se observaron efectos en el crecimiento y desarrollo de la mayoría de las líneas causados por este patógeno.

Cuadro 3. Promedios y valores P de rendimiento, peso seco de 100 semillas (PSC) e índice de cosecha (IC) de 25 líneas de frijol con estrés y sin estrés de sequía. Lote 21, Zamorano, Honduras, 2016.

Factor	Rendimiento (kg/ha)	PSC (g)	IC
Estrés de sequía			
Con estrés	308	17.7	0.8
Sin estrés	1,051	27.9	0.8
Valor P	0.00**	0.00**	0.29ns
Línea			
Promedio	679	23	0.75
Valor P	0.09ns	0.01**	0.00**
Estrés × Línea			
Promedio	679	23	0.75
Valor P	0.02*	0.01 **	0.70ns

\*, \*\*, ns Diferencias significativas al  $P < 0.05$  y  $P < 0.01$ , y no significativa

Debido a los altos coeficientes de variación observados, no se pudieron tener diferencias en el rendimiento de las líneas bajo las condiciones con y sin estrés de sequía (Cuadro 4). Sin embargo, las líneas USMR 20, SCR 2, MPN 103-137 y SRC 2-18-1 mostraron los mayores

rendimientos en ambos ambientes (Figura 2). El PSC no fue afectado por estas variaciones, y se encontraron diferencias significativas entre los PSC de las líneas, tanto bajo estrés y sin estrés de sequía. Como era de esperarse el PSC fue afectado por el estrés de sequía la que causó una reducción significativa en el tamaño promedio de la semilla.

Cuadro 4. Rendimiento, peso seco de 100 semillas (PSC) e índice de cosecha (IC) de 25 líneas de frijol crecidas con y sin estrés de sequía. Lote 21, Zamorano, Honduras, 2016.

Línea	Rendimiento (kg/ha)		PSC (g/100)		IC	
	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés
MHN 322-49	1523	69	21.0	9.8	0.76	0.68
USMR 20	1441	440	32.1	22.8	0.78	0.77
SEQ 342-87	1430	172	21.4	11.2	0.77	0.74
SEN 46	1320	279	26.9	15.8	0.79	0.78
SCR 2	1254	402	30.9	24.1	0.71	0.73
MPN 103-137	1248	363	24.6	16.5	0.78	0.77
SEN 56	1239	296	32.4	16.5	0.78	0.75
SRC2-18-1	1218	345	24.2	14.6	0.77	0.75
Seda	1159	308	25.5	15.0	0.73	0.72
MEN 2207-17	1096	254	27.1	15.4	0.76	0.75
Amadeus 77	1049	197	21.7	12.3	0.73	0.75
SER 16	1032	401	24.0	17.4	0.80	0.78
IBC 301-204	1027	427	22.6	15.2	0.75	0.73
SER 125	997	259	28.4	20.0	0.77	0.77
SEF 60	958	345	27.2	15.6	0.79	0.75
SX 14825-7-1	913	375	31.0	20.4	0.78	0.78
SCR 55	899	321	31.4	23.0	0.72	0.72
PT7-2	895	210	41.4	25.7	0.73	0.69
BFS 101	885	378	29.1	19.9	0.78	0.74
RS 814-26	878	342	30.2	20.7	0.74	0.75
MEN 2201-64ML	877	390	25.1	18.1	0.78	0.74
SER 316	851	381	34.1	22.3	0.68	0.77
SCR 6	723	214	33.7	17.1	0.77	0.78
BFS 81	690	305	28.1	21.4	0.75	0.76
PR 1147-8	663	235	22.8	12.4	0.74	0.74
Promedio	1051	308	27.9	17.7	0.76	0.75
CV (%)	35.3	47.1	11.3	14.4	4.8	7.4
DMS	262ns	103ns	2.2**	1.8**	0.02ns	0.04ns

\*, \*\*, ns Diferencias significativas al  $P \leq 0.05$  y  $P \leq 0.01$ , y no significativa.

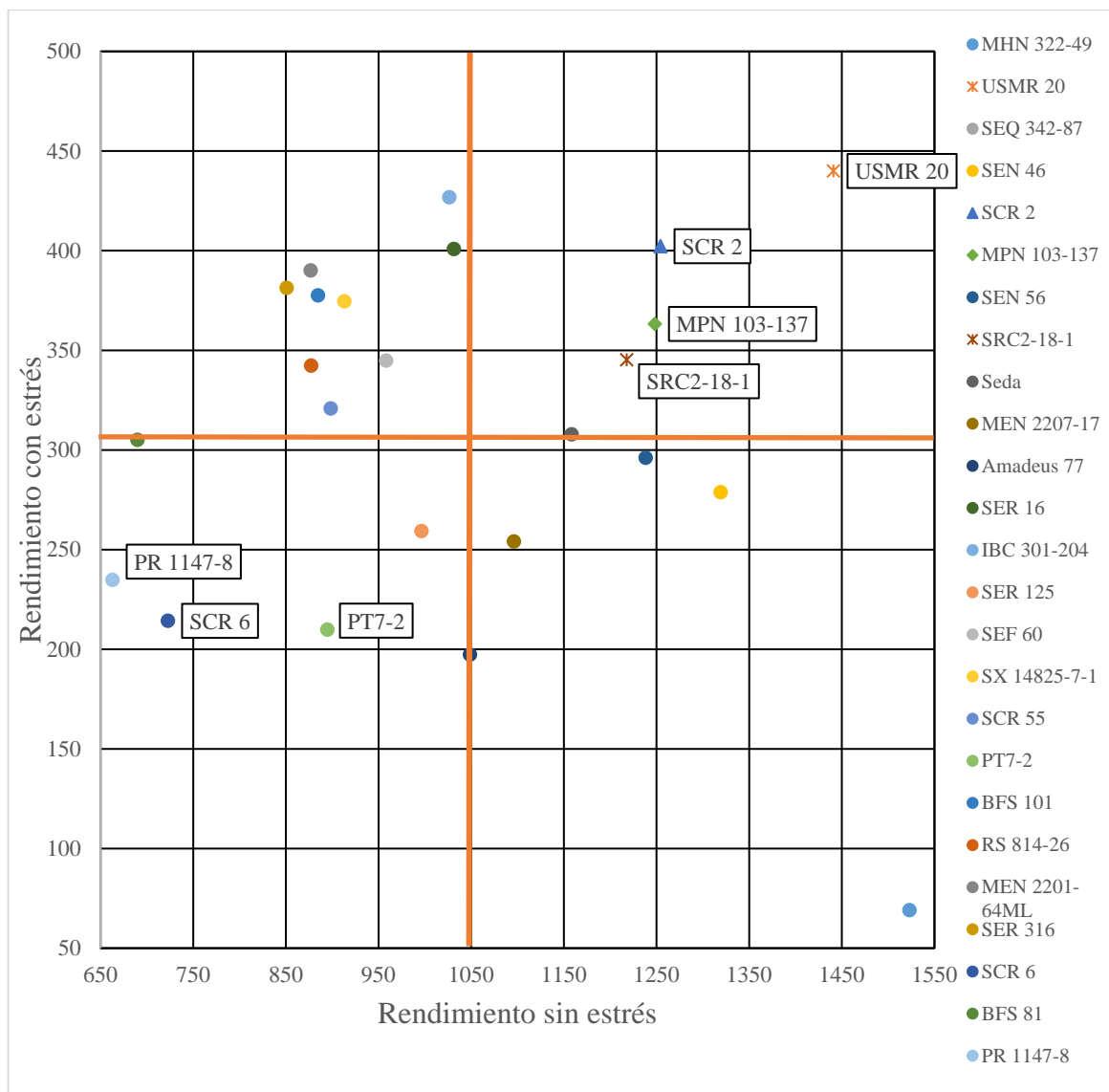


Figura 2. Relación entre el rendimiento (kg/ha) con estrés y sin estrés de sequía de 25 líneas de frijol en el ensayo de campo conducido en la época de verano. Lote 21, zona dos, Zamorano, Honduras, 2016.

### Ensayo en casa malla.

**Evaluación visual de raíces.** En las evaluaciones visuales de las características de raíces incluyendo el número de coronas (NC), número de raíces basales o coronarias (NRB), ángulo de raíces basales (ARB) y número de raíces adventicias en el ensayo de casa de malla usando cilindros de PVC, solamente se encontraron diferencias significativas en el NRA por efecto de tratamientos de sequía, siendo mayor sin estrés; y el NRB por efecto de las líneas de frijol (Cuadro 5).



Aunque no hubo efecto del estrés de sequía, se presentaron diferencias entre las líneas en el NC y NRB bajo el tratamiento sin estrés de sequía (Cuadro 6). El mayor NC se presentó en las líneas ALS 0532-6, SEF 15, SER 113 y USRM; y el mayor NRB se registró en NSB 280, ALS 0532-6 y SEF 15 (Cuadro 6).

Cuadro 5. Promedios y valores P del número de coronas, número de raíces basales, ángulo de raíces basales y número de raíces adventicias de 24 líneas de frijol evaluadas en el ensayo de invernadero con y sin estrés hídrico. Zamorano, 2016.

<b>Factor</b>	<b>Número coronas</b>	<b>No. Raíces basales</b>	<b>Ángulo basales (1-9)</b>	<b>No. Raíces adventicias</b>
<b>Estrés</b>				
Con estrés	1.9	3.7	3.4	10.1
Sin estrés	1.5	3.6	2.4	13.8
Valor P	0.18ns	0.95ns	0.08ns	0.01**
<b>Líneas</b>				
Promedios	1.7	3.6	2.9	11.9
Valor P	0.06ns	0.03*	0.86ns	0.18ns
<b>Estrés × Línea</b>				
Promedios	1.7	3.6	2.9	11.9
Valor P	0.85ns	0.33ns	0.99ns	0.49ns

\*, \*\*, ns Diferencias significativas al  $P \leq 0.05$  y  $P \leq 0.01$ , y no significativa.

Cuadro 6. Peso seco de follaje y raíces, número de coronas, número de raíces basales, ángulo de raíces basales y número de raíces adventicias de 24 líneas de frijol evaluadas en el ensayo de invernadero con y sin estrés hídrico. Zamorano, Honduras 2016.

Línea	No. Coronas		No. Raíces basales		Ángulo raíces basales (1-9)		No. Raíces adventicias	
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin
ALB 74	2.3	1.8	5.3	3.5	1.0	3.0	6.8	15.3
BFS 139	1.8	1.3	4.0	3.3	3.0	3.0	7.0	11.0
BFS 81	1.8	1.8	3.0	4.3	4.0	3.0	6.8	9.8
BFS 94	2.0	1.8	3.3	4.3	3.5	2.0	11.8	16.0
DPC 40	1.8	1.8	3.0	4.0	3.0	1.0	7.5	14.3
G21212	1.5	1.3	2.8	2.3	5.0	3.5	9.0	12.3
MHN 322-49	2.3	1.8	5.0	4.3	3.0	1.5	15.3	13.5
NCB 280	2.3	1.5	3.8	4.8	2.5	3.0	14.0	15.5
SB 787	2.3	1.5	3.0	4.0	3.5	4.0	10.5	8.8
ALS 0532-6	2.0	2.3	4.3	4.8	4.5	3.5	9.3	13.5
SB2-170	1.8	1.3	3.3	4.3	2.0	1.5	10.3	17.8
SB2-46	1.8	1.5	3.8	3.5	3.0	1.5	12.0	10.5
Matterhorn	1.8	1.5	2.8	3.5	4.0	4.0	10.0	15.5
SEF 15	2.0	2.3	4.0	4.7	3.0	1.0	7.5	9.8
SEF 16	1.8	1.3	4.0	2.3	2.5	1.5	8.3	16.0
SEF 17	1.8	1.0	3.8	2.0	7.0	3.0	5.8	17.0
SEF 71	1.8	1.5	4.8	4.0	5.0	1.5	7.8	19.8
SER 113	1.5	2.0	3.3	4.5	3.0	1.5	6.8	12.0
USMR 20	2.8	2.0	5.8	4.0	3.0	2.5	8.0	8.3
Zenith	1.0	1.0	1.8	2.0	3.0	3.5	16.8	15.0
Tepary G40001	1.5	1.0	3.0	3.0	3.0	1.0	11.3	16.0
Tepary Tep 22	1.8	1.8	2.5	4.5	3.0	1.5	15.0	14.0
Amadeus 77	2.0	1.3	4.3	3.3	1.5	3.0	12.0	12.8
DOR 390	2.3	1.0	3.8	2.5	4.5	4.0	12.3	16.0
Promedio	1.9	1.5	3.7	3.6	3.4	2.4	10.1	13.8
CV (%)	40.3	39.9	41.0	43.1	54.3	52.0	49.3	45.8
DMS	0.5ns	0.4*	1.1ns	1.1*	2.5ns	2.0ns	3.5ns	4.4ns

\*,\*\*, ns Diferencias significativas al  $P \leq 0.05$  y  $P \leq 0.01$ , y no significativa.

**Evaluación de raíces con el programa WinRhizo®.** Se encontraron diferencias significativas en las variables de pesos secos de follaje (PSF) y de raíces (PSR), y la mediciones de longitud (LR), área superficial (ASR), diámetro promedio (DPR) y volumen (VR) de raíces realizadas con el programa WinRhizo®, debidas al efecto de tratamientos de estrés de sequía y de líneas de frijol, en este último exceptuando el PSF (Cuadro 7). No se presentaron diferencias en todas las variables debidas a los efectos de la interacción estrés  $\times$  línea.

Cuadro 7. Promedios y valores P de los pesos secos de follaje (PSF) y raíces (PSR), y de la longitud, área superficial, diámetro y volumen de raíces de 24 líneas de frijol evaluadas en el ensayo de invernadero con y sin estrés hídrico. Zamorano, 2016.

<b>Factor</b>	<b>PSF (g)</b>	<b>PSR (mg)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Área superficial (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Estrés</b>						
Con estrés	1.4	375	37.5	387	0.9	3.2
Sin estrés	2.9	581	58.2	672	1.4	6.2
Valor p	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.03*	0.00**
<b>Línea</b>						
Promedio	2.1	478	47.9	529	1.1	4.7
Valor p	0.21ns	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**
<b>Estrés × Línea</b>						
Promedio	2.1	478	47.9	529	1.1	4.7
Valor p	0.23ns	0.14ns	0.38ns	0.79ns	0.80ns	0.78ns

\*, \*\*, ns Diferencias significativas al  $P \leq 0.05$  y  $P \leq 0.01$ , y no significativa.

Se observaron diferencias significativas entre las líneas de frijol para el PSF y DPR en el tratamiento con estrés hídrico (Cuadro 8). Las líneas ALS 0532-6, USMR 20 y el tepari G40001 tuvieron los mayores PSF. Estas mismas líneas aparecen como las mejores en la relación de los PSF bajo los tratamientos con y sin estrés de sequía de las 24 líneas de frijol (Figura 3), sugiriendo su mayor capacidad de producción de biomasa (PSF) en ambas condiciones. No se presentaron diferencias entre las líneas para el PSR y otras variables de raíces medidas en el WinRhizo® en los tratamientos con y sin estrés.

Se presentaron correlaciones positivas, directamente proporcionales, entre la mayoría de variables evaluadas en el ensayo de casa de malla evaluando los datos obtenidos con y sin estrés por separado (Cuadro 9). En condiciones sin estrés hídrico, se presentaron correlaciones significativas entre las variables PSF, PSR, LR, ASR, DPR y VR, exceptuando las de PSF-PSR y PSF-DPR. En condiciones con estrés, el PSF no estuvo correlacionado con los valores de las otras variables; sin embargo, el PSR y las variables LR, ASR, DPR y VR estuvieron positivamente correlacionadas, indicando estrechas relaciones entre el PSR y las variables medidas en las mismas.

Cuadro 8. Peso seco de follaje (PSF), de raíces (PSR), longitud, área superficial, diámetro y volumen de raíces de 25 líneas de frijol evaluadas en el ensayo de invernadero con y sin estrés de sequía. Zamorano, 2016.

Línea	PSF (g)		PSR (mg)		Longitud (m)		Área superficial (cm <sup>2</sup> )		Diámetro (mm)		Volumen (cm <sup>3</sup> )	
	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin
ALB 74	1.5	2.9	469	750	47.0	76.6	483	870	1.2	1.5	4.0	7.9
BFS 139	1.3	3.0	450	644	36.4	65.2	382	781	1.0	1.4	3.2	7.7
BFS 81	1.1	3.0	395	653	32.2	64.7	320	743	0.8	1.4	2.5	6.8
BFS 94	1.0	3.3	355	551	34.2	62.7	339	692	0.7	1.2	2.7	6.1
DPC 40	1.3	3.0	382	677	36.3	65.6	375	740	1.0	1.6	3.1	6.7
G21212	1.2	3.0	385	718	43.0	63.3	444	796	1.0	2.0	3.7	8.1
MHN 322-49	1.0	2.9	450	747	43.0	70.3	489	853	1.2	1.8	4.5	8.3
NCB 280	1.2	2.8	382	421	39.5	46.9	385	509	0.9	0.9	3.0	4.4
SB 787	1.4	3.0	381	643	39.9	65.7	417	756	1.0	1.6	3.5	7.0
ALS 0532-6	1.6	3.6	356	577	35.3	56.9	371	671	0.8	1.3	3.1	6.3
SB2-170	1.4	3.1	415	637	46.2	64.0	493	754	1.1	1.5	4.2	7.1
SB2-46	0.9	2.3	272	461	29.2	49.3	285	558	0.8	1.2	2.2	5.1
Matterhorn	1.5	2.9	432	592	46.4	65.6	507	722	1.0	1.3	4.4	6.4
SEF 15	1.5	2.3	374	460	37.7	50.2	378	532	1.0	1.2	3.0	4.5
SEF 16	1.1	2.8	367	528	34.7	47.5	344	507	0.8	1.0	2.7	4.3
SEF 17	1.2	3.1	285	504	25.9	50.2	253	584	0.6	1.0	2.0	5.5
SEF 71	1.3	3.0	353	733	35.3	68.6	373	856	0.8	2.0	3.1	8.6
SER 113	1.4	3.0	383	635	39.2	58.8	413	690	0.9	1.3	3.5	6.5
USMR 20	2.7	3.3	393	661	33.3	59.2	401	764	1.2	1.8	3.9	7.9
Zenith	2.8	2.3	416	434	47.1	41.2	460	483	0.9	1.1	3.6	4.5
TeparyG40001	1.6	4.0	369	454	41.7	59.0	426	647	1.0	1.3	3.5	5.7
Tepary Tep 22	1.5	2.4	223	298	30.0	43.2	264	427	0.6	0.9	1.9	3.4
Amadeus 77	1.3	2.5	377	529	32.9	43.9	342	519	0.8	1.0	2.8	4.9
DOR 390	1.3	2.8	330	638	34.5	59.1	345	669	1.0	1.4	2.8	6.1
Promedio	1.4	2.9	375	581	37.5	58	387	672	0.9	1.4	3.2	6.2
CV (%)	59.9	24.4	20.6	24.7	22.2	26.3	23.7	28.1	24.4	27.5	27.4	31.6
DMS	0.6**	0.5ns	55ns	102ns	5.9ns	10.8ns	64.9ns	133ns	0.2*	0.3ns	0.6ns	1.4ns

\*, \*\*, ns Diferencias significativas al  $P \leq 0.05$  y  $P \leq 0.01$ , y no significativa.

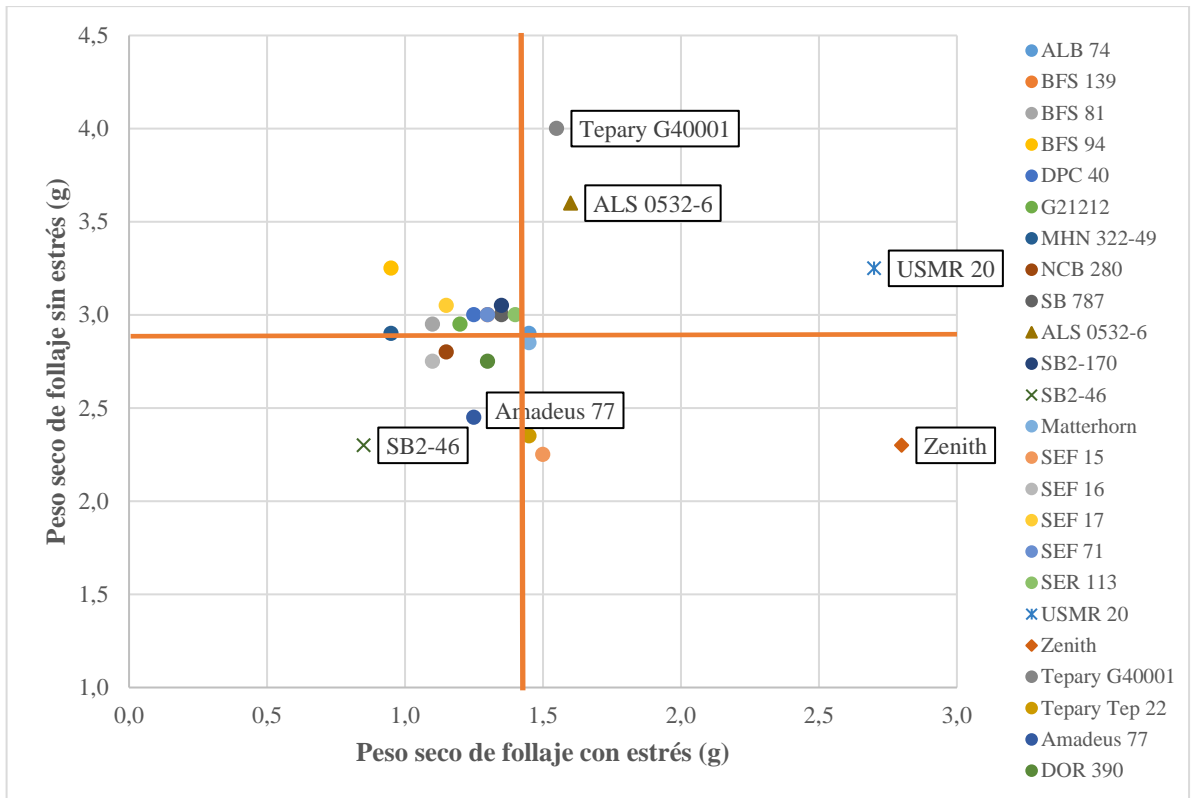


Figura 3. Relación entre los pesos secos de follaje de las 24 líneas de frijol bajo condiciones con estrés y sin estrés de sequía en el ensayo de casa de malla. Zamorano, 2016.

Cuadro 9. Coeficientes de correlación entre los pesos secos de follaje y raíces y las variables medidas con el WinRhizo® del ensayo de casa de malla en el tratamiento sin estrés y con estrés de sequía. Zamorano, 2016.

<b>Condición de humedad</b>	<b>PS follaje</b>	<b>PS raíz</b>	<b>Longitud de raíz</b>	<b>Área superficial</b>	<b>Diámetro de raíz</b>
<b>Sin estrés</b>					
Peso seco de raíz	0.32ns				
Longitud de raíz	0.48*	0.86**			
Área superficial	0.48*	0.93**	0.96**		
Diámetro de raíz	0.34ns	0.83**	0.75**	0.86**	
Volumen de raíz	0.45*	0.93**	0.88**	0.98**	0.90**
<b>Con estrés</b>					
Peso seco de raíz	0.20ns				
Longitud de raíz	0.27ns	0.75**			
Área superficial	0.29ns	0.82**	0.95**		
Diámetro de raíz	0.30ns	0.79**	0.71**	0.84**	
Volumen de raíz	0.29ns	0.82**	0.86**	0.97**	0.89**

\*, \*\*, ns Diferencias significativas al  $P \leq 0.05$  ( $r=0.396$ ) y  $P \leq 0.01$  ( $r=0.505$ ), y no significativa. Grados de libertad: 23

## 4. CONCLUSIONES

### **Ensayo de campo.**

- El estrés de sequía utilizado afectó el rendimiento y el peso de semilla de las líneas de frijol. Bajo estas condiciones de severo estrés, las líneas USMR 20 e IBC 301-204 presentaron el mayor rendimiento. La línea USMR 20 también fue superior en condiciones sin estrés.
- El ensayo fue afectado por incidencia del hongo *Macrophomina phaseolina* causante de la pudrición gris, debido a lo cual se presentaron CV altos.

### **En casa de malla.**

- En las variables longitud, área y volumen de raíces, medidas con el programa WinRhizo<sup>®</sup>, se presentaron diferencias significativas en los factores de estrés y líneas de frijol; sin embargo, bajo condiciones de estrés, estas variables no estuvieron correlacionadas con el crecimiento estimado por el peso seco de follaje (biomasa).
- De las mediciones visuales de raíces solamente el número de raíces adventicias presentó diferencias debido al efecto de los factores de estrés y de líneas de frijol.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda continuar con las evaluaciones de líneas promisorias bajo estrés de sequía a nivel de campo y de casa de malla para identificar nuevas líneas tolerantes y sus características fenotípicas relacionadas con la mayor eficiencia bajo sequía.
- Se debe evitar un nivel de estrés de sequía muy severo para poder estimar mejor las diferencias en la tolerancia de germoplasma de frijol a este limitante abiótico.
- También se recomienda evitar lotes con incidencia de la pudrición gris y hacer un mejor manejo del patógeno para reducir sus efectos en ensayos de sequía.
- Se recomienda utilizar la línea USMR 20 como progenitor para el mejoramiento genético de la tolerancia a la sequía en frijol común.



## 6. LITERATURA CITADA

- Beebe SE, Rao IM, Blair MW, Acosta-Gallegos JA. 2013. Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Front. Physiol.* 4:35.
- Borja Sevilla MC. 2001. Evaluación de pérdidas físicas monetarias en dos sistemas de almacenamiento de frijol en la región Centro-Oriental, Honduras [Tesis de graduación]. Valle del Yegüare, Francisco Morazán, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Carrera de Ingeniería Agronómica. 38 p.
- Camalle Chiliquinga MD. 2013. Caracterización de la tolerancia a sequía y baja fertilidad de genotipos de frijol [Tesis de graduación]. Valle del Yegüare, Francisco de Morazán, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Carrera Ingeniería Agronómica. 32 p.
- Gallardo Salazar MA. 2013. Caracterización fenotípica de patrones de raíces relacionados con la tolerancia a la baja fertilidad y sequía en frijol común [Tesis de Graduación]. Valle del Yegüare, Francisco Morazán, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Carrera de Ingeniería Agronómica. 29 p.
- Graham PH, Rosas JC, Estevez de Jensen C, Peralta E, Tlusty B, Acosta-Gallegos J, Arraes Pereira P. 2003. Addressing edaphic constraints to bean production: the Bean/Cowpea CRSP project in perspective. *Field Crops Research.* 82:179-192.
- Ho MD, Rosas JC, Brown KM, Lynch JP. 2005. Root architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. *Functional Plant Biol.* 32(8):737-748.
- Porch T, Bernsten R, Rosas JC, Jahn M. 2007. Climate change and the potential economic benefit on heat-tolerant bean varieties for farmers in Atlántida, Honduras. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 91(3-4):133–148.
- Rosas J.C. 2001. Aplicación de metodologías participativas para el mejoramiento genético del frijol en Honduras. *Agron. Mesoamericana* 12(2):219–228.
- Rosas, J.C. 2003. Recomendaciones para el manejo agronómico del cultivo del frijol. Programa de Investigaciones en Frijol, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Imprenta LitoCom, Tegucigalpa, Honduras, 33p.
- Rosas JC, Erazo JD y Moncada JR. 1991. Tolerancia a la sequía en germoplasma de frijol común y frijol tepari. *CEIBA* 32(2): 91-106.
- Statistix 8.1®. 2013. Data analysis software for researchers. User's Guide: Statistical. Florida (Estados Unidos).