Evaluación de la tolerancia de líneas de frijol común *(Phaseolus vulgaris* L.*)* al estrés de sequía terminal y suelos de baja fertilidad

Marlen Geraldina Vargas López
Karla Fernanda Maldonado Angulo

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de la tolerancia de líneas de frijol común *(Phaseolus vulgaris* L.*)* al estrés de sequía terminal y suelos de baja fertilidad

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

Presentado por

Marlen Geraldina Vargas López
Karla Fernanda Maldonado Angulo

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2018

Evaluación de la tolerancia de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.)* al estrés de sequía terminal y suelos de baja fertilidad

Marlen Geraldina Vargas López
Karla Fernanda Maldonado Angulo

Resumen. El frijol común es la leguminosa de mayor importancia en la dieta básica en Centro América y El Caribe. La sequía y la baja fertilidad de los suelos son factores que limitan la producción de frijol en la región. El objetivo del estudio fue evaluar la tolerancia de líneas de frijol al estrés de sequía terminal y suelos de baja fertilidad e identificar líneas promisorias con potencial de uso como variedad o progenitor en mejoramiento genético. En el verano y primera de 2018 se evaluaron 24 líneas bajo tratamientos con (153 mm de riego hasta los 35 DDS) y sin (259 mm hasta 60 DDS) estrés de sequía en Zamorano. Además, las 24 líneas fueron evaluadas en parcelas con y sin fertilización en un suelo de bajos contenidos de materia orgánica, N total y P. Se utilizó parcelas divididas en un diseño de bloques completos al azar, los tratamientos en parcelas y las líneas en sub-parcelas. Adicionalmente, se evaluaron las líneas y un testigo no-nodulador inoculados con *Rhizobium* (cepas CIAT 632 y 899) en camas de bajo contenido de N. Bajo estrés de sequía terminal las líneas con mejor rendimiento fueron SEN 52, USMR 20 y MHN 322-49; y en baja fertilidad TARS-LF1, BFS 81 y USMR 20. Se observó alta respuesta de las líneas a la inoculación con *Rhizobium* con relación a la no-noduladora, y correlación positiva entre el rendimiento y la nodulación. Se recomienda validar el potencial de las líneas promisorias como variedades y progenitores en mejoramiento genético.

Palabras clave: Contenido bajo de N y P, no-noduladora, nodulación, rendimiento, *Rhizobium*.

Abstract. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the most important legume of the basic diet in Latin America and the Caribbean. Drought and low soil fertility are factors that limit bean production on the region. The objective of this study was to evaluate the tolerance of bean lines to drought stress and low soil fertility and identify promising lines with potential use as variety or progenitor in genetic improvement. During summer and spring of 2018, 24 lines were grown under drought stress (153 mm of irrigation until 35 DAP) and without stress (259 mm until 60 DAP) in Zamorano. The same 24 bean lines were evaluated under treatments with and without fertilization in an experimental plot low in organic matter, total N and P. A split plot array of a complete randomized block design was used, treatments in main plots and lines in sub-plots. Additionally, the bean lines and one not nod check inoculated with *Rhizobium* (strains CIAT 632 y 899) were grown in raise beds of low N content. Under drought stress, the lines with a best yields were SEN 52, USMR 20 and MHN 322-49; and in low fertility TARS-LF1, BFS 81 and USMR 20. A good response of the lines to *Rhizobium* inoculation was observed in relation to the non-nod check line; and a positive correlation between yield and nodulation was found. The validation of the potential of promising lines as varieties and breeding parents for genetic improvement is recommended.

Key words: Low N and P soil content, non- nodulator, nodulation, *Rhizobium*, yield.

CONTENIDO

Portadilla..... i
Página de firmas..... ii
Resumen..... iii
Contenido..... iv
Índice de cuadros y figuras..... v

1. INTRODUCCIÓN..... **1**

2. METODOLOGÍA..... **3**

3. RESULTADOS Y DISCUSION..... **8**

4. CONCLUSIONES..... **19**

5. RECOMENDACIONES..... **20**

6. LITERATURA CITADA..... **21**

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros Página

1. Líneas promisorias de frijol incluidas en los ensayos de evaluación de la tolerancia a condiciones de estrés de sequía terminal y baja fertilidad de los suelos. 4
2. Resultados del análisis químico del suelo de las parcelas del ensayo de sequía terminal. Lote 24, Zona 2, Zamorano, Honduras. 5
3. Resultados del análisis químico del suelo de las parcelas con (F+) y sin (F-) aplicación de fertilizante. La Vega 4, Zamorano, Honduras. 6
4. Resultados del análisis químico del suelo de las camas experimentales. Programa de Investigación del Frijol (PIF), Zamorano, Honduras..... 7
5. Valor agronómico, días a floración, días a madurez fisiológica, rendimiento y media geométrica (kg/ha) de 24 líneas de frijol evaluadas bajo condiciones con estrés (157 mm, riego hasta los 35 DDS) y sin estrés (259 mm, riego hasta los 60 DDS) de sequía terminal durante la época de verano (febrero-abril). Lote 24 de Zona II, Zamorano, Honduras 2018. 9
6. Valor agronómico, días a floración, días a madurez fisiológica y rendimiento de 24 líneas de frijol sembradas bajo condiciones de con y sin fertilización (F) en las épocas de verano (febrero-abril) y en primera (junio-agosto) en un lote de baja fertilidad. La Vega 4, Zamorano, Honduras 2018. 11
7. Peso seco de follaje y raíces, nodulación y rendimiento de grano de 24 líneas de frijol y un testigo no-nodulador (R99) crecidas en camas experimentales de bajo contenido de N e inoculación con Rhizobium. Zamorano, Honduras, 2018. 15
8. Coeficientes de correlación entre el rendimiento de grano y el peso seco de follaje, peso seco de raíces y la nodulación de las líneas de frijol inoculadas con una mezcla de dos cepas de Rhizobium en camas experimentales conteniendo un sustrato suelo: arena: compost de bajo contenido de nitrógeno. Zamorano, Honduras, 2018..... 16
9. Rendimiento (kg/ha) de 24 líneas de frijol común crecidas bajo estrés de sequía terminal, sin fertilización en un suelo de baja fertilidad e inoculadas con Rhizobium. Zamorano, Honduras, 2018. 17

Figuras Página

1. Escala de nodulación (1-9): 1=<10 nódulos, pequeños; 3=10-20 nódulos, pequeños-medianos; 5=10-20 nódulos medianos-grandes; 7=20-40 nódulos grandes; 9= >40 nódulos grandes (Rosas 2015). 7
2. Rendimiento (kg/ha) de 23 líneas y el testigo Amadeus 77 bajo condiciones con (153 mm) y sin estrés (259 mm) de sequía terminal durante la época de verano (febrero- abril) usando riego por aspersión. Zamorano, 2018. 10
3. Rendimiento (kg/ha) de 24 líneas de frijol crecidas con y sin fertilización en un lote de baja fertilidad durante la época de verano (febrero- abril). La Vega 4, Zamorano, 2018. 12
4. Rendimiento (kg/ha) de 23 líneas y el testigo Amadeus 77 crecidas sin fertilización en un lote de baja fertilidad durante las épocas de verano (febrero-abril) y de primera (junio-agosto). La Vega 4, Zamorano, Honduras, 2018. 13
5. Rendimiento (kg/ha) de 24 líneas crecidas en condiciones de estrés de sequía terminal (Lote 24, Z II) y sin fertilización (Lote Vega 4) durante la época de verano (febrero- abril) bajo riego. Zamorano, Honduras, 2018. 13

1. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más importante de la dieta básica de la mayoría de la población en países de Centro América y el Caribe. Provee aproximadamente el 70% de aporte energético y 20 % de proteína, dependiendo de la variedad de frijol (Cervantes 2011). Es un cultivo que presenta tolerancia en una diversidad de suelos y climas a pesar de sus limitaciones bióticas y abióticas (Lardizabal *et al*. 2013).

En la actualidad, las altas temperaturas, sequía y baja fertilidad de los suelos son los factores abióticos más limitantes para la producción de frijol. El incremento de las temperaturas, principalmente en las zonas bajas costeras, la falta de sistemas de riegos para corregir la insuficiencia de las lluvias y el alto costo de los fertilizantes son limitantes que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas debido a que la mayor parte de la producción son manejados por productores de escasos recursos (Rosas *et al.* 2000).

Uno de los mayores problemas en la agricultura es la producción bajo condiciones ambientales desfavorables para un desarrollo óptimo de los cultivos debido a limitaciones climáticas. En Honduras se estipula que la producción de los cultivos se reducirá de manera gradual por el aumento de las temperaturas mínimas y máximas en 0.022°C y 0.018°C por año, respectivamente (Porch *et al.* 2007).

Es común que el estrés causado por sequía y altas temperaturas se presente con frecuencia y de manera simultánea sobre las etapas fenológicas más sensitivas de la planta, especialmente durante inicio de la floración, llenado de vainas y formación de grano (Rainey y Griffiths 2005).

En las condiciones de baja fertilidad presente en la mayoría de los suelos tropicales, se presentan efectos que limitan el crecimiento y desarrollo de la planta. El nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) cumplen funciones importantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas. El N interviene en la síntesis de clorofila y previene la maduración de la planta (Arias y Guzmán 2001); el P influye en el crecimiento de las raíces y hojas (Martinez Rodríguez 1999); el K es básico para el proceso fotosintético, translocación y metabolismo de azúcares (Arias y Guzmán 2001); el Ca interviene en la constitución de los tejidos y tiene acción antitóxica debido a los excesos del K; y el Mg es un componente básico de la clorofila.

El conocimiento de las características de la planta y sus sistemas radiculares se vuelve importante al seleccionar genotipos con mecanismos fisiológicos de tolerancia a la deficiencia hídrica, nutricional y calor, por lo cual ayudan a mantener la turgencia del sistema fotosintético y la actividad metabólica relacionada con la fijación de CO_2. También tienden a conservar la tasa de crecimiento de raíces y órganos aéreos donde se reflejará mayor producción de biomasa y rendimiento de la semilla (Barrios *et al.* 2011).

La utilización de prácticas adicionales como la inoculación con cepas bacterianas del género *Rhizobium sp.* incrementan la disponibilidad de N en el cultivo de frijol hasta un 50%, debido al proceso de simbiosis que ocurre entre esta leguminosa y la bacteria, mediante la fijación biológica de nitrógeno (FBN) contribuye al crecimiento y desarrollo de las plantas.

La FBN permite una mejor adaptación del frijol a condiciones limitantes de este nutrimento y la reducción en el uso de fertilizantes nitrogenados, haciéndola económica y ecológicamente sustentable para la agricultura en el mejoramiento de los cultivos, suelos y los ecosistemas en general (Sueiro *et al.* 2011).

Los objetivos del estudio fueron:

- Evaluar la tolerancia de líneas de frijol común a condiciones de estrés de sequía terminal y suelos de baja fertilidad (principalmente N y P).
- Evaluar la nodulación y FBN de líneas de frijol como mecanismo de adaptación a suelos de bajo contenido de N.
- Identificar líneas con tolerancia múltiple a factores abióticos para su uso como variedades o progenitores en mejoramiento genético.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio.
La investigación se condujo mediante varios ensayos de campo. Las evaluaciones de tolerancia a la sequía se llevaron a cabo en el Lote 24 de Zona II y el de baja fertilidad en la Vega 4 de Monte Redondo. Los ensayos de inoculación de *Rhizobium sp.* se llevaron a cabo en el Programa de Investigación de Frijol (PIF). Los tres estudios se realizaron en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada en el Valle del Yegüare, departamento de Francisco Morazán, a 32 km al este de Tegucigalpa, Honduras, con una elevación de 800 msnm.

Material experimental.
En el estudio se utilizaron 23 líneas de frijol provenientes de los programas de mejoramiento de frijol participantes en las evaluaciones previas durante el 2014-17, para identificar germoplasma de frijol tolerante a sequía, baja fertilidad y altas temperaturas, y la variedad mejorada Amadeus 77 como testigo (Cuadro 1). Durante la época de enero a agosto de 2018 las líneas se sometieron a estrés por sequía terminal, baja fertilidad y se evaluó respuesta a inoculación con dos cepas de *Rhizobium,* CIAT 632 de *R. etli* y CIAT 899 de *R. tropici.*

Ensayo 1: Evaluación de la tolerancia al estrés de sequía terminal.
El ensayo se llevó a cabo durante la época seca, en el lote 24 de Zona II, Zamorano. Las 23 líneas y el testigo Amadeus 77 se sembraron en dos parcelas (con y sin estrés hídrico) el 02 de febrero de 2018. En cada parcela las líneas se distribuyeron bajo un diseño de bloques completos al azar (BCA), con cuatro repeticiones. La unidad experimental fueron surcos de 3 m de largo con distanciamientos entre surcos de 0.6 m y 0.1 m entre plantas. Los resultados del análisis de suelo del lote se presentan en el Cuadro 2. El lote presentó bajos contenidos de materia orgánica, N total y Mg, medio en Ca y Na, y alto en P y K. El ensayo fue fertilizado 130 kg/ha de 18-46-0 a la siembra y urea a los 25 días después de la siembra (DDS).

En ambas parcelas se aplicó riego por aspersión. A los 35 DDS, etapa de floración (R6), se impuso el estrés de sequía terminal en el tratamiento respectivo; la parcela sin estrés se le continúo regando hasta los 67 DDS, etapa de madurez fisiológica (R8). El riego acumulado fue de 153 mm en la parcela con estrés de sequía y de 259 mm en la parcela sin estrés. Durante el ensayo se hicieron control de malezas aplicando Flex® (fomesafen) y Fusilade® (fluazifop-p-butil) para control de malezas de hoja ancha y gramíneas, respectivamente. La incidencia de plagas y enfermedades fue mínima por lo que no se realizaron aplicaciones de agroquímicos.

Cuadro 1. Líneas promisorias de frijol incluidas en los ensayos de evaluación de la tolerancia a condiciones de estrés de sequía terminal y baja fertilidad de los suelos.

No. Línea	Genotipo	Procedencia
1	Beniquez	UPR
2	BIOF 2-106	PIF
3	MHN 322-49	PIF
4	BFS 81	CIAT
5	SER 125	CIAT
6	SJC 730-79	PIF
7	MER 2212-28	PIF
8	SB-DT1	USDA/TARS
9	IBC 301-204	PIF
10	TARS LFR-1	USDA/TARS
11	TARS MST-1	USDA/TARS
12	PR 1217-16	UPR
13	FBN 1211-66	PIF
14	SEF 16	CIAT
15	MHR 311-17	PIF
16	SEQ 342-87	PIF
17	MEN 2207-17	PIF
18	SEN 52	CIAT
19	INB 841	CIAT
20	BRT 103-182	PIF
21	SB 787	CIAT
22	SX14825-7-1	CIAT
23	USMR 20	USDA/TARS
24	Amadeus 77	PIF

UPR: Universidad de Puerto Rico, PIF: Programa de Investigaciones en Frijol de Zamorano, CIAT: Centro Internacional de Agricultura Tropical, USDA/TARS: Estación Experimental Tropical de Investigación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos ubicada en Puerto Rico.

Las variables evaluadas en el ensayo de sequía fueron:

Días a floración: Los días desde la siembra a la etapa de floración (R6) cuando el 50 % de las plantas en la parcela presentaron la primera flor abierta (Rosas 2003).

Días a madurez fisiológica: Los días desde la siembra a la etapa de desarrollo de la madurez fisiológica (R9) cuando el 50 % de todas las plantas presentaron decoloración en las vainas de verde a amarillo, y sus hojas un color amarillento (CIAT 1987).

Cuadro 2. Resultados del análisis químico del suelo de las parcelas del ensayo de sequía terminal. Lote 24, Zona 2, Zamorano, Honduras.

Localidad	pH	%			mg/kg (Extractable)				
		C.O	M.O	N total	P	K	Ca	Mg	Na
Lote 24	6.15	0.97	1.68	0.08	134	357	1276	136	121
Rango Medio			2	0.2	13	Por: Saturación de bases			
			4	0.5	30				

pH: Relación suelo: agua 1:1, CO: Método de Walkley y Black; %N total: Estimado como 5% de materia orgánica (MO); P: Solución extractora Mehlich 3 (colorimetría); K, Ca, Mg y Na: Solución extractora Mehlich 3 (espectrofotometría de absorción atómica).

Valor agronómico: El valor agronómico es un índice que incluye arquitectura, días a madurez, sanidad y carga reproductiva, que se evaluó cuando las plantas estaban en la etapa de madurez fisiológica (R9) usando una escala del 1 a 9 en donde (1=excelente; 3= muy buena; 5= buena 7= pobre; 9= muy pobre) (CIAT 1987).

Cosecha: Al momento de la cosecha se contó el número de plantas cosechadas por unidad experimental, luego se cuantificó el peso total de la semilla cosechada por unidad experimental, utilizando una balanza semi-analítica marca Seedburo. Se determinó el porcentaje de humedad de la semilla con el medidor de humedad Burrows DC550 usando muestras de 132 g de cada línea. Con la información anterior, se expresaron los rendimientos de la semilla en kg/ha ajustado a una humedad del 14%.

Ensayo 2: Evaluación de la tolerancia a la baja fertilidad de los suelos.

Se sembraron las 24 líneas de frijol incluyendo al testigo comercial Amadeus 77, en un arreglo de parcelas divididas de un diseño de BCA con cuatro repeticiones. Se utilizaron surcos de 5 m de largo con un distanciamiento entre surcos de 0.6 m y 0.1 m entre plantas. El ensayo fue sembrado en las épocas de siembra de verano (febrero a abril) y primera (mayo a agosto) de 2018 en la Vega 4 de Monte Redondo, Zamorano.

El ensayo se condujo en parcelas (con y sin fertilización) con características de baja disponibilidad de N y P en el suelo. Los análisis químicos de suelo realizados en el Laboratorio de Suelos de Zamorano muestran en la parcela con fertilización (F+) contenidos bajos de materia orgánica, N total y Mg, medio para P y Na, alto de K y Ca (Cuadro 3). La parcela sin fertilización (F-) presentó contenidos bajos de MO, N, P y Mg, medio de Na y alto de K y Ca. Al momento de la siembra, se aplicó 18-46-0 y urea a los 25 DDS en las parcelas con fertilización.

Cuadro 3. Resultados del análisis químico del suelo de las parcelas con (F+) y sin (F-) aplicación de fertilizante. La Vega 4, Zamorano, Honduras.

Parcela	pH	%			mg/kg (extractable)				
		C.O	M.O	N total	P	K	Ca	Mg	Na
Vega 4 (F+)	5.94	0.52	0.9	0.05	19	341	1561	146	8
Vega 4 (F-)	6.06	0.52	0.9	0.04	8	392	1749	159	25
Rango Medio			2 4	0.2 0.5	13 30	Por: Saturación de bases			

pH: Relación suelo, agua 1:1, CO: Método de Walkley y Black; %N total: Estimado como 5% de materia orgánica (MO); P: Solución extractora Mehlich 3 (colorimetría); K, Ca, Mg y Na: Solución extractora Mehlich 3 (espectrofotometría de absorción atómica).

Para controlar malezas de hoja ancha y gramíneas en la parcela experimental, se utilizó una mezcla de Flex® y Fusilade® según recomendaciones en la etiqueta. Durante el desarrollo del ensayo se observaron síntomas de las enfermedades roya y mancha angular por lo que se realizó una aplicación de Bellis® (boscalid, 50 g/25 L de agua) en rotación con Amistar® (ciproconazol+azoxystrobin, 17 g/25 L de agua). Para mosca blanca, vector del virus del mosaico dorado amarillo, se aplicó Karate Zeón® (lambda cihalotrina, 50 cc/bomba). Las variables que se evaluaron en este ensayo fueron las mismas que se evaluaron en el ensayo de estrés de sequía terminal.

Ensayo 3: Respuesta a la inoculación con *Rhizobium.*

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) contribuye a la adaptación de variedades de frijol a condiciones de suelos con bajo contenido de N, gracias a la simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*. La evaluación de la respuesta a la inoculación con una mezcla de dos cepas efectivas (CIAT 632- *R. etli* y CIAT 899- *R. tropici*) se llevó a cabo en las 24 líneas de frijol más un testigo adicional, la línea no-noduladora R99, para determinar las diferencias en crecimiento y rendimiento debidos a las contribuciones de la FBN en líneas con buena nodulación.

El ensayo se estableció usando un diseño de BCA con cuatro repeticiones. Las unidades experimentales fueron surcos de 1.2 m de largo y los distanciamientos entre surcos de 0.4 m y 0.1 m entre plantas. El ensayo fue sembrado el 25 de mayo de 2018 en las camas experimentales (bancales) del PIF, conteniendo un sustrato suelo: arena: compost (1:1:1) con bajos contenidos de N según análisis de suelo realizados en el Laboratorio de Suelos de Zamorano (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados del análisis químico del suelo de las camas experimentales. Programa de Investigación del Frijol (PIF), Zamorano, Honduras.

Localidad	pH	%		mg/kg (Extractable)				
		M.O	N total	P	K	Ca	Mg	Na
Bancales PIF	6.52	1.18	0.06	52	180	1283	135	19
Rango Medio		2	0.2	13	Por: Saturación de bases			
		4	0.5	30				

pH: Relación suelo, agua 1:1, MO: Método de Walkley y Black; %N total: Estimado como 5% de materia orgánica (MO); P: Solución extractora Mehlich 3 (colorimetría); K, Ca, Mg y Na: Solución extractora Mehlich 3 (espectrofotometría de absorción atómica).

El control de malezas se realizó de forma manual y para el control de mosca blanca se utilizó Karate Zeón® y Monarca®. No se presentaron otras plagas ni enfermedades que requirieran algún control durante el ensayo.

Evaluación de nodulación. A los 35 DDS, etapa de floración (R6), se realizó la cosecha de cinco plantas de cada unidad experimental, separando la parte aérea (follaje) de las raíces. Luego se procedió a lavar las raíces para evaluar la nodulación utilizando la escala visual 1 a 9 (1 = <10 nódulos, pequeños; 9= >40 nódulos grandes), que se presenta en la Fig. 2. El follaje y las raíces se colocaron en bolsas de papel para ser secados en horno a 65°C x 72 h para luego determinar el peso seco del follaje y de raíces.

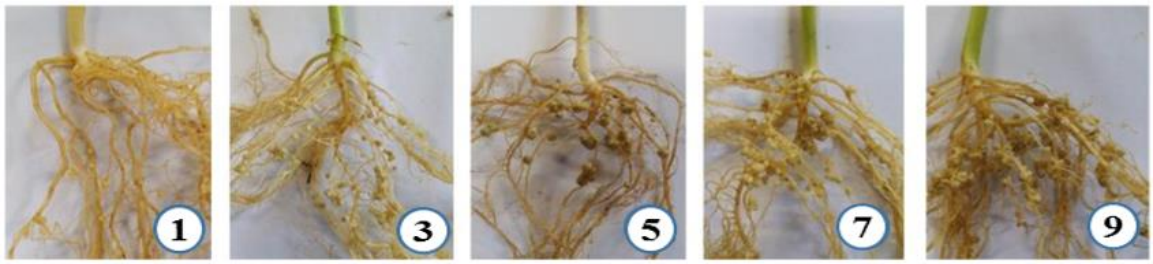

Figura 1. Escala de nodulación (1-9): 1=<10 nódulos, pequeños; 3=10-20 nódulos, pequeños-medianos; 5=10-20 nódulos medianos-grandes; 7=20-40 nódulos grandes; 9= >40 nódulos grandes (Rosas 2015).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo 1: Evaluación de la tolerancia al estrés de sequía terminal.
Durante la conducción del ensayo de tolerancia a sequía terminal conducido en la época de verano (febrero- abril), se presentaron condiciones favorables para evaluar los efectos en el rendimiento de las líneas bajo de estrés de sequía (153 mm de riego hasta los 35 DDS) y sin estrés (259 mm de riego hasta 60 DDS), usando un sistema de riego por aspersión. Como era de esperarse, la parcela con estrés de sequía presentó un rendimiento promedio (1,158 kg/ha) mucho menor que sin el estrés (3,347 kg/ha), que equivale a una reducción por el estrés del 65% sobre la producción del grano similar al estudio de (Polanía 2011) bajo las mismas condiciones; sin embargo, no se presentaron diferencias significativas en el rendimiento entre las líneas de frijol en ambas condiciones dado el mismo caso de Alarcón y Burgos (2016). Bajo estrés de sequía, la mayoría de las líneas presentaron un mayor rendimiento que el testigo Amadeus 77; sin embargo, en las condiciones favorables sin estrés de sequía, este testigo fue superior a varias de las líneas.

La media geométrica que indica el comportamiento en rendimiento de las líneas en relación al resto bajo ambas condiciones, con y sin estrés de sequía terminal, sugiere que las líneas más estables en ambos ambientes fueron SEN 52, USMR 20, SJC 730-79, MHN 322-49 y MER 2212-28 como demuestra el Cuadro 5. Por otro lado, cuando se contrasta el comportamiento de las líneas en una gráfica de dispersión, las líneas sobresalientes en ambas condiciones resultan ser SEN 52, USMR 20, MHN 322-49, FBN 1213-66 y MHR 311-17 (Figura 2).

Con excepción de los días a madurez fisiológica sin estrés de sequía, se presentaron diferencias altamente significativas entre las líneas en las variables de valor agronómico, días a floración y días a madurez fisiológica.

Cuadro 5. Valor agronómico, días a floración, días a madurez fisiológica, rendimiento y media geométrica (kg/ha) de 24 líneas de frijol evaluadas bajo condiciones con estrés (157 mm, riego hasta los 35 DDS) y sin estrés (259 mm, riego hasta los 60 DDS) de sequía terminal durante la época de verano (febrero-abril). Lote 24 de Zona II, Zamorano, Honduras 2018.

Línea	Valor agronómico		Días a floración		Días a madurez fisiológica		Rendimiento (kg/ha)		Media geométri-ca
	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés	
SEN 52	3.5	4.5	36	36	54	65	3914	1482	2408
FBN 1211-66	5.0	6.3	37	37	74	66	3528	1331	2167
BFS 81	4.0	4.8	38	36	73	66	2767	1321	1911
SB 787	5.3	4.3	42	39	72	67	2910	1294	1941
MHN 322-49	3.0	5.3	37	39	74	70	3857	1260	2204
INB 841	5.3	5.8	36	36	71	63	3136	1258	1986
IBC 301-204	4.0	5.0	41	39	71	67	3079	1249	1961
MHR 311-17	3.3	5.0	41	40	73	69	3540	1233	2090
USMR 20	5.5	7.3	39	39	72	67	3993	1231	2217
BIOF 2-106	4.3	4.3	41	40	72	67	2957	1219	1898
PR 1217-16	4.3	3.3	41	40	73	68	3349	1208	2011
SB-DT1	2.8	5.3	42	40	71	69	3221	1175	1946
SER 125	4.3	4.8	37	37	74	68	2982	1163	1862
MER 2212-28	2.3	4.8	40	39	73	69	4209	1139	2190
SX14825-7-1	4.3	5.0	39	38	72	68	2920	1099	1791
SJC 730-79	3.8	5.8	41	40	74	69	4525	1084	2215
TARS MST-1	2.8	5.3	42	40	72	69	2903	1054	1749
BRT 103-182	4.0	6.3	41	40	73	70	3700	1045	1967
SEF 16	5.3	5.5	36	37	72	66	3234	1025	1821
Amadeus 77	4.5	6.5	41	40	72	70	3198	1008	1795
TARS LFR-1	4.0	5.0	41	39	71	68	2705	998	1643
SEQ 342-87	2.0	4.8	40	40	75	70	2754	996	1656
Beniquez	3.0	4.5	43	41	75	70	3194	988	1776
MEN 2207-17	2.5	5.8	42	41	76	71	3760	922	1862
Promedio	3.9	5.2	40	39	72	68	3347	1158	1961
CV (%)	25.3	20.6	2.6	2.6	9.5	1.5	23.1	25	
DMS	1.4**	1.5**	1.5**	1.4**	9.7ns	1.4**	1091ns	408ns	

CV =Coeficiente de variación; DMS =Diferencia mínima significativa.
**, ns Diferencias significativas al $P \leq 0.01$ y no significativa.

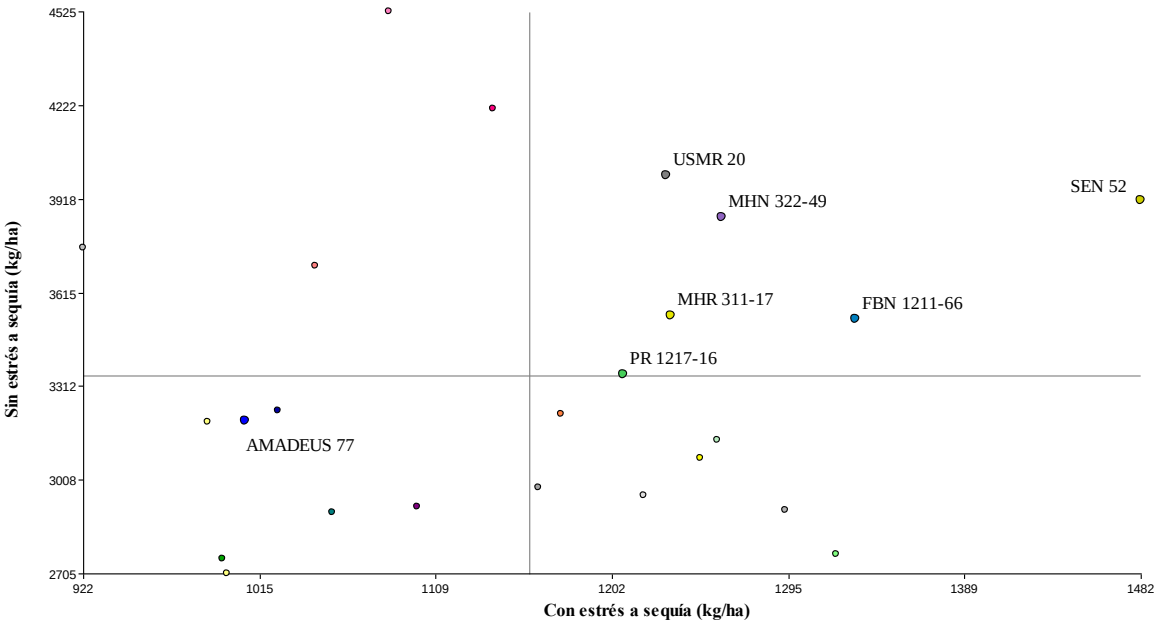

Figura 2. Rendimiento (kg/ha) de 23 líneas y el testigo Amadeus 77 bajo condiciones con (153 mm) y sin estrés (259 mm) de sequía terminal durante la época de verano (febrero-abril) usando riego por aspersión. Zamorano, 2018.

Ensayo 2: Evaluación de la tolerancia a la baja fertilidad.

El ensayo de tolerancia a suelos de baja fertilidad se condujo en La Vega 4 de bajos contenidos de MO, N Total y P, durante las épocas de siembra de verano (febrero-abril) y primera (junio-agosto). Los rendimientos promedios con fertilización en el verano (1,147 kg/ha) y primera (1,749 kg/ha) fueron superiores al promedio sin fertilización en el verano (563 kg/ha) y primera (760 kg/ha), respectivamente (Cuadro 6). Las precipitaciones de la época de primera favorecieron el mayor crecimiento y productividad de las líneas que en el verano, debido a que el riego estuvo por debajo de las necesidades de agua requeridas para un cultivo óptimo (>300mm) en las condiciones de Zamorano.

Según la gráfica de dispersión, las líneas con mejor rendimiento con y sin fertilización en el ensayo de verano fueron TARS LFR-1, BFS 81, SER 125, USMR 20 y BRT 103-182 (Figura 3). Por otro lado, si comparamos el comportamiento de las líneas bajo condiciones sin fertilización en las épocas de verano y primera, las líneas más sobresalientes en ambas épocas fueron TARS LFR-1, BFS 81, USMR 20, BRT 103-182 y SX14824-7-1 (Figura 4). Las líneas mencionadas muestran mejor estabilidad de la tolerancia a condiciones de suelos de baja fertilidad sugiriendo una mejor adaptación bajo otras condiciones climáticas que difieren en ambas épocas, incluyendo la mayor precipitación, humedad relativa y temperatura en los meses de primera. El testigo Amadeus 77, una variedad mejorada de amplia adaptación a diversos ambientes, se comportó bastante bien en parcelas sin fertilización en ambas épocas. En la evaluación en ambos estreses durante la época de verano las líneas que presentaron mejor adaptación fueron BFS 81, SEN 52, USMR 20, SER 125, IBC 301-204 y BIO 2-106 (Figura 5).

Cuadro 6. Valor agronómico, días a floración, días a madurez fisiológica y rendimiento de 24 líneas de frijol sembradas bajo condiciones de con y sin fertilización (F) en las épocas de verano (febrero-abril) y en primera (junio-agosto) en un lote de baja fertilidad. La Vega 4, Zamorano, Honduras 2018.

Linea	Valor agronómico en verano (1-9)		Días a floración en verano		Días a madurez fisiológica en verano		Rendimiento en verano (kg/ha)		Rendimiento en primera (kg/ha)	
	Sin F	Con F	Sin F	Con F	Sin F	Con F	Sin F	Con F	Sin F	Con F
TARS LFR-1	4.3	4.8	43	42	74	69	707	1552	990	1513
BFS 81	4.5	4.5	38	36	69	66	682	1663	1006	1891
Amadeus 77	4.8	5.5	42	44	75	72	674	1050	722	1849
USMR 20	6.3	4.3	42	38	72	66	648	1280	888	1932
BRT 103-182	4.8	5.8	42	43	73	70	626	1261	773	1743
SER 125	3.5	3.8	37	36	70	66	626	1499	768	2641
SX14825-7-1	5.0	3.8	37	36	72	68	600	1360	988	2191
SEN 52	5.0	4.3	37	36	72	68	599	1347	515	1603
MER 2212-28	4.8	4.8	42	45	76	75	586	1362	771	2149
IBC 301-204	4.5	5.5	41	41	69	67	569	1268	613	1300
BIOF 2-106	4.0	5.3	42	43	74	73	566	1297	1067	2425
SJC 730-79	5.5	5.5	41	44	76	74	563	1072	685	1614
MHR 311-17	4.5	5.3	42	43	75	70	559	1339	843	2259
SEQ 342-87	5.0	3.8	44	44	75	73	551	1057	668	971
SB-DT1	4.5	5	44	43	75	70	546	1585	527	1559
SEF 16	4.8	5.8	36	36	67	66	545	1441	877	2046
SB 787	4.3	5.8	42	42	68	67	534	1109	605	1936
TARS MST-1	5.3	5.8	42	43	77	71	529	1080	426	1414
FBN 1211-66	4.5	4.8	37	36	69	65	505	877	604	1614
MHN 322-49	4.8	5.3	37	38	76	75	505	1297	452	1537
PR 1217-16	5.5	5.8	42	42	74	70	493	1332	792	1687
MEN 2207-17	6.5	4.8	44	46	77	76	466	848	535	1134
Beniquez	6.5	6.8	43	44	77	74	424	900	363	1246
INB 841	6.3	7.0	35	34	66	64	415	904	425	1721
Promedio	5.2	5.5	41	41	73	70	563	1147	760	1749
CV (%)	26.5	20.2	3.8	2.5	3.6	3	17.2	27.3	36.4	21.3
DMS	1.8ns	1.4**	2.1**	1.4**	3.6**	2.9**	137**	478*	148**	215**

CV =Coeficiente de variación; DMS =Diferencia mínima significativa.
*, **, ns. Diferencias significativas al $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, y no significativa.

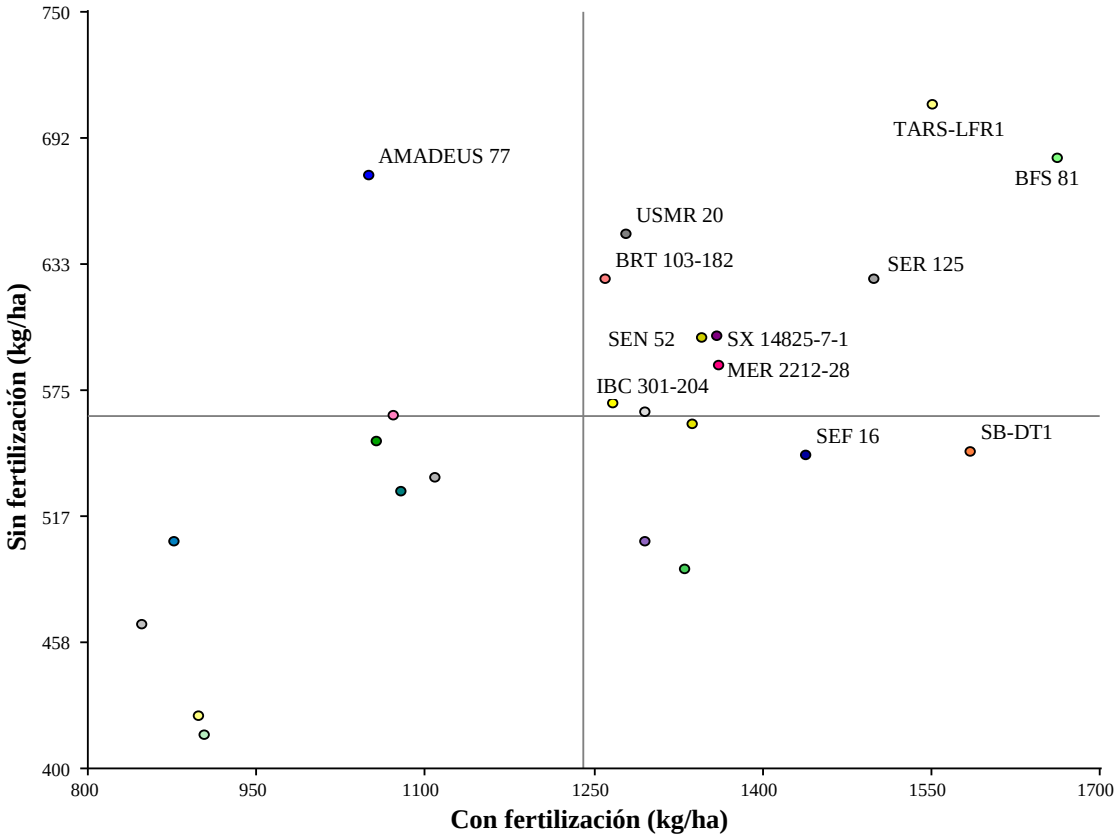

Figura 3. Rendimiento (kg/ha) de 24 líneas de frijol crecidas con y sin fertilización en un lote de baja fertilidad durante la época de verano (febrero- abril). La Vega 4, Zamorano, 2018.

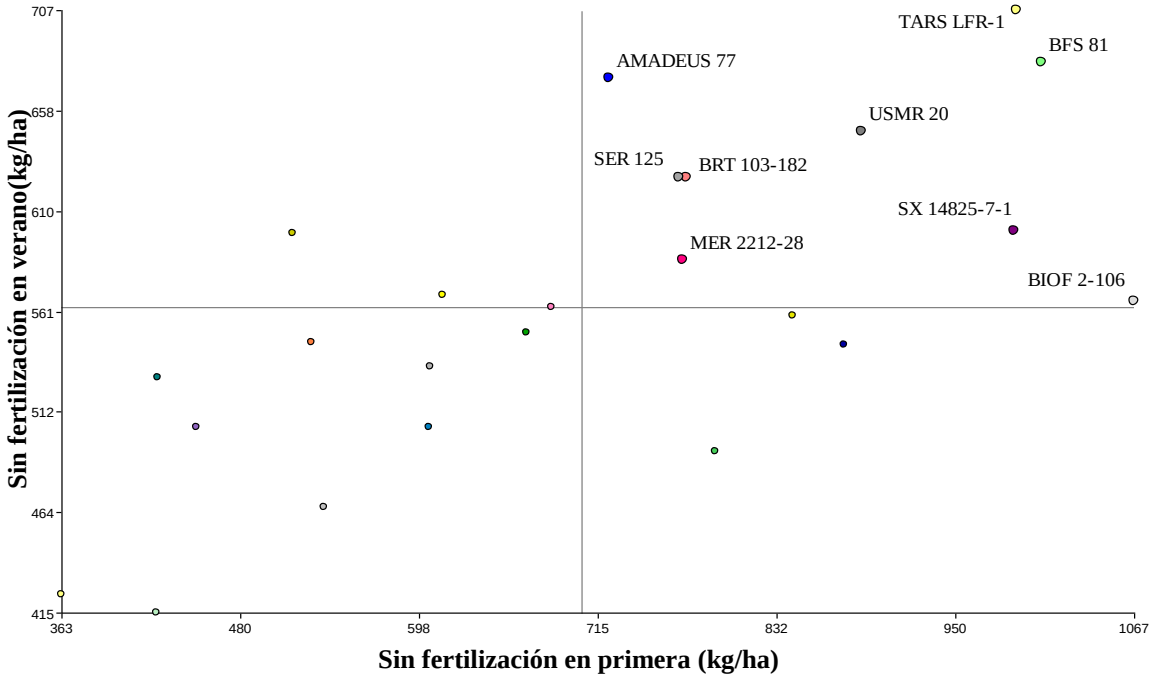

Figura 4. Rendimiento (kg/ha) de 23 líneas y el testigo Amadeus 77 crecidas sin fertilización en un lote de baja fertilidad durante las épocas de verano (febrero- abril) y de primera (junio-agosto). La Vega 4, Zamorano, Honduras, 2018.

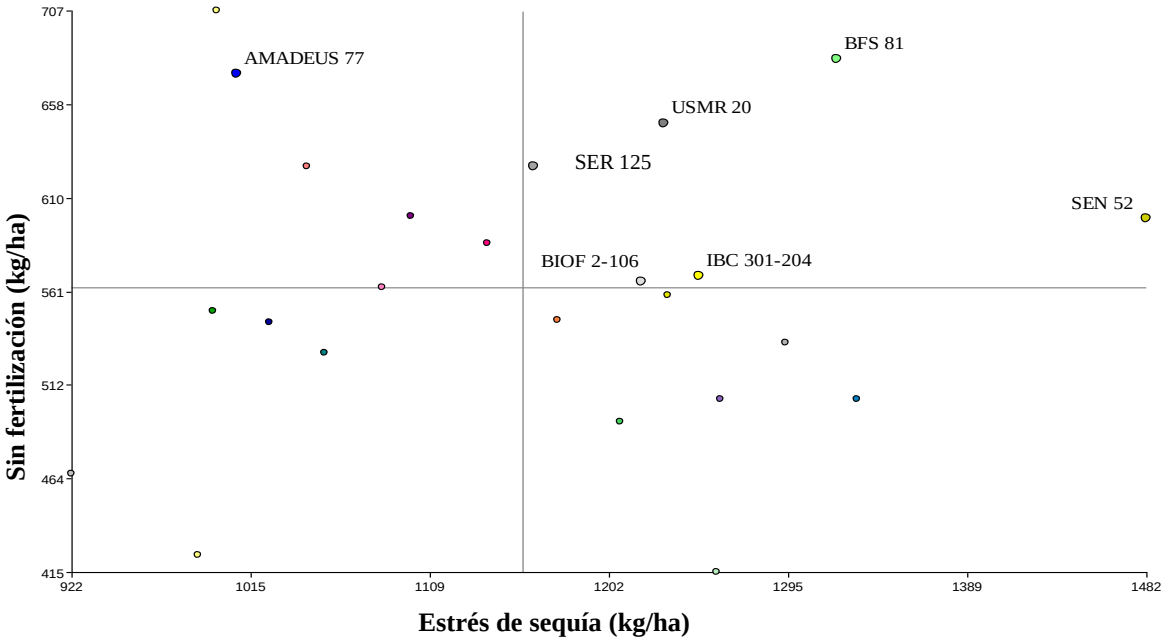

Figura 5. Rendimiento (kg/ha) de 24 líneas crecidas en condiciones de estrés de sequía terminal (Lote 24, Z II) y sin fertilización (Lote Vega 4) durante la época de verano (febrero-abril) bajo riego. Zamorano, Honduras, 2018.

Ensayo 3: Respuesta a inoculación con *Rhizobium*.

En este ensayo de respuesta de las líneas de frijol a la inoculación con *Rhizobium*, se registraron diferencias significativas en el peso seco de follaje y raíces, nodulación y el rendimiento de las líneas (Cuadro 7). La inoculación con una mezcla de dos cepas de *Rhizobium* (CIAT 632 de *R. etli* y CIAT 899 de *R. tropici*) resultó efectiva en las condiciones de bajo N Total (0.06 %) del sustrato donde se condujo el ensayo. El rendimiento estuvo correlacionado positivamente con el peso seco de follaje (r=0.71**) y de raíces (r=0.65**) y la nodulación (r=0.70**) (Cuadro 8). Algunos estudios indican que los nódulos desarrollados en zona de la corona, tienen mayor capacidad para fijar nitrógeno que los que están ubicados en otras partes (Morales 2010). Las líneas con buena nodulación y rendimiento fueron Beniquez (1,339 kg/ha), MEN 2207-17 (1,331 kg/ha) y MER 2212-28 (1,251 kg/ha). Algunas líneas con buena nodulación como SX14825-7-1 e INB 841 no tuvieron un buen rendimiento como las anteriores, sugiriendo la necesidad de selección por ambas características.

Los resultados sugieren que bajo condiciones de bajo N la inoculación facilita el crecimiento y rendimiento de las plantas de frijol. El promedio (4.9) y el rango (4.3 a 6.5) de la nodulación de las 24 líneas de frijol fueron significativamente superiores al de la línea testigo no-noduladora R-99 (1.0), sugiriendo la importancia de la nodulación y la FBN bajo condiciones de suelos de bajo contenido de N. En la escala 1-9 los datos de nodulación de las líneas están aproximadamente en la parte media de la escala (10-20 nódulos medianos a grandes), lo cual para las condiciones del ensayo resultó ser aceptable.

Los resultados de los tres ensayos del presente estudio sugieren que algunas líneas promisorias tienen buena tolerancia a condiciones de estrés de sequía terminal (SEN 52, FBN 1211-66 y BFS 81), a condiciones de suelos de baja fertilidad, principalmente N y P (TARS LF1, BFS 81 y USMR 20 en la época de verano; y BIOF 102-6, BFS 81 y TARS LFR-1 en primera) y en condiciones de inoculación con *Rhizobium* (Beniquez, MEN 2202-17 y MER 2212-28) (Cuadro 9). Algunas otras líneas no fueron estadísticamente diferentes a las mencionadas anteriormente. El rendimiento del testigo Amadeus 77 estuvo ligeramente sobre el promedio en los ensayos de baja fertilidad en el verano y primera y de inoculación con *Rhizobium*, y ligeramente inferior al promedio del ensayo de sequía terminal.

Las líneas de frijol de grano rojo y negro, las de mayor consumo en Centro América y El Caribe, sobresalientes en estos y anteriores ensayos deben de ser evaluadas bajo las condiciones presentes en las zonas productoras de frijol para validar su potencial como futuras variedades. Por otro lado, las líneas promisorias tolerantes a sequía terminal y baja fertilidad deber ser utilizadas como progenitores en programas de mejoramiento genético en combinación con líneas élites que posean otras características agronómicas y comerciales deseables.

Cuadro 7.Peso seco de follaje y raíces, nodulación y rendimiento de grano de 24 líneas de frijol y un testigo no-nodulador (R99) crecidas en camas experimentales de bajo contenido de N e inoculación con Rhizobium. Zamorano, Honduras, 2018.

Línea	Peso seco de follaje (g/pl)	Peso seco de raíces (g/pl)	Nodulación (1-9)	Rendimiento (kg/ha)
Beniquez	13.5	4.0	6.5	1339
MEN 2207-17	13.5	3.7	5.2	1331
MER 2212-28	10.2	3.3	5.1	1251
SB-DT1	15.3	4.0	4.4	1237
BRT 103-182	14.3	3.3	5.4	1196
PR 1217-16	10.9	3.9	5.3	1193
SER 125	19.5	3.7	5.7	1193
MHR 311-17	13.1	6.2	5.2	1103
SEF 16	13.3	3.4	5.8	1060
TARS LFR-1	15.1	3.9	5.1	1057
USMR 20	18.7	4.0	5.6	1046
SB 787	13.0	3.4	4.8	1001
SX14825-7-1	14.8	4.1	6.0	971
TARS MST-1	14.3	3.8	5.1	970
Amadeus 77	13.7	3.5	5.0	939
BFS 81	13.9	2.9	5.1	931
SJC 730-79	11.0	3.2	5.3	811
BIOF 2-106	12.9	3.2	4.8	793
SEN 52	13.3	3.5	5.3	750
MHN 322-49	9.9	3.0	4.7	747
FBN 1211-66	11.1	3.3	5.7	703
SEQ 342-87	10.6	3.9	4.8	687
INB 841	11.8	3.3	6.0	687
IBC 301-204	9.3	2.9	4.3	663
R99 (no-nod)	4.3	1.6	1.0	210
Promedio	12.6	3.5	4.9	930
CV (%)	21.3	33.5	16.5	39.9
DMS	1.5**	0.6*	0.4**	205**

CV =Coeficiente de variación; DMS =Diferencia mínima significativa.
*, ** Diferencias significativas al $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$.

.

Cuadro 8.Coeficientes de correlación entre el rendimiento de grano y el peso seco de follaje, peso seco de raíces y la nodulación de las líneas de frijol inoculadas con una mezcla de dos cepas de Rhizobium en camas experimentales conteniendo un sustrato suelo: arena: compost de bajo contenido de nitrógeno. Zamorano, Honduras, 2018.

Variables	**Correlación de Pearson**	**Valor P**
Rendimiento- Peso seco de follaje	0.71	0.0001**
Rendimiento- Peso seco de raíces	0.65	0.0003**
Rendimiento- Nodulación	0.70	0.0001**

** Altamente significativo a $P \leq 0.01$.

Cuadro 9.Rendimiento (kg/ha) de 24 líneas de frijol común crecidas bajo estrés de sequía terminal, sin fertilización en un suelo de baja fertilidad e inoculadas con Rhizobium. Zamorano, Honduras, 2018.

Linea	Estrés por sequía verano	Baja fertilidad verano	Baja fertilidad primera	Inoculación *Rhizobium*
TARS LFR-1	998	707	990	1057
BFS 81	1321	682	1006	931
Amadeus 77	1008	674	722	939
USMR 20	1231	648	888	1045
BRT 103-182	1045	626	773	1195
SER 125	1163	626	768	1192
SX14825-7-1	1099	600	988	971
SEN 52	1482	599	515	750
MER 2212-28	1139	586	771	1251
IBC 301-204	1249	569	613	663
BIOF 2-106	1219	566	1067	792
SJC 730-79	1084	563	685	811
MHR 311-17	1233	559	843	1102
SEQ 342-87	996	551	668	687
SB-DT1	1175	546	527	1237
SEF 16	1025	545	877	1060
SB 787	1294	534	605	1001
TARS MST-1	1054	529	426	970
FBN 1211-66	1331	505	604	703
MHN 322-49	1260	505	452	747
PR 1217-16	1208	493	792	1192
MEN 2207-17	922	466	535	1331
Beniquez	988	424	363	1339
INB 841	1258	415	425	687
R99	-	-	-	297
Promedio	1158	563	696	929
CV (%)	25	17.2	21.3	39.9
DMS	408ns	137**	215**	205**

CV =Coeficiente de variación; DMS =Diferencia mínima significativa.
**, ns. Diferencias significativas al $P \leq 0.01$ y no significativa.

4. CONCLUSIONES

- En condiciones de estrés de sequía terminal las líneas de frijol que mostraron el mayor rendimiento fueron SEN 52, USMR 20 y MHN 322-49; en condiciones sin fertilización en un suelo de baja fertilidad TARS-LFR1, BFS 81, USMR 20 en la época de verano, y BIOF 102-6, BFS 81 y TARS LFR-1 en la época de primera, y bajo ambos estreses BFS 81, BIOF 2-106 y USMR 20 fueron las líneas con mayores rendimientos.

- La respuesta a la inoculación con *Rhizobium* y correlación positiva entre rendimiento y nodulación, demuestra la importancia de la nodulación en la adaptación del frijol a condiciones de suelos con bajo contenido de N.

- Teniendo en cuenta el contexto de la producción de frijol en Centro América y El Caribe, los resultados sugieren la necesidad de desarrollar variedades con tolerancia a múltiples estreses mediante mejoramiento genético.

5. RECOMENDACIONES

- Validar las líneas tolerantes a estrés de sequía y baja fertilidad en ambientes múltiples de la producción de frijol en Honduras y Centro América para determinar su potencial como variedades mejoradas.

- Utilizar líneas promisorias identificadas en el estudio para el desarrollo de variedades con tolerancia a múltiples estreses, y otros caracteres agronómicos y comerciales deseables, mediante el mejoramiento genético.

- Considerar la capacidad de nodulación (FBN) como un mecanismo para el mejoramiento genético de la adaptación del frijol en suelos pobres en nitrógeno.

- Continuar con la evaluación de germoplasma de procedencia diversa y líneas mejoradas de mejoramiento genético de la tolerancia a estreses abióticos en proceso de desarrollo, en estaciones experimentales y fincas de agricultores.

6. LITERATURA CITADA

Alarcón I, Burgos K. 2016. Selección de líneas de frijol común *(Phaseolus vulgaris L.)* tolerantes a estrés hídrico con mayor eficiencia fisiológica y rendimiento [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 18 p.

Arias J, Guzmán M. 2001. Evaluación y transferencia de tecnología para el manejo integrado del cultivo de frijol en el oriente antioqueño. Antioquia: Centro de Investigación "La Selva". [consultado 2018 ago 22]. https://books.google.hn/books?id=DAMmk2nTbPgC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Barrios E, López C, Kohashi J. 2011. Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo flor de mayo: Agronomía Costarricense 35(1): 131-145

Cervantes L. 2011. El valor nutricional del frijol. [consultado 2018 sep 06]. http://www2.esmas.com/mujer/dietas-y-ejercicios/alimento-de-hoy/302809/valor-nutricional-frijol-preparacion-proteinas-hierro-minerales-enteros-molletes-enfrijoladas-historico/

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. A van Schoonhoven, M Pastor-Corrales (comps.). Cali, Colombia, 56 p.

Ferrufino A, Granda D. 2008. Mapeo de las cadenas agroalimentarias de maíz blanco y frijol en Centroamérica [internet]. Managua: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). [consultado 2018 sep 13]. http://repiica.iica.int/docs/B1548E/B1548E.PDF

Jones AL. 1999. *Phaseolus* bean: post-harvest operations. FAO 1999; [citado 2018 Julio 6]; volumen(numero): localización. Disponible en: file:///D:/Documents/TESIS/FAO%201999.pdf

Lardizabal R, Arias S, Segura R. 2013. Manual de producción de frijol [internet]. Cortés: United States Agency International Development ACCESO (USAID-ACCESO). [consultado 2018 sep 13]. http://www.agronegocioshonduras.org/wp-content/uploads/2014/06/manual_de_produccion_de_frijol.pdf

Martinez Rodríguez C. 1999. Evaluación de germoplasma de frijol por tolerancia a suelos con bajos niveles de fertilidad [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 43 p.

Morales Y. 2010. Caracterización fenotípica de líneas endogámicas de la variedad de frijol rojo Amadeus 77 en condiciones de baja fertilidad. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 21 p.

Polanía JA. 2011. Identificación de características morfofisiológicas asociadas a la adaptación a sequía para ser usadas como criterios de selección en mejoramiento de frijol común *Phaseolus vulgaris* L. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias sede Palmira. Palmira, Colombia. 110 p.

Porch TG, Bernsten R, Rosas JC, Jahn M. 2007. Climate change and the potential economic benefits of heat-tolerant bean varieties for farmers in Atlántida, Honduras. J. Agric. Univ. Puerto Rico 91(3-4):133-148.

Rainey KM, Griffiths PD, 2005. Differential response of common bean genotypes to high temperature. Journal of the American Society for Horticultural Science 130 (1):18-23.

Rosas JC, Castro JA, Flores E. 2000. Mejoramiento genético del frijol rojo y negro mesoamericano para Centroamérica y el Caribe. Agronomía Mesoamericana 11(2):37-46.

Rosas JC. 2003. El Cultivo del Frijol Común en América Tropical. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 2da Edición, Imprenta Litocom, Tegucigalpa, Honduras, 57 p.

Rosas JC. 2015. Escala para evaluar la nodulación en frijol común. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 1 p. (ilustrada).

Sueiro A, Rodríguez M, De la Cruz Martín S. 2011. El uso de biofertilizantes en el cultivo del frijol: una alternativa para la agricultura sostenible en Sagua la Grande. [Tesis] Filial Universitaria Municipal Sagua la Grande, Cuba. 25 p.