

Evaluación de líneas promisorias de frijol común en condiciones de suelos con bajos contenidos de nitrógeno y fósforo

**María Belén Besilla Renteria
Elisa Michelle Solis Toapanta**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de líneas promisorias de frijol común en condiciones de suelos con bajos contenidos de nitrógeno y fósforo

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

Presentado por

María Belén Besilla Renteria
Elisa Michelle Solis Toapanta

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2017

Evaluación de líneas promisorias de frijol común en condiciones de suelos con bajos contenidos de nitrógeno y fósforo

María Belén Besilla Rentería
Elisa Michelle Solís Toapanta

Resumen. El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de mayor importancia para la seguridad alimentaria y nutricional de Mesoamérica. Su mejoramiento genético es esencial para contrarrestar limitantes bióticas y abióticas que afectan el cultivo y a los pequeños agricultores. El objetivo de este estudio fue determinar el comportamiento agronómico y rendimiento de líneas promisorias de frijol común en suelos con bajos contenidos de nitrógeno y fósforo. En la época de primera y postrera de 2016 se evaluaron 24 genotipos bajo tratamientos sin y con fertilización (130 kg/ha DAP + 65 kg/ha urea) en un lote de bajo contenido de nitrógeno total (<0.04 g/100g) y fósforo (<13 ppm). Adicionalmente se evaluaron en suelo:arena (1:1) en casa malla durante el verano del 2016 y en bancales con suelo:arena inoculando *Rhizobium* en 24 genotipos más un testigo no nodulador. También se analizaron las raíces en laboratorio a los 12 días después de siembra. Se utilizó un arreglo de parcelas divididas de un diseño de bloques completos al azar, con los tratamientos en parcelas y los genotipos en sub-parcelas. Se evaluaron variables del sistema radicular, el peso del follaje, índice de cosecha, nodulación, y los rendimientos en campo y bancales. Los genotipos SEF 16, en primera, y SER 125, en postrera y en el ensayo de *Rhizobium*, mostraron los rendimientos más altos. En casa malla el genotipo PR 1483-10 mostró un mayor desarrollo radicular. En el laboratorio, G 21212 presentó un alto grado de pubescencia en las raíces.

Palabras clave: Caracterización de las raíces, índice de cosecha, nodulación, *Phaseolus vulgaris* L., rendimiento, *Rhizobium*.

Abstract. The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the most important legume for food and nutritional security in Mesoamerica. Its genetic improvement is essential to counter the biotic and abiotic limitations that affect small farmers and their crops. The objective of this study was to determine the agronomic behavior and yield of promising common bean lines in soils with low contents of nitrogen and phosphorous. From June to August and October to December 2016, 24 genotypes were evaluated without and with (130 kg/ha DAP + 65 kg/ha urea) fertilization in a plot of land with low contents of total nitrogen (<0.04 g/100g) and phosphorous (<13 ppm). They were also evaluated with a soil:sand (1:1) substrate in a mesh house during summer of 2016 and at bancales with a soil:sand:compost substrate inoculated with *Rhizobium*, plus a non-nodulating line as control. Also, roots were analyzed 12 days after sowing. An arrangement of divided plots of a randomized complete block design was used, with the treatments in plots and genotypes in sub-plots. Variables of the root system, foliage weight, harvest index, nodulation and yields in the field and bancales were evaluated. From June to August, SEF 16, and from October to December and for the *Rhizobium* assay, SER 125 had the highest yields. In the mesh house, genotype PR 1483-10 showed a greater root development. In the laboratory assay, G 21212 presented a high degree of pubescence in its roots.

Key words: Harvest index, nodulation, *Phaseolus vulgaris* L., *Rhizobium*, root characterization, 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 DISCUSIÓN.....	10
4. CONCLUSIONES.....	30
5. RECOMENDACIONES.....	31
6. LITERATURA CITADA.....	32

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Resultados del análisis de suelo de la Vega 4. Laboratorio de Análisis de Suelos, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, 2016.	3
2. Genotipos de frijol común evaluados en condiciones de suelo de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo y tratamientos con y sin fertilización. Zamorano, 2016-17.	4
3. Resultados del análisis de los sustratos suelo:arena (1:1) del Programa de Investigaciones en Frijol. Laboratorio de Análisis de Suelos, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, 2014.	6
4. Resultados del análisis de suelo de los bancales del Programa de Investigaciones en Frijol. Laboratorio de Análisis de Suelos, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, 2017.	7
5. Análisis de varianza del rendimiento, índice de cosecha y peso seco de 100 semillas de 24 genotipos de frijol crecidos bajo tratamientos con y sin fertilización en el ensayo de campo conducido en la época de primera, junio a agosto. La Vega 4, Zamorano, Honduras, 2016.	10
6. Rendimiento de semilla, media geométrica, índice de cosecha y peso seco de 100 semillas de 24 genotipos de frijol crecidos con (+F) y sin (-F) fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo en la época de primera, junio a agosto. La Vega 4, Zamorano, 2016.	11
7. Análisis de varianza del rendimiento y peso seco de 100 semillas de 24 genotipos de frijol crecidos bajo tratamientos con y sin fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo en la época de postrera, octubre a diciembre. La Vega 4, Zamorano, Honduras, 2016.	12
8. Rendimiento, media geométrica, peso seco de 100 semillas y reacción a mosaico dorado (1 – 9) en 24 genotipos de frijol crecidos con (+F) y sin (-F) fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo en la época de postrera, octubre a diciembre. La Vega 4, Zamorano, Honduras 2016.	13
9. Análisis de varianza del número de coronas, raíces basales y adventicias, diámetro (mm) y ángulo de raíces (1 – 9) de 24 genotipos de frijol crecidos bajo tratamientos con y sin fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo en la época de postrera, octubre a diciembre. La Vega 4, Zamorano, Honduras, 2016.	15
10. Peso seco de follaje, número de coronas, raíces basales, raíces adventicias, ángulo de raíces (escala 1 – 9), diámetro de la raíz principal y nodulación	

(escala 1 – 9) de 24 líneas de frijol crecidos con (+F) y sin (-F) fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo durante la época de postrera, octubre a diciembre. La Vega 4, Zamorano, Honduras 2016.....	16
11. Coeficientes de correlación entre el rendimiento (kg/ha) y las características de raíces de los genotipos de frijol crecidos sin fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo en la época de postrera, octubre a diciembre. La Vega 4, Zamorano, Honduras, 2016.	18
12. Coeficientes de correlación entre el rendimiento (kg/ha) y las características de raíces de genotipos de frijol crecidos con fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo en la época de postrera, octubre a diciembre. La Vega, Zamorano, 2016.....	18
13. Análisis de varianza del número de coronas, raíces basales y adventicias, y ángulo de raíces de 24 genotipos de frijol crecidos bajo tratamientos con y sin fertilización en casa malla. Zamorano, Honduras, 2016.	19
14. Número de coronas, raíces basales, raíces adventicias y ángulo de raíces (escala 1 – 9) de 24 líneas de frijol crecidos con (+F) y sin (-F) fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo en casa malla. La Vega 4, Zamorano, Honduras 2016.	20
15. Análisis de varianza de la longitud, área superficial, diámetro y volumen de raíces de 24 genotipos de frijol crecidos bajo tratamientos con y sin fertilización en casa malla. Zamorano, Honduras, 2016.	22
16. Longitud, área superficial, diámetro promedio y volumen de las raíces de 24 genotipos de frijol crecidos con (+F) y sin fertilización (-F) en casa malla. Zamorano, Honduras 2016.	23
17. Peso del follaje, nodulación (escala 1 – 9), rendimiento, número de coronas, ángulo de raíces basales (escala 1 – 9), diámetro y raíces adventicias de los 24 genotipos de frijol evaluadas y el testigo no-nodulador R99 en bancales con sustrato de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo. Zamorano, Honduras 2017.....	26
18. Coeficientes de correlación entre el rendimiento, peso seco de follaje las características de raíces de genotipos de frijol crecidos en bancales con sustrato de bajo contenido de nitrógeno e inoculación de <i>Rhizobium</i> . Zamorano, Honduras, 2017.....	28
19. Número de coronas, número y ángulo de raíces basales (escala 1 – 9) y pubescencia (escala 1 – 9) de plantas juveniles de los 24 genotipos de frijol evaluados en el Laboratorio de Biotecnología Aplicada. Zamorano, Honduras, 2017.	29

Figuras	Página
1. Escala visual para la evaluación del ángulo de las raíces basales del 1 – 9 (1 = 0 – 18°, 3 = 19 – 36°, 5 = 37 – 54°, 7 = 55 – 72° y 9 = 73 – 90°).	5
2. Escala de nodulación temprana, en la floración, (1 – 9): 1 = ausencia de nódulos, 3 = < 10 nódulos pequeños (< 1 mm), 5 = 10 – 20 nódulos pequeños-medianos (1 – 2 mm), 7 = 20 – 30 nódulos medianos-grandes (2 – 3 mm), 9 = > 30 nódulos grandes (> 3 mm).....	8

3. Escala visual para medir la pubescencia en raíces de frijol del 1 – 9
(1 = ausentes o en baja densidad y cortos, 3 = semidenso y medianos,
5 = densos y cortos a medianos, 7 = semidenso y medianos a largos y 9 =
densos y largos)..... 9

1. INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de grano de mayor importancia para la seguridad alimentaria y nutricional en varias regiones de Latinoamérica y África. Su contribución como fuente de proteínas en la dieta de países como Haití (18%), Nicaragua y Cuba (16%), Brasil (12 – 13%), Guatemala y México (10 – 11%) es significativa. En Mesoamérica el frijol es un componente esencial de la dieta diaria (FAO 2014). La producción de este grano en Centro América está principalmente en manos de pequeños agricultores los que afrontan múltiples limitantes incluyendo el difícil acceso a semillas de calidad, fincas ubicadas en suelos de baja fertilidad, bajas precipitaciones en épocas y zonas de siembra, entre otros. Por otro lado, la mayoría de los agricultores no cuentan con los medios económicos necesarios para adquirir fertilizantes o uso de abonos orgánicos para suplir los requerimientos nutricionales del cultivo, e implementar sistemas de riego para suplementar la ausencia de lluvias (Rosas 1998; Singh y Voysest 1998).

Para contrarrestar estas limitantes se desarrollan variedades de frijol tolerantes a factores bióticos y abióticos mediante el mejoramiento genético. Uno de los enfoques en los estudios de la adaptación del frijol a limitantes abióticas es la caracterización del sistema radicular de las plantas para identificar variables asociadas con la habilidad de la planta para extraer de manera más eficiente los nutrientes en el suelo (Ho et al. 2005). El comportamiento de los genotipos que son más eficientes en la absorción de nutrientes como fósforo, depende del desarrollo de una mayor cantidad de raíces adventicias y coronarias. Por otro lado, el ángulo de las raíces basales orientadas más al plano horizontal sugiere una mayor habilidad para explorar la capa superficial del suelo (Lynch y Brown 2001).

Entre los nutrientes más frecuentemente deficientes en zonas donde se cultiva frijol se encuentran el fósforo (P) y el nitrógeno (N). El P es relativamente de baja movilidad en el suelo, por lo que resulta en una desventaja en su absorción por el sistema radicular de la planta (Henry et al. 2010). El N es un elemento mayor de gran importancia para el crecimiento de la planta, ya que esta necesita mayores cantidades de este elemento; con frecuencia este se encuentra deficiente en el suelo, y además se pierde fácilmente por lixiviación (Velasco 1973). El mejoramiento del sistema radicular para una buena captación de nutrientes es esencial para el desarrollo del cultivo. Para esto, es necesario conocer que los genotipos de raíces superficiales tienen baja acumulación de biomasa bajo condiciones bajas de P en el suelo; en cambio, genotipos de raíces profundas tienen baja producción de biomasa bajo condiciones de sequía (Henry et al. 2010). La acumulación de biomasa se convierte en nutrientes que se traslocan hacia las vainas y estas se llenan con el crecimiento de los granos o semillas.

Tomando en cuenta que muchos de los pequeños agricultores en Latino América no cuentan con el capital para adquirir fertilizantes, es importante que esta deficiencia de N, una de las mayores limitantes para el cultivo de frijol (Rosas y Bliss 1986), se supla a través de otros mecanismos. Una manera en la que se puede lograr que el frijol tenga una mayor capacidad de absorción de N en suelos pobres y baja fertilización, es a través de la relación mutualista entre sus raíces y las bacterias *Rhizobium*. El *Rhizobium* fija nitrógeno de la atmósfera (N_2) y lo vuelve disponible y aprovechable para la planta, así mismo la planta provee nutrimentos y carbohidratos a las bacterias (López-Lara 2005). Pero cuando existe un excedente de nitratos (fertilizantes) en el suelo, el *Rhizobium* encuentra competencia y no forma suficientes nódulos en las raíces (Herridge et al. 1994; Hardarson 1993).

Si se obtiene una buena acumulación de biomasa por medio de las raíces, se puede tener una buena producción. Es fundamental el mejoramiento del frijol por medio de la selección de plantas que presenten las mejores características de adaptación a condiciones de baja fertilidad y sequía, lo cual sería de gran ayuda para el desarrollo agrícola de la población Latinoamericana (Graham et al. 2003).

Los objetivos del estudio fueron:

- Determinar el comportamiento agronómico y rendimiento de líneas promisorias de frijol común en suelos con bajos contenidos de N y P.
- Evaluar el comportamiento de líneas de frijol común en condiciones de suelos con bajos contenidos de N y P.
- Medir la eficiencia en el crecimiento y rendimiento de líneas promisorias de frijol mediante variables e índices fisiológicos.

2. METODOLOGÍA

Ubicación.

El presente proyecto de investigación se llevó a cabo en cuatro etapas: ensayos en campo, casa de malla, camas o banales y en el laboratorio del Programa de Investigaciones en Frijol (PIF), ubicados en la Escuela Agrícola Panamericana, Universidad Zamorano, Valle del Yeguaré, Departamento de Francisco Morazán, a 32 km al este de Tegucigalpa, Honduras.

Ensayo 1: Evaluación en campo.

El ensayo se realizó en el lote de La Vega 4, durante los meses de junio a agosto del 2016 (época de primera) y noviembre a enero del 2017 (época de postrera tardía). La temperatura máxima y mínima durante la época de primera fue 32.1 y 19.4 °C, y en la época de postrera fue 29.6 y 16.3 °C. El lote experimental presentó niveles bajos de materia orgánica y N total, en cuanto al P, fue de nivel medio en las parcelas fertilizadas y bajo en las no fertilizadas (Cuadro 1).

Los métodos utilizados para realizar los análisis de suelos fueron: K, Ca, Mg, Na: Solución extractora Melich 3, determinados por espectrofotometría de absorción atómica. P: Solución extractora Melich 3, determinado por colorimetría. Porcentaje de materia orgánica (M.O.): Método de Walkley & Black. Porcentaje N total: 5% de M.O. pH: Relación suelo:agua (1:1) AOAC 994,16 modificado con incertidumbre ± 0.09 .

Cuadro 1. Resultados del análisis de suelo de La Vega 4. Laboratorio de Análisis de Suelos, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, 2016.

Muestra	Código Interno Laboratorio	pH (H ₂ O)	g/100g		mg/kg (extractable)				
			Materia orgánica	Nitrógeno total	P	K	Ca	Mg	Na
+F	16-S-2134	5.81	0.84	0.04	25	333	1452	169	N.D.
-F	16-S-2135	6.00	0.90	0.04	13	315	1502	164	N.D.
Rango Medio			2.00	0.20	13	Por: Saturación de bases			
			4.00	0.50	30				

+F = con fertilización; -F = sin fertilización; N.D. = No disponible

Tratamientos.

Se evaluaron 24 genotipos de frijol incluyendo 22 líneas seleccionadas por su mayor tolerancia a condiciones de bajos contenidos de N y P en ensayos previos conducidos en el 2015, y dos variedades testigos, Amadeus 77 de grano rojo y DOR 390 de grano negro (Cuadro 2). Estas líneas se manejaron bajo tratamientos con fertilización (130 kg/ha de 18-46-0 a la siembra y 65 kg/ha de urea al aporque) y sin fertilización. La unidad experimental consistió en un surco de 5 metros de largo, con distanciamientos de 0.7 metros entre surcos y 0.1 metros entre plantas, para un total de 50 plantas por surco.

Cuadro 2. Genotipos de frijol común evaluados en condiciones de suelo de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo y tratamientos con y sin fertilización. Zamorano, 2016-17.

No. Tratamiento	Genotipo	No. Tratamiento	Genotipo
1	SEQ 342-89	13	SB 781
2	PR 1217-16	14	SB 770
3	SJC 730-79	15	Sayaxché ML
4	BFS 29	16	NCB 280
5	SER 125	17	Jamapa
6	SEF 16	18	BFS 81
7	Tepary G 40001	19	BFS 87
8	PR 1483-105	20	XRA V 40-4
9	ALS 0532-6	21	Lenca Precoz
10	SEF 71	22	DEORHO
11	SEF 17	23	Amadeus 77 (T1)
12	G 21212	24	DOR 390 (T2)

Diseño experimental.

Se utilizó un arreglo factorial de parcelas divididas de un diseño de bloques completos al azar (BCA). El tratamiento de fertilización fue distribuido en las parcelas y los genotipos en las sub-parcelas. Se utilizaron cuatro repeticiones.

Variables medidas.

Se registraron las etapas fenológicas de floración, llenado de vainas y madurez de cosecha en días después de la siembra (DDS). En la etapa de floración (R6, 50% de las plantas con por lo menos una flor presente), se cosechó cinco plantas cortando al ras del suelo con una tijera de poda. El follaje se introdujo en bolsas de papel, se secó en un horno a 70 °C × 48 horas y se determinó el peso seco del follaje (PSF). Se extrajo las raíces cuidadosamente con palas, se lavaron con agua y detergente, se determinó el ángulo de las raíces usando una escala visual 1 – 9 (Figura 1), el número de raíces basales y adventicias, y el diámetro de la raíz principal con un pie de rey.

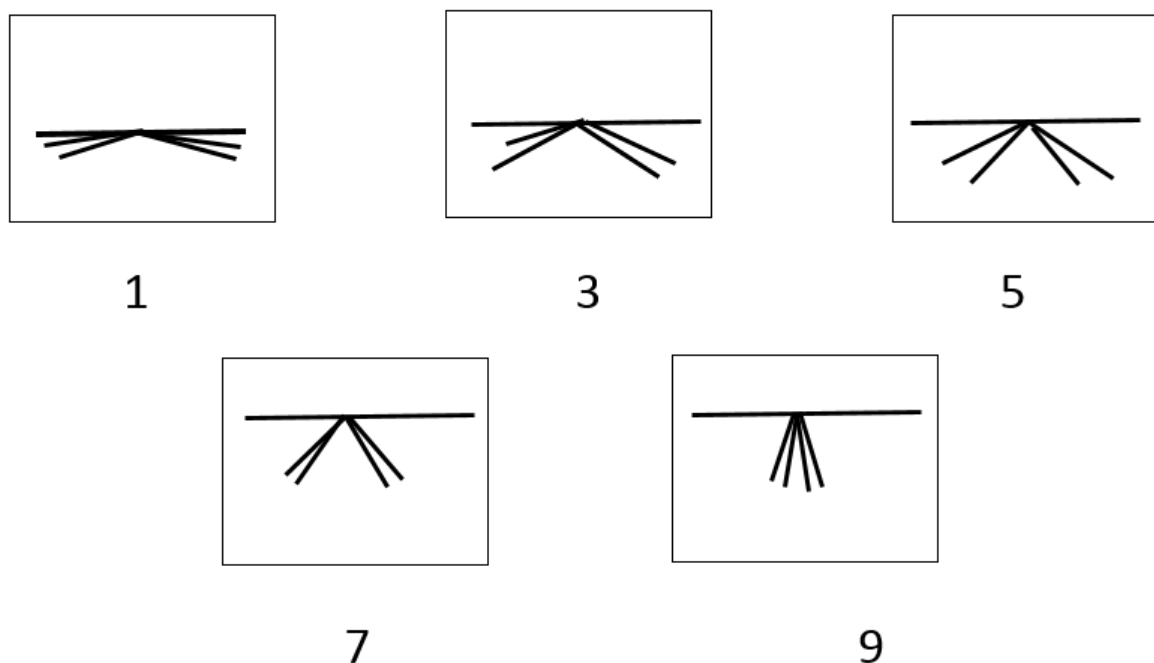


Figura 1. Escala visual para la evaluación del ángulo de las raíces basales del 1 – 9 (1 = 0 – 18°, 3 = 19 – 36°, 5 = 37 – 54°, 7 = 55 – 72° y 9 = 73 – 90°).

En la etapa de llenado de vainas (R8, plantas con la máxima longitud de las vainas y llenado de los granos, pero todavía conserva el follaje), se muestreó cinco plantas y se colocaron en bolsas de papel para secarlas en horno a 70 °C por 48 horas y luego se determinó el peso seco de vainas (PSV) y el PSF. En la madurez de cosecha (a los 75 DDS) se muestreó 10 plantas, se separó las semillas y vainas en diferentes bolsas y se secaron a 70 °C × 72 horas para determinar el PSV y peso seco de las semillas (PSS). Con estos datos se calculó el índice de cosecha (IC) dividiendo el PSS entre la sumatoria del PSV y PSS ($IC = PSS / (PSV + PSS)$).

El peso seco de 100 semillas (PSCS) se determinó con el peso de 100 semillas elegidas al azar de toda la semilla cosechada y al ajustar su peso a 14% de humedad. Esta variable es un indicador del tamaño de la semilla. También se calculó el índice de cosecha (IC) a la madurez de cosecha (75 DDS) dividiendo el peso seco de las semillas entre los pesos secos de las vainas y semillas ($IC = PSS / (PSV + PSS)$). En la época de postrera se midió la reacción al virus del mosaico dorado amarillo (VMDA) usando la escala 1 a 9 (1 = sin síntomas; 9 = muy afectado).

Análisis estadístico.

Los datos recolectados fueron analizados con el programa estadístico Statistix 8.1. Se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) y separación de medias por el método de diferencias mínimas significativas (DMS) con $P \leq 0.05$.

Ensayo 2: Evaluación en casa de malla.

Tratamientos. Los 24 genotipos evaluados en campo fueron sembrados en maceteros de 8 pulgadas de diámetro que contenían un sustrato suelo:arena (1:1), bajo en N (0.07%) y P (3 ppm), para evaluar con mayor facilidad el sistema radicular que en el ensayo en campo (Cuadro 3). Se evaluaron dos tratamientos, uno con fertilización que utilizó una solución nutritiva aplicada cada dos días y otro sin fertilización. La unidad experimental consistió en un macetero con una planta.

Cuadro 3. Resultados del análisis de los sustratos suelo:arena (1:1) del Programa de Investigaciones en Frijol. Laboratorio de Análisis de Suelos, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, 2014.

Muestra	Código Interno Laboratorio	pH (H ₂ O)	g/100g		mg/kg (extractable)				
			Materia orgánica	Nitrógeno total	P	K	Ca	Mg	Na
Tesis Casa Malla #1	14-S-1955	5.90	1.49	0.07	3	214	655	122	N.D.
Rango Medio			2.00	0.20	13	Por: Saturación de bases			
			4.00	0.50	30				

N.D. = No disponible

Diseño experimental.

Se utilizó un arreglo de parcelas divididas de un diseño experimental BCA con cuatro repeticiones. Los tratamientos de fertilización se distribuyeron en las parcelas y los genotipos de frijol en las sub-parcelas.

Pregerminación de la semilla.

Previo a la siembra, la semilla se desinfectó por inmersión durante 30 segundos en una solución de etanol al 70%, 5 minutos en una solución de cloro al 5%, y tres lavados con agua destilada. La semilla se colocó en papel Kraft para su pregerminación, enrollada en el papel y amarrada con Twistems. Finalmente, se colocaron los rollos de papel que contenían las semillas en un vaso de precipitado con capacidad para 1 L con agua hasta la mitad y se cubrió con bolsas de papel aluminio para estandarizar la pregerminación. Tres días después de pregerminada, se procedió a sembrar tres plantas por macetero. Luego de 15 días después de siembra (DDS), se realizó el tutoreo de las plantas con varas de bambú y se raleó para dejar una planta por macetero

Variables medidas.

A la floración (R6), se cortó las plantas al ras del suelo con una tijera de poda. El follaje se introdujo en bolsas de papel y se secó en un horno a 70 °C por 48 horas para medir el PSF.

Se extrajo las raíces cuidadosamente, se lavaron con agua y detergente, y luego se determinó su ángulo según la escala de 1 – 9 (Figura 1), el número de raíces basales y raíces adventicias. Luego, se introdujo las raíces en frascos con etanol al 70% para preservarlas, y posteriormente, evaluar las variables área superficial (cm²), longitud (m), volumen de la raíz (cm³) y diámetro (mm) con el software WinRhizo[®].

Ensayo 3: Evaluación en camas o bancales.

El ensayo se estableció en camas o bancales ubicados en las facilidades del Programa de Investigación de Frijol compuestas por un sustrato suelo:arena:compost con niveles bajos de nitrógeno total (<0.11%) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados del análisis de suelo de los bancales del Programa de Investigaciones en Frijol. Laboratorio de Análisis de Suelos, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, 2017.

Muestra	Código Interno Laboratorio	pH (H ₂ O)	g/100g		mg/kg (extractable)				
			Materia orgánica	Nitrógeno total	P	K	Ca	Mg	Na
Tesis Bancal #1	17-S-1976	6.67	2.12	0.11	40	146	1014	89	15
Rango Medio			2.00	0.20	13	Por: Saturación de bases			
			4.00	0.50	30				

Tratamientos.

Se evaluó los 24 genotipos de los ensayos de campo y casa malla (Cuadro 2) y se incluyó el genotipo R-99, un testigo no nodulador. La unidad experimental consistió en un surco de 1.2 metros de largo, 0.5 metros entre surcos y 0.1 metros entre plantas, para un total de 12 plantas por surco. Previo a la siembra las semillas fueron inoculadas con una mezcla de dos cepas de *Rhizobium* CIAT 632 (*R. etli*) y CIAT 899 (*R. tropici*).

Variables medidas.

En la floración se muestreó cinco plantas cortando al ras del suelo con una tijera de poda. El follaje se secó en horno a 70 °C por 48 horas para determinar el PSF. Se extrajo las raíces cuidadosamente con palas y se lavaron con agua y detergente. Luego se determinó el ángulo de las raíces según escala de 1 – 9 (Figura 1), número de raíces basales, raíces adventicias y coronas, diámetro con el pie de rey, y la nodulación según escala 1 – 9 (Figura 2). En la madurez de cosecha se evaluó el rendimiento de muestras de 10 plantas por unidad experimental; y el rendimiento en kg/ha se estimó ajustando el peso de semillas al 14% de humedad y una densidad poblacional de 200,000 plantas/ha.

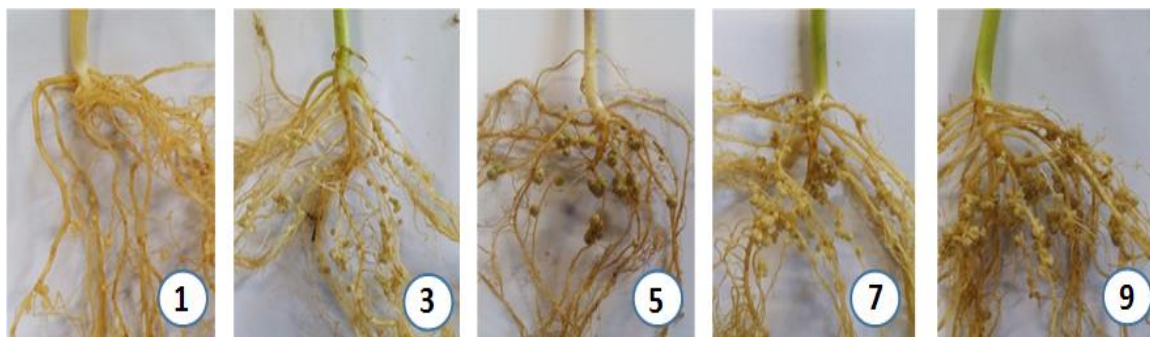


Figura 2. Escala de nodulación temprana, en la floración, (1 – 9): 1 = ausencia de nódulos, 3 = < 10 nódulos pequeños (< 1 mm), 5 = 10 – 20 nódulos pequeños-medianos (1 – 2 mm), 7 = 20 – 30 nódulos medianos-grandes (2 – 3 mm), 9 = > 30 nódulos grandes (> 3 mm).

Análisis estadístico.

Para analizar los datos recolectados se usó el programa estadístico Statistix 8.1. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y una separación de medias por el método de diferencia mínima significativa (DMS) con $P \leq 0.05$.

Ensayo 4: Evaluación de raíces en laboratorio.

La evaluación de raíces se realizó en el laboratorio de Biotecnología Aplicada de la Escuela Agrícola Panamericana, Universidad Zamorano, ubicada en el Valle del Yeguaré del Departamento de Francisco Morazán.

Tratamientos.

Semillas de los 24 genotipos fueron colocadas en frascos para desinfectarlas, primero durante 30 segundos en una solución de etanol al 70%, 5 minutos en una solución de cloro al 5%, y tres lavados con agua destilada. Se esterilizó el papel Kraft y las esponjas a 70 °C por 30 minutos. Se humedeció con agua destilada el papel Kraft esterilizado y se colocaron equidistantemente las tres semillas a 5 cm de distancia del borde superior del papel, se colocó otro papel encima y estos entre dos de las esponjas estériles, este proceso se repitió para los 24 genotipos evaluados. Se amarró las esponjas con un lazo y se colocaron en bandejas con agua para lograr la germinación de las semillas, emergencia de las plántulas y formación de raíces.

Variables medidas.

Se midió el ángulo de las raíces según escala de 1 – 9 (Figura 1), número de raíces basales, número de coronas y la densidad de la pubescencia (escala 1 – 9) de raíces en plantas juveniles (12 DDS). Para la evaluación de la densidad de la pubescencia, se cortó un segmento de raíz de 1 cm de largo de la raíz principal, de la raíz basal derecha y de la raíz basal izquierda de cada uno de los 24 genotipos. Cada corte fue a partir de 1 cm del inicio de cada raíz. Los tres cortes de raíces de cada genotipo fueron colocados en cassettes y envueltos en malla para evitar su pérdida. Los cassettes con los cortes de raíces fueron colocados en un beaker de 1 L con KOH al 10% con agua para clarificar las raíces. La solución con KOH junto con los cassettes con raíces se calentó a 80 °C × 30 minutos, luego

se lavó las muestras cinco veces con agua. Se cubrió los cassettes con agua y se colocó 5 ml de HCl por cada 200 ml de agua, se mezcló y desaguó sin enjuagar los cassettes con más agua.

Después se preparó una solución de tinte de azul de trypano al 0.05% en un beaker y se calentó a 80 °C (Phillips y Hayman 1970). Al alcanzar esta temperatura, se introdujo los cassettes durante 30 minutos y se dejó enfriar hasta 50 °C. Por último, se cubrió los cassettes con una solución de tinte de azul de trypano al 0.05% en un beaker y después se enjuagaron con agua. Los cortes de las raíces clarificadas se colocaron en placas agregando una gota de glicerol en cada corte para preservarlas. Las placas se observaron con un microscopio con el lente de aumento 10×. Previo a la evaluación de la pubescencia en las muestras de raíces, se desarrolló una escala de pubescencia basada en la abundancia (densidad), y longitud de los pelos radicales (Figura 3).

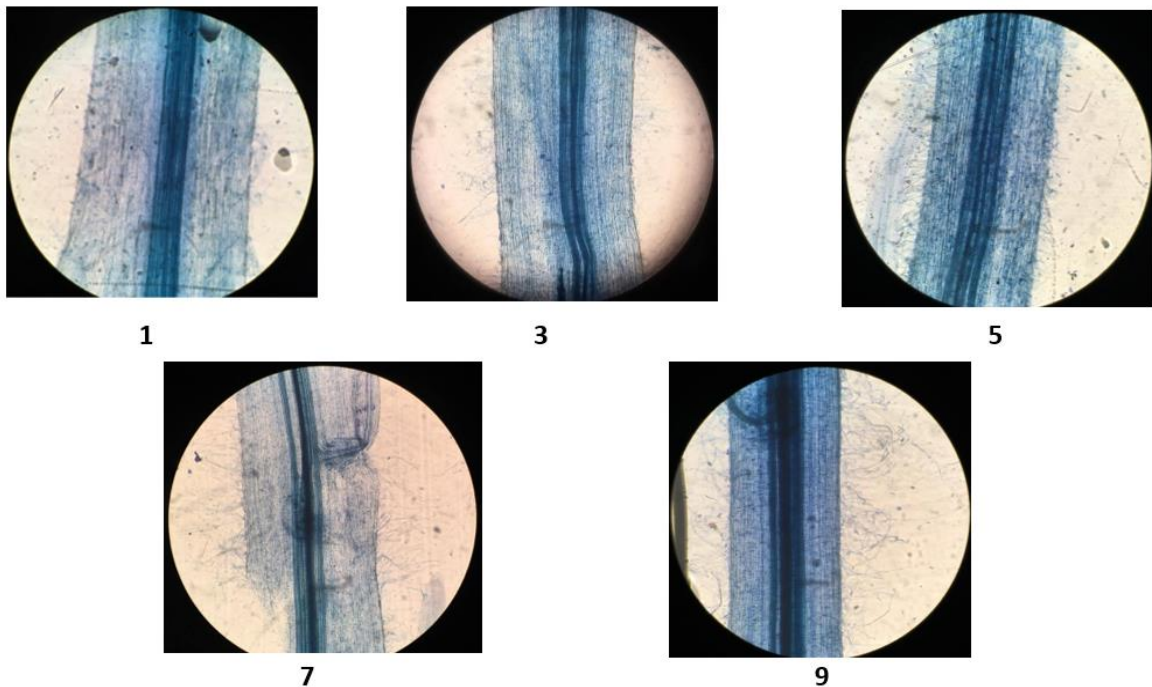


Figura 3. Escala visual para medir la pubescencia en raíces de frijol del 1 – 9 (1 = ausentes o en baja densidad y cortos, 3 = semidenso y medianos, 5 = la densos y cortos a medianos, 7 = semidenso y medianos a largos y 9 = densos y largos).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo 1: Evaluación en campo.

Se registraron diferencias altamente significativas por efecto de los tratamientos de fertilización (F) con relación al rendimiento y peso seco de 100 semillas (PSCS), pero no hubo diferencias en el índice de cosecha (IC). El efecto de los genotipos (G) en rendimiento, IC y PSCS fue altamente significativo. La interacción entre F × G mostró diferencias altamente significativas únicamente en el IC (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza del rendimiento, índice de cosecha y peso seco de 100 semillas de 24 genotipos de frijol crecidos bajo tratamientos con y sin fertilización en el ensayo de campo conducido en la época de primera, junio a agosto. La Vega 4, Zamorano, Honduras, 2016.

Factor	Rendimiento (kg/ha)	Índice de Cosecha	Peso seco semillas (g/100 semillas)
Fertilización (F)			
Con fertilización	2,378	0.8	21.6
Sin fertilización	1,063	0.7	19.7
Valor P	0.00**	0.12ns	0.00**
Genotipos (G)			
Valor P	0.00**	0.00**	0.00**
Interacción F × G			
Valor P	0.60ns	0.00**	0.24ns

ns = No significativo; ** = Altamente significativo ($P \leq 0.01$)

En la época de primera, junio a agosto, la fertilización favoreció el rendimiento promedio de los 24 genotipos (2,378 kg/ha) en comparación con el tratamiento sin fertilización (1,063 kg/ha) (Cuadro 6). Esto indica que la adición de fertilizantes puede duplicar el rendimiento del cultivo en condiciones favorables (FAO 2002). Los genotipos con el mayor rendimiento sin fertilización fueron BFS 81, BFS 87, SJC 730-79, SEF 16 y SB 781, y con fertilización SEF 16, DEORHO, SER 125, Amadeus 77 y BFS 87 (Cuadro 6). Según la media geométrica, los genotipos que mostraron un alto rendimiento bajo ambos tratamientos fueron BFS 87 (1,912 kg/ha) y SEF 16 (1,906 kg/ha), superiores al promedio de los 24 genotipos (1,583 kg/ha). Estos genotipos tuvieron rendimientos más altos que los testigos Amadeus 77 y DOR 390 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Rendimiento de semilla, media geométrica, índice de cosecha y peso seco de 100 semillas de 24 genotipos de frijol crecidos con (+F) y sin (-F) fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo en la época de primera, junio a agosto. La Vega 4, Zamorano, 2016.

No	Genotipo	Rendimiento (kg/ha)		Media geométrica (kg/ha)	Índice de Cosecha		Peso seco semillas (g/100 semillas)	
		+F	-F		+F	-F	+F	-F
1	SEF 16	2,863	1,268	1,906	0.78	0.77	23.8	21.7
2	DEORHO	2,829	700	1,407	0.77	0.76	21.9	20.5
3	SER 125	2,780	1,197	1,824	0.79	0.76	28.1	24.5
4	Amadeus 77	2,750	1,154	1,782	0.78	0.75	22.9	20.6
5	BFS 87	2,692	1,358	1,912	0.77	0.75	30.5	26.7
6	Sayaxché ML	2,690	992	1,633	0.74	0.72	17.2	16.2
7	SJC 730-79	2,655	1,312	1,866	0.78	0.73	23.5	21.0
8	ALS 0532-6	2,650	871	1,519	0.77	0.70	22.1	18.9
9	XRAV 40-4	2,541	1,214	1,756	0.76	0.73	16.6	14.8
10	SEQ 342-89	2,462	966	1,542	0.78	0.74	17.7	15.3
11	SB 781	2,458	1,256	1,757	0.72	0.69	18.8	16.6
12	BFS 81	2,428	1,374	1,826	0.75	0.70	23.9	22.8
13	SEF 71	2,417	1,079	1,615	0.75	0.76	27.0	25.9
14	BFS 29	2,400	948	1,509	0.77	0.75	23.9	21.5
15	DOR 390	2,355	1,069	1,586	0.76	0.72	15.5	15.8
16	SEF 17	2,327	1,106	1,604	0.78	0.75	29.5	27.3
17	PR 1217-16	2,209	1,083	1,547	0.72	0.69	19.5	18.3
18	NCB 280	2,170	1,110	1,552	0.75	0.77	24.5	22.7
19	SB 770	2,069	1,055	1,477	0.74	0.69	21.6	21.8
20	PR 1483-105	1,998	707	1,188	0.72	0.72	21.9	17.2
21	Lenca Precoz	1,962	1,127	1,487	0.73	0.75	18.8	20.0
22	G 21212	1,939	1,089	1,453	0.73	0.74	23.6	20.8
23	Tepary G 40001	1,777	850	1,229	0.68	0.68	12.2	9.0
24	Jamapa	1,656	631	1,022	0.69	0.72	14.8	14.4
Promedio		2,378	1,063	1,583	0.75	0.73	21.63	19.74
CV (%)		23.3	34.2		3.70	2.7	9.97	6.4
DMS		392ns	257ns		0.02**	0.01**	1.52**	0.89**

CV = Coeficiente de variación; DMS = Diferencia mínima significativa
ns = No significativo; ** = Altamente significativo ($P \leq 0.01$)

Debido a condiciones adversas de clima y presencia de enfermedades los rendimientos en el ensayo de campo conducido en la Vega 4 en la época de postrera, octubre a diciembre, del 2016, fueron muy bajos. Por lo anterior, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización con relación al rendimiento y al PSCS.

Los genotipos en rendimiento y PSCS mostraron diferencias altamente significativas. La interacción F × G mostró diferencias altamente significativas en el rendimiento (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de varianza del rendimiento y peso seco de 100 semillas de 24 genotipos de frijol crecidos bajo tratamientos con y sin fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo en la época de postrera, octubre a diciembre. La Vega 4, Zamorano, Honduras, 2016.

Factor	Rendimiento (kg/ha)	Peso seco semillas (g/100 semillas)
Fertilización (F)		
Con fertilización	709	18.3
Sin fertilización	461	19.6
Valor P	0.11ns	0.09ns
Genotipos (G)		
Valor P	0.00**	0.00**
Interacción F × G		
Valor P	0.01**	0.16ns

ns = No significativo; ** = Altamente significativo ($P \leq 0.01$)

En la época de postrera, octubre a diciembre, se presentaron condiciones poco favorables para el crecimiento y desarrollo de las plantas debido a estreses causados por exceso de lluvias, alta nubosidad y enfermedades. Esto afectó significativamente el rendimiento en ambas condiciones, con y sin fertilización. Entre los genotipos que sobresalieron en el tratamiento sin fertilización se encuentran BFS 29, SER 125, SJC 730-79, SEF 16 y SB 770, y con fertilización: PR 1217-16, Amadeus 77, SEQ 342-89, Sayaxché ML y ALS 0532-6 (Cuadro 8). Las medias geométricas más altas fueron Amadeus 77 (748 kg/ha) y SER 125 (712 kg/ha) (Cuadro 8). La severidad de VMDA fue menor en los genotipos con fertilización (5.8) que sin fertilización (4.2); algunos fueron muy afectados en la primera condición y otros en ambas.

Cuadro 8. Rendimiento, media geométrica, peso seco de 100 semillas y reacción a mosaico dorado (1 – 9) en 24 genotipos de frijol crecidos con (+F) y sin (-F) fertilización en un lote de bajo contenido de nitrógeno y fósforo en la época de postera, octubre a diciembre. La Vega 4, Zamorano, Honduras 2016.

No.	Genotipo	Rendimiento (kg/ha)		Media geométrica (kg/ha)	Peso seco semillas (g/100)		Mosaico dorado (1 – 9)		Días floración		Días madurez fisiológica
		+F	-F		+F	-F	+F	-F	+F	-F	
1	PR 1217-16	1,259	394	704	17.2	17.1	6	4	40	40	70
2	Amadeus 77	1,005	557	748	20	20.8	4	3	39	39	68
3	SEQ 342-89	893	456	638	14.6	15.2	6.5	5	41	41	71
4	Sayaxché ML	873	370	568	15.2	16.4	5	3	41.5	41.5	71.5
5	ALS 0532-6	868	445	621	21.3	20.8	3	3	39.5	39.5	69.5
6	SER 125	852	595	712	27	25.9	5	3	35	35	67.5
7	DOR 390	847	488	642	15.9	17.1	6.5	3	40	40	70.5
8	SEF 71	739	542	633	20.6	24.5	3	3	36	36	69
9	BFS 29	738	595	662	20.3	21.7	5	3	34.5	34.5	66.5
10	SJC 730-79	734	588	657	20.2	21.5	5	3	37	37	68.5
11	BFS 81	731	550	634	21.6	25	5	3	34	34	68
12	SB 770	730	557	638	22.1	23.4	7	7.5	39.5	39.5	71
13	SB 781	702	356	499	14.9	17.7	8.5	5.5	39.5	39.5	70.5
14	PR 1483-105	682	434	544	14.8	18.2	4	5	40	40	68
15	BFS 87	673	479	568	26.5	27.1	6	3	34.5	34.5	68.5

Continúa

Cuadro 8 continuación. Rendimiento, media geométrica, peso seco de 100 semillas y reacción a mosaico dorado (1 –9) en 24 genotipos de frijol crecidos con (+F) y sin (-F) fertilización en un lote de bajo contenido de nitrógeno y fósforo en la época de postera, octubre a diciembre. La Vega 4, Zamorano, Honduras 2016.

No.	Genotipo	Rendimiento (kg/ha)		Media geométrica (kg/ha)	Peso seco 100 semillas (g/100)		Mosaico dorado (1 –9)		Días floración		Días madurez fisiológica	
		+F	-F		+F	-F	+F	-F	+F	-F	+F	-F
16	SEF 17	652	427	528	23.2	24.1	4	3	34	34	65	65
17	NCB 280	636	479	552	16.1	19	8	5.5	35	35	71	71
18	G 21212	620	503	558	17.5	17.7	8.5	7.5	39	39	71.5	71.5
19	DEORHO	616	450	527	18.1	18.6	5	3	39.5	39.5	66	66
20	SEF 16	532	563	547	19	20	6.5	3	34	34	65.5	65.5
21	XRAV 40-4	484	364	420	12.7	16.2	5	4	40.5	40.5	68	68
22	Tepary G 40001	400	113	212	10.6	8.2	7.5	7	34	34	60	60
23	Lenca Precoz	395	473	432	16.2	22.3	7.5	4	34	34	65	65
24	Jamapa	351	279	313	13.5	12.5	8.5	7.5	41	41	71.5	71.5
Promedio		709	461	565	18.3	19.6	5.8	4.2	37.6	37.6	68.4	68.4
CV (%)		35.6	27.8		11.5	12.8	25.3	33.1	1.6	1.6	1.9	1.9
DMS		179**	91**		1.5**	1.8**	1.5*	1.4**	0.58**	0.58**	1.3**	1.3**

CV = Coeficiente de variación; DMS = Diferencia mínima significativa
 * = Significativo ($P \leq 0.05$); ** = Altamente significativo ($P \leq 0.01$)

Se registraron diferencias significativas por efecto del tratamiento de fertilización en el número de coronas, raíces basales y adventicias, ángulo y diámetro. El efecto del genotipo en número de coronas, raíces basales, raíces adventicias, diámetro y ángulo es altamente significativo (Cuadro 9). Al analizar la interacción F × G se encontró una diferencia altamente significativa en el número de raíces basales (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza del número de coronas, raíces basales y adventicias, diámetro (mm) y ángulo (1 – 9) de raíces de 24 genotipos de frijol crecidos bajo tratamientos con y sin fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo en la época de postrera, octubre a diciembre. La Vega 4, Zamorano, Honduras, 2016.

Factor	N° Coronas	N° Raíces basales	N° Raíces adventicias	Diámetro (mm)	Ángulo (1 – 9)
Fertilización (F)					
Con fertilización	1.7	4.2	15.6	2.1	3.9
Sin fertilización	1.4	3.5	14.5	1.6	6.0
Valor P	0.00**	0.00**	0.33ns	0.05*	0.00**
Genotipo (G)					
Valor P	0.00**	0.02*	0.00**	0.00**	0.00**
Interacción F × G					
Valor P	0.08ns	0.00**	0.35ns	0.13ns	0.14ns

ns = No significativo; * = Significativo ($P \leq 0.05$); ** = Altamente significativo ($P \leq 0.01$)

Los genotipos G 21212, DOR 390 y SEF 17 en los tratamientos con y sin fertilización, tuvieron la mayor cantidad de coronas. El genotipo con mayor cantidad de raíces basales en los tratamientos con y sin fertilización fue el testigo mesoamericano de grano negro DOR 390 (3.9 raíces basales/ planta) (Cuadro 10). El conteo de raíces adventicias mostró que los genotipos XRAV 40-4, SB 770, ALS 0532-6 y SEF 17 en ambos tratamientos superan la media (15.1 raíces adventicias/ planta); las cantidades más bajas de raíces adventicias fueron de PR 1217-16 y SJC 730-79.

En el diámetro de la raíz primaria para los tratamientos con y sin fertilización, el genotipo PR 1217-16 fue superior a la media (Cuadro 10). De acuerdo a la escala de ángulos de las raíces (Figura 1), las raíces con ángulo ≥ 5 tienden a alcanzar mayores profundidades, y aquellas < 5 tienden a ser raíces más superficiales. Se puede notar que todos los genotipos en el tratamiento sin fertilización alcanzaron mayores profundidades debido a que el sistema radicular requiere aumentar su contacto con el suelo para llegar fuera de la zona de agotamiento de nutrientes. En el tratamiento con fertilizante se registraron raíces más superficiales (Miguel 2004). En general, la nodulación fue baja debido a que el ensayo no fue inoculado.

Cuadro 10. Peso seco de follaje, número de coronas, raíces basales, raíces adventicias, ángulo de raíces (escala 1-9), diámetro de la raíz principal y nodulación (escala 1-9) de 24 líneas de frijol crecidos con (+F) y sin (-F) fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo durante la época de posrera, octubre a diciembre. La Vega 4, Zamorano, Honduras 2016.

No	Genotipo	Peso follaje (g)		Número coronas		Número raíces basales		Número raíces adventicias		Ángulo (1-9)		Diámetro (mm)		Nodulación (1-9)	
		+F	-F	+F	F	+F	-F	+F	-F	+F	-F	+F	-F	+F	-F
1	PR 1217-16	112.9	36.5	1.8	1.5	4.1	3.6	15.2	19.5	3.4	5.6	2.5	1.6	1.7	
2	Amadeus 77	54.5	24.0	1.7	1.3	4.2	3.6	11.4	13.6	3.8	6.0	2.0	1.4	4.3	
3	SEQ 342-89	60.1	26.3	1.6	1.5	3.7	4.1	12.2	9.5	3.7	6.0	3.0	2.0	1.6	
4	Sayaxché ML	69.2	21.6	1.6	1.5	4.0	3.6	11.9	14.6	3.0	5.6	2.5	1.6	1.7	
5	ALS 0532-6	59.6	26.8	1.8	1.3	4.5	3.5	16.1	11.6	3.9	5.0	1.7	1.3	2.4	
6	SER 125	79.9	30.1	1.9	1.4	5.0	3.2	20.1	16.4	3.1	5.9	1.9	1.4	1.7	
7	DOR 390	112.0	22.1	1.8	1.0	5.0	2.3	14.1	15.2	4.1	6.3	2.6	1.6	2.9	
8	SEF 71	65.2	27.8	1.8	1.5	4.8	4.1	11.9	8.5	3.2	6.2	2.1	1.9	1.5	
9	BFS 29	75.0	28.7	1.6	1.4	4.1	4.4	21.2	12.1	3.8	5.9	2.1	1.2	3.0	
10	SJC 730-79	97.2	22.5	1.5	1.3	4.1	3.2	13.0	10.2	3.6	6.0	2.2	1.9	1.6	
11	BFS 81	62.4	32.4	1.9	1.7	4.0	4.6	14.3	15.0	4.1	5.8	1.9	1.3	2.1	
12	SB 770	75.9	34.9	1.7	1.7	4.4	4.1	17.9	15.5	3.1	5.9	2.3	1.8	1.9	
13	SB 781	57.1	20.6	1.2	1.5	3.0	3.9	16.3	15.1	3.3	4.2	2.2	1.5	1.8	

Continúa

Cuadro 10 continuación. Peso seco de follaje, número de coronas, raíces basales, raíces adventicias, ángulo de raíces (escala 1–9), diámetro de la raíz principal y nodulación (escala 1-9) de 24 líneas de frijol crecidos con (+F) y sin (-F) fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo durante la época de postera, octubre a diciembre. La Vega 4, Zamorano, Honduras 2016.

No.	Genotipo	Peso follaje (g)		Número coronas		Número raíces basales		Número raíces adventicias		Ángulo (1–9)		Diámetro (mm)		Nodulación (1–9)	
		+F	-F	+F	-F	+F	-F	+F	-F	+F	-F	+F	-F	+F	-F
14	PR 1483-105	67.6	31.0	1.8	1.7	4.7	3.7	13.7	15.5	3.8	5.9	2.1	1.5	2.1	2.8
15	BFS 87	68.2	25.2	1.8	1.6	4.0	4.1	16.5	15.8	3.1	6.7	2.0	1.5	2.0	3.1
16	SEF 17	59.8	20.8	2	1.2	4.7	3.1	14.1	10.1	3.9	5.7	1.8	1.4	1.8	2.0
17	NCB 280	44.9	27.4	1.8	1.6	4.3	2.8	22.3	16.2	4.7	6.1	2.0	1.8	2.0	1.7
18	G 21212	62.0	30.2	1.6	1.4	5.0	3.7	20.3	18.0	4.0	6.6	1.7	1.5	1.7	3.6
19	DEORHO	59.4	25.6	1.5	1.2	4.3	2.9	13.1	14.9	3.4	5.9	2.1	1.6	2.1	2.4
20	SEF 16	51.5	25.0	1.5	1.5	3.6	3.9	18.3	15.6	5.7	6.5	2.0	1.4	2.0	1.8
21	XRAV 40-4	53.6	23.1	1.5	1.1	3.6	3.0	15.1	15.9	4.2	6.6	2.1	1.6	2.1	3.6
22	Tepary G 40001	52.5	13.3	1.9	1.8	4.8	4.2	7.7	14.6	5.9	7.1	1.4	1.3	1.4	1.0
23	Lenca Precoz	58.8	26.1	1.6	1.2	3.9	3.1	24.0	21.8	4.5	6.7	2.0	1.5	2.0	3.6
24	Jamapa	36.7	18.6	1.7	1.3	3.7	3.1	14.6	14.1	3.4	6.5	2.5	1.55	2.5	2.6
Promedio		66.5	25.8	1.7	1.4	4.2	3.5	15.6	14.5	3.9	6.0	2.1	1.6	2.1	2.4
CV (%)		33.1	34.3	15.6	18.9	19.7	17.8	36.0	24.1	24.6	12.8	17.0	19.1	17.0	51.7
DMS		15.5**	6.3ns	0.18*	0.18*	0.58ns	0.44**	3.97*	2.47**	0.7**	0.54**	0.25**	0.21*	0.25**	0.85*

CV = Coeficiente de variación; DMS = Diferencia mínima significativa

ns = No significativo; * = Significativo ($P \leq 0.05$); ** = Altamente significativo ($P \leq 0.01$)

El análisis de correlación de Pearson entre rendimiento, variables de raíces y nodulación en el tratamiento sin fertilización solo indicó correlación positiva entre el número de raíces basales y el número de coronas, lo cual es debido a que las raíces basales nacen de las coronas (Cuadro 11). También se encontró una correlación entre el número de raíces adventicias y la nodulación, resultado que se asemeja al de Morales González (2010). El rendimiento no presentó ninguna correlación con las variables mencionadas.

Cuadro 11. Coeficientes de correlación entre el rendimiento (kg/ha) y las características de raíces de los genotipos de frijol crecidos sin fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo en la época de postrera, octubre a diciembre. La Vega 4, Zamorano, Honduras, 2016.

Variables	Ángulo (1 – 9)	N° Coronas	Diámetro (mm)	Rendimiento (kg/ha)	Nodulación (1 – 9)	N° Raíces adventicias
Rendimiento (kg/ha)	0.016	-0.051	0.309			
N° Coronas	-0.004					
Diámetro	0.063	-0.019				
Nodulación	0.134	-0.133	-0.158	-0.106		
N° Raíces adventicias	0.091	-0.121	-0.249	-0.218	0.541**	
N° Raíces basales	-0.074	0.667**	-0.076	-0.002	-0.140	-0.167

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

Las correlaciones de Pearson en el tratamiento con fertilización fueron positivas entre el número de raíces basales con el de coronas y el rendimiento con el diámetro de raíces (Cuadro 12).

Cuadro 12. Coeficientes de correlación entre el rendimiento (kg/ha) y las características de raíces de genotipos de frijol crecidos con fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo en la época de postrera, octubre a diciembre. La Vega, Zamorano, 2016.

Variables	Ángulo (1 – 9)	N° Coronas	Diámetro (mm)	Rendimiento (kg/ha)	N° Raíces adventicias
Rendimiento (kg/ha)	-0.085	-0.050	0.536**		
N° Coronas	-0.006				
Diámetro	-0.146	-0.185			
N° Raíces adventicias	-0.019	-0.020	-0.439*	-0.354	
N° Raíces basales	0.008	0.685**	-0.242	-0.077	0.053

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

Ensayo 2: Evaluación en casa malla.

El análisis de las raíces en ensayos de casa malla permite obtener datos más concretos porque no hay mayor pérdida cuando se extraen las raíces como ocurre en el campo. En este ensayo los tratamientos de fertilización mostraron diferencias significativas para las variables número de coronas, raíces basales y el ángulo de raíces. El factor genotipo presentó diferencias significativas para el número de coronas y raíces adventicias. La interacción $F \times G$ no presentó diferencias entre todas las variables analizadas (Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis de varianza del número de coronas, raíces basales y adventicias, y ángulo de raíces de 24 genotipos de frijol crecidos bajo tratamientos con y sin fertilización en casa malla. Zamorano, Honduras, 2016.

Factor	N° Coronas	N° Raíces basales	N° Raíces adventicias	Ángulo (1 – 9)
Fertilización (F)				
Con fertilización	1.5	4.2	8.6	3.4
Sin fertilización	1.7	4.9	9.6	6.6
Valor P	0.04*	0.04*	0.51ns	0.01**
Genotipo (G)				
Valor P	0.00**	0.07ns	0.00**	0.80ns
Interacción F × G				
Valor P	0.15ns	0.17ns	0.37ns	0.12ns

ns = No significativo; * = Significativo a $P \leq 0.05$; ** = Altamente significativo a $P \leq 0.01$

En los tratamientos con y sin fertilización los genotipos PR 1483-10 y BFS 87 tuvieron la mayor cantidad de coronas. El testigo Amadeus 77 con fertilización estuvo por encima del promedio de los genotipos, pero sin fertilización estuvo por debajo del promedio. El genotipo BFS 87 presentó la mayor cantidad de raíces basales en ambos tratamientos, con y sin fertilización (Cuadro 14). El genotipo Lenca Precoz presentó el mayor número de raíces adventicias para ambos tratamientos. No se observó diferencias en el ángulo de raíces (Cuadro 14).

Cuadro 14. Número de coronas, raíces basales, raíces adventicias y ángulo de raíces (escala 1 – 9) de 24 líneas de frijol crecidos con (+F) y sin (-F) fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo en casa malla. La Vega 4, Zamorano, Honduras 2016.

No.	Genotipo	Número coronas		Número raíces basales		Número raíces adventicias		Ángulo (1 – 9)	
		+F	-F	+F	-F	+F	-F	+F	-F
1	PR 1217-16	1.5	1.5	4.0	4.3	10.3	12.8	4.0	6.5
2	Amadeus 77	1.3	1.8	4.0	5.0	6.8	11.8	2.5	8.0
3	SEQ 342-89	2.0	1.3	4.8	3.8	9.8	10.0	3.0	7.5
4	Sayaxché ML	1.5	2.0	4.0	5.8	6.3	11.3	3.5	6.0
5	ALS 0532-6	1.5	2.0	4.2	4.8	5.0	7.8	2.5	7.0
6	SER 125	1.3	2.0	4.0	5.3	6.5	6.0	2.5	6.5
7	DOR 390 (TU)	1.0	1.5	2.5	4.3	8.3	11.8	3.5	7.5
8	SEF 71	1.5	2.0	4.0	5.3	5.3	7.3	2.8	6.5
9	BFS 29	1.3	1.8	3.3	4.5	9.8	12.5	3.0	8.0
10	SJC 730-79	1.3	1.5	3.8	5.0	11.3	10.3	1.5	6.5
11	BFS 81	2.0	1.8	4.8	5.0	10.5	7.8	3.0	6.0
12	SB 770	1.8	1.8	4.0	6.0	10.0	8.0	5.0	5.0
13	SB 781	1.5	1.3	4.3	4.5	9.3	10.0	2.5	7.0
14	PR 1483-105	2.3	2.3	5.3	5.3	6.0	9.0	3.0	6.0
15	BFS 87	2.0	2.0	5.5	5.3	8.3	8.8	2.5	6.5
16	SEF 17	1.8	1.8	4.8	5.0	7.8	8.8	6.0	7.0

Continúa

Cuadro 14 continuación. Número de coronas, raíces basales, raíces adventicias y ángulo de raíces (escala 1 – 9) de 24 líneas de frijol crecidos con (+F) y sin (-F) fertilización en un lote de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo en casa malla. La Vega 4, Zamorano, Honduras 2016.

No.	Genotipo	Número coronas		Número raíces basales		Número raíces adventicias		Ángulo (1 – 9)	
		+F	-F	+F	-F	+F	-F	+F	-F
17	NCB 280	1.5	2.0	3.8	6.3	7.8	7.8	4.0	5.5
18	G-21212	1.5	2.3	3.8	6.3	5.0	8.8	4.0	6.5
19	DEORHO	1.5	1.5	4.3	4.5	7.3	9.0	3.5	6.0
20	SEF 16	1.5	1.8	4.8	5.0	11.8	11.0	5.5	6.0
21	XRAV 40-4	1.0	1.8	3.5	5.0	7.8	10.5	4.0	6.5
22	Tepary G-40001	1.3	1.3	3.5	3.3	16.3	9.3	3.0	6.0
23	Lenca Precoz	1.3	1.3	3.8	4.3	11.5	13.8	2.5	7.0
24	Jamapa	2.0	1.5	5.8	4.5	8.0	7.3	3.5	6.5
Promedio		1.5	1.7	4.2	4.9	8.6	9.6	3.4	6.6
CV (%)		32.6	27.5	27.2	26.5	36.9	42.2	52.6	25.9
DMS		0.4*	0.3*	0.8ns	0.9ns	2.2**	2.9ns	1.3ns	1.2ns

CV = Coeficiente de variación; DMS = Diferencia mínima significativa

ns = No significativo; * = Significativo ($P \leq 0.05$); ** = Altamente significativo ($P \leq 0.01$)

Las muestras de raíces de la casa malla se analizaron con el programa WinRhizo[®]. Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos en la longitud, área superficial y volumen de raíz. En el factor genotipo se registró diferencias significativas con la longitud, área superficial y volumen de la raíz, similares a los encontrados por Morales González (2010). En la interacción F × G no se observaron diferencias para todas las variables analizadas (Cuadro 15).

Cuadro 15. Análisis de varianza de la longitud, área superficial, diámetro y volumen de raíces de 24 genotipos de frijol crecidos bajo tratamientos con y sin fertilización en casa malla. Zamorano, Honduras, 2016.

Factor	Longitud (m)	Área superficial (cm²)	Diámetro (mm)	Volumen de la raíz (cm³)
Fertilización (F)				
Con fertilización	108	1,113	0.33	9.25
Sin fertilización	50	503	0.31	3.54
Valor P	0.00**	0.00**	0.23ns	0.00**
Genotipo (G)				
Valor P (Trt)	0.00**	0.00**	0.43ns	0.00**
Interacción F × G				
Valor P	0.17ns	0.39ns	0.07ns	0.06ns

ns = No significativo; ** = Altamente significativo ($P \leq 0.01$)

Las raíces de los genotipos NCB 280 y DEORHO fueron los de mayor longitud en los tratamientos con y sin fertilización. Por otro lado, los genotipos con mayor área superficial en los dos tratamientos fueron NCB 280, DEORHO y BFS 81 (Cuadro 16). La línea SJC 730-79 fue la de mayor diámetro de raíces en ambos tratamientos. El mayor volumen de raíces en ambos tratamientos se presentó en la línea NCB 280.

Cuadro 16. Longitud, área superficial, diámetro promedio y volumen de las raíces de 24 genotipos de frijol crecidos con (+F) y sin (-F) fertilización en casa malla. Zamorano, Honduras 2016.

No. Genotipo	Longitud (m)		Área superficial (cm ²)		Diámetro promedio (mm)		Volumen de la raíz (cm ³)	
	+F	-F	+F	-F	+F	-F	+F	-F
1 PR 1217-16	112	51	1,299	471	0.37	0.28	12.2	3.5
2 Amadeus 77	118	40	1,202	374	0.33	0.30	9.8	2.8
3 SEQ 342-89	79	45	848	410	0.35	0.28	7.3	3.0
4 Sayaxché ML	81	42	828	424	0.32	0.35	6.8	3.7
5 ALS 0532-6	123	41	1,289	398	0.33	0.31	10.8	3.1
6 SER 125	113	42	1,113	373	0.32	0.28	8.7	2.7
7 DOR 390 (TU)	68	40	677	381	0.33	0.31	5.5	2.9
8 SEF 71	109	55	1,162	566	0.35	0.34	10.0	4.9
9 BFS 29	127	56	1,324	523	0.33	0.30	11.0	3.9
10 SJC 730-79	102	50	1,168	473	0.37	0.30	10.7	3.6
11 BFS 81	113	69	1,236	661	0.34	0.31	10.8	5.1
12 SB 770	95	58	981	511	0.32	0.28	8.1	3.6
13 SB 781	75	38	730	357	0.32	0.30	5.7	2.7
14 PR 1483-105	102	43	979	418	0.31	0.31	7.5	3.2
15 BFS 87	147	73	1,423	689	0.31	0.30	11.0	5.2
16 SEF 17	111	46	1,111	433	0.32	0.31	8.9	3.3
17 NCB 280	103	58	1,070	539	0.35	0.29	8.9	4.0

Continúa.

Cuadro 16 continuación. Longitud, área superficial, diámetro promedio y volumen de las raíces de 24 genotipos de frijol crecidos con (+F) y sin (-F) fertilización en casa malla. Zamorano, Honduras 2016.

No. Genotipo	Longitud (m)		Área superficial (cm ²)		Diámetro promedio (mm)		Volumen de la raíz (cm ³)	
	+F	-F	+F	-F	+F	-F	+F	-F
18 G-21212	136	50	1,372	598	0.32	0.35	11.2	4.0
19 DEORHO	88	59	920	899	0.34	0.39	7.7	4.0
20 SEF 16	82	36	844	358	0.32	0.32	6.9	2.8
22 Tepary G 40001	100	35	1,096	310	0.35	0.28	9.8	2.2
23 Lenca Precoz	145	46	1,379	422	0.31	0.30	10.5	3.1
24 Jamapa	154	76	1,591	1043	0.32	0.36	13.2	4.4
Promedio	108	50	1,113	502	0.33	0.31	9.2	3.5
CV (%)	28.2	29.9	27.8	55.4	7.9	16.8	29.1	29.6
DMS	22**	10.6**	218**	197ns	0.02*	0.04ns	1.9**	0.74**

CV = Coeficiente de variación; DMS = Diferencia mínima significativa

ns = No significativo; * = Significativo ($P \leq 0.05$); ** = Altamente significativo ($P \leq 0.01$)

Ensayo 3: Camas o bancales.

Las líneas que presentaron la mayor cantidad de raíces y mayor nodulación (9 en la escala visual) fueron BFS 29, SEF 16 y NCB 280. La línea no-noduladora R99, usada como control, como se esperaba, no presentó nódulos (1 en la escala visual). Existió una gran variación en la nodulación en los genotipos, similar a lo encontrado por Vargas Palacios (2008).

Algunas de las líneas con mayor rendimiento, SER 125 y BFS 81, presentaron alta nodulación (8 y 9 en la escala) en los bancales de bajo N. En cambio, otras como ALS 0532-6 presentaron solo nodulación intermedia (5 en la escala) y algunas como DEORHO baja nodulación (3 en la escala), en los bancales de bajo N. Esto sugiere otros mecanismos de adaptación a bajos contenidos de N en el suelo además de la nodulación (Cuadro 17).

De los genotipos de mayor rendimiento, solo DEORHO presentó un valor mayor a 5 en la escala de ángulo de raíces basales. El resto presenta raíces basales orientadas horizontalmente, lo que les permite explorar mejor la capa superficial (arable) del suelo donde hay mayor concentración de nutrimentos en suelos pobres y poco profundos, comunes en zonas productoras de frijol.

Cuadro 17. Peso del follaje, nodulación (escala 1 – 9), rendimiento, número de coronas, ángulo de raíces basales (escala 1 – 9), diámetro y raíces adventicias de los 24 genotipos de frijol evaluadas y el testigo no-nodulador R99 en bancales con sustrato de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo. Zamorano, Honduras 2017.

No.	Genotipo	Peso de follaje (g)	Nodulación (1 – 9)	Rendimiento (kg/ha)	Ángulo (1 – 9)	Número coronas	Número raíces basales	Diámetro (mm)	Número raíces adventicias
1	SEQ 342-89	12.2	8	500	6.2	1.6	4.4	2.5	13.0
2	PR 1217-16	19.6	2	1,187	3.8	1.4	4.8	1.8	14.0
3	SJC 730-79	21.2	3	1,080	4.2	1.4	4.4	1.9	19.6
4	BFS 29	27.2	9	1,293	6.6	1.6	4.6	2.3	19.0
5	SER 125	36.4	8	2,326	3.8	1.8	4.8	2.3	12.4
6	SEF 16	34.2	9	1,320	4.6	1.8	5.6	2.4	13.4
7	Tepary G40001	22.2	4	1,036	5.4	1.0	3.8	2.0	6.4
8	PR 1483-105	30.6	7	778	3.8	1.8	6.8	2.4	13.4
9	ALS 0532-6	22.0	5	1,647	4.2	1.6	4.6	2.0	14.8
10	SEF 71	31.0	4	1,458	5.0	2.0	4.8	3.0	7.6
11	SEF 17	19.8	6	1,010	4.6	2.0	4.6	1.9	16.4
12	G 21212	25.8	8	1,143	5.0	1.8	5.2	1.5	21.6
13	SB 781	33.2	7	820	4.6	1.6	4.0	2.4	15.0
14	SB 770	30.4	5	230	4.2	2.0	5.2	2.2	21.0
15	Sayaxché ML	15.6	3	530	4.2	1.6	4.4	1.8	13.4
16	NCB 280	32.8	9	460	4.2	1.4	4.4	2.8	16.2
17	Jamapa	31.0	7	480	5.4	1.8	5.2	2.2	12.8

Continúa

Cuadro 17 continuación. Peso del follaje, nodulación (escala 1 – 9), rendimiento, número de coronas, ángulo de raíces basales (escala 1 – 9), diámetro y raíces adventicias de los 24 genotipos de frijol evaluadas y el testigo no-nodulador R99 en bancales con sustrato de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo. Zamorano, Honduras 2017.

No.	Genotipo	Peso de follaje (g)	Nodulación (1 – 9)	Rendimiento (kg/ha)	Ángulo (1 – 9)	Número coronas	Número raíces basales	Número raíces adventicias	Diámetro (mm)
18	BFS 81	28.0	8	1,429	3.8	2.0	5.8	11.2	2.4
19	BFS 87	31.0	3	782	4.2	2.0	5.2	9.2	2.5
20	XRAV 40-4	18.2	4	1,167	5.4	1.4	4.0	11.8	2.8
21	Lenca Precoz	27.2	5	760	5.4	1.2	3.2	21.0	2.7
22	DEORHO	20.0	3	1,540	5.8	1.6	4.6	13.0	2.5
23	Amadeus 77	15.4	3	1,204	5.4	1.8	4.0	7.0	2.6
24	DOR 390	19.6	7	760	5.8	1.0	3.4	16.6	2.9
	Testigo R-99	9.6	1	260	7.2	1.1	2.8	17.5	2.6
	Promedio	25.0	6	1,008	4.9	2.0	5.0	14.0	2.0
	CV (%)				26	30	29	31	24
	DMS				0.8**	0.3**	0.8**	2.8**	2.4**

CV = Coeficiente de variación; DMS = Diferencia mínima significativa
 ns = No significativo; * = Significativo ($P \leq 0.05$); ** = Altamente significativo ($P \leq 0.01$)

En el ensayo de bancales el rendimiento estuvo correlacionado positivamente con el número de coronas ($r = 0.51^{**}$), raíces basales ($r = 0.53^{**}$), peso seco del follaje ($r = 0.42^*$) y nodulación ($r = 0.41^*$); y negativamente con el ángulo de las raíces ($r = -0.52^{**}$) y número de raíces adventicias ($r = -0.51^{**}$) (cuadro 18). Otras correlaciones positivas fueron entre nodulación con peso seco del follaje ($r = 0.80^{**}$) y con el número de raíces basales ($r = 0.64^{**}$). También presentó una correlación positiva el número de raíces basales con el número de coronas ($r = 0.87^{**}$), pero esta variable presentó correlaciones negativas con diámetro ($r = -0.43^*$) y ángulo de raíces ($r = -0.84^{**}$).

Cuadro 18. Coeficientes de correlación entre el rendimiento, peso seco de follaje y las características de raíces de genotipos de frijol crecidos en bancales con sustrato de bajo contenido de nitrógeno e inoculación de *Rhizobium*. Zamorano, Honduras, 2017.

Observaciones	Rendimiento (kg/ha)	Diámetro (cm)	Ángulo (1 – 9)	Nº Coronas	Nº Raíces basales	Nº Raíces adventicias	Peso seco follaje (g)
Diámetro	-0.14						
Ángulo (1 – 9)	-0.52 ^{**}	0.38					
Nº Coronas	0.51 ^{**}	-0.42 [*]	-0.75 ^{**}				
Nº Raíces basales	0.53 ^{**}	-0.43 [*]	-0.84 ^{**}	0.87 ^{**}			
Raíces adventicias	-0.51 ^{**}	-0.11	0.33	-0.45 [*]	-0.38		
Peso seco follaje	0.42 [*]	-0.15	-0.81 ^{**}	0.64 ^{**}	0.76 ^{**}	-0.17	
Nodulación	0.41 [*]	-0.18	-0.68 ^{**}	0.43 [*]	0.64 ^{**}	-0.01	0.80 ^{**}

* = Significativo a $P \leq 0.05$; ** = Altamente significativo a $P \leq 0.01$

Ensayo 4: Evaluación de raíces en laboratorio.

El ángulo de raíces, número de coronas, raíces basales y pubescencia mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en las líneas evaluadas (Cuadro 19). El ángulo de raíces presentó la mayor variación (3 – 8 en la escala), y los de menor ángulo que favorecen la extracción de nutrientes en suelos de baja fertilidad (Ho et al. 2005) fueron las líneas ALS 0532-6, SEF 17 y XRAV 40-4. Algunos genotipos con mayor número de coronas y raíces basales, importantes en la extracción de nutrientes en el suelo, fueron SEF 16, SB 770, NCB 280 y BFS 81.

Cuadro 19. Número de coronas, número y ángulo de raíces basales (escala 1 – 9) y pubescencia (escala 1 – 9) de plantas juveniles de los 24 genotipos de frijol evaluados en el Laboratorio de Biotecnología Aplicada. Zamorano, Honduras, 2017.

No.	Genotipo	Número coronas	Número raíces basales	Pubescencia (1 – 9)	Ángulo (1 – 9)
1	SEQ 342-89	2.6	8.7	3	5
2	PR 1217-16	2.0	6.0	2	4
3	SJC 730-79	2.0	6.3	3	4
4	BFS 29	2.0	6.0	2	7
5	SER 125	2.0	6.0	1	7
6	SEF 16	3.0	10.0	3	5
7	Tepary G 40001	2.0	4.5	1	4
8	PR 1483-105	2.0	6.5	4	6
9	ALS 0532-6	2.0	5.0	4	3
10	SEF 71	2.0	6.5	2	5
11	SEF 17	2.0	5.0	2	3
12	G 21212	3.0	6.5	5	6
13	SB 781	2.0	6.5	3	6
14	SB 770	3.0	8.0	2	7
15	Sayaxché ML	2.0	7.0	4	7
16	NCB 280	2.7	7.7	4	6
17	Jamapa	3.0	8.7	3	6
18	BFS 81	3.3	7.3	2	6
19	BFS 87	2.0	5.0	5	8
20	XRAV 40-4	2.0	6.5	1	3
21	Lenca Precoz	1.0	4.0	4	4
22	DEORHO	1.3	4.7	3	6
23	Amadeus 77	2.0	7.0	3	6
24	DOR 390	1.7	6.0	4	5
Promedio		2.2	6.5	3	5
CV (%)		22	23.5	45.3	25
DMS		0.4**	1.2**	1.0**	1.1**

CV = Coeficiente de variación; DMS = Diferencia mínima significativa

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

4. CONCLUSIONES

- La fertilización incrementó los rendimientos de frijol en condiciones del ensayo de campo. Las líneas BFS 81 y BFS 87 presentaron mejor rendimiento sin fertilización en la época de primera, junio a agosto, y SER 125 y SJC 730-79 en la época de postrera, octubre a diciembre. En la época de postrera los rendimientos fueron inferiores por condiciones adversas de clima y enfermedades (mosaico dorado y mancha angular).
- Los ensayos de campo, casa malla, bancales y en plantas juveniles evaluadas en el laboratorio permitieron identificar algunos caracteres e índices fisiológicos (nodulación, índice de cosecha, raíces basales, ángulo de raíces) relacionados a la adaptación de líneas de frijol a condiciones de suelos de bajos contenidos de N y P.

5. RECOMENDACIONES

- Continuar validando los genotipos más sobresalientes identificados en este estudio bajo condiciones de campo y otras facilidades para entender mejor los caracteres que facilitan la adaptación y rendimiento del frijol en condiciones limitantes del suelo.
- Ampliar las evaluaciones de fuentes adicionales de germoplasma de frijol para identificar genotipos promisorios para estadíos posteriores.
- Continuar el programa de mejoramiento para generar líneas mejoradas que combinen caracteres favorables como rendimiento, nodulación, raíces basales, y ángulo de raíces con potencial de rendimiento y resistencia a enfermedades para fines de una mayor adaptación a suelos pobres.

6. LITERATURA CITADA

- FAO (Food Agriculture Organization) 2002. Los fertilizantes y su uso en IFA [internet]. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>.
- FAO (Food Agriculture Organization) 2014. Agricultura familiar en América Latina y el Caribe. En Recomendaciones de Política (págs. 134-136). Santiago de Chile, Chile. doi: 978-92-5-308364-0.
- Graham PH, Rosas JC, Estevez C, Peralta E, Tlusty B, Acosta-Gallegos J, Arraes P. 2003. Addressing edaphic constraints to bean production: the Bean/Cowpea CRSP project in perspective. *Field Crops Research* 82. 12 p.
- Hardarson G. 1993. Methods for enhancing symbiotic nitrogen fixation. *Plant and Soil* 152:1-17.
- Henry A, Rosas JC, Beaverc J, Lynch J. 2010. Multiple stress response and belowground competition in multilines of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Research* 117. 10 p.
- Herridge DF, Rupela OP, Serraj R, Back DP. 1994. Screening techniques and improved biological nitrogen fixation in cool season food legumes. *Euphytica* 73: 95-108.
- Ho M, Rosas JC, Brown K, Lynch J. 2005. Root architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. *Functional Plant Biology*, 32, 737–748. CSIRO. 12 p.
- López-Lara IM. 2005. *Rhizobium* y su destacada simbiosis con las leguminosas. Centro de Investigación de Nitrógeno, Universidad Autónoma de México. 16 p.
- Lynch JP, Brown KM. 2001. Topsoil foraging: an architectural adaptation to low phosphorus availability. *Plant and Soil* 237:225-237.
- Miguel MA. 2004. Genotypic variation in root hairs and phosphorus efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). [Thesis]. Penn State University, University Park. 106 p.
- Morales González Y. 2010. Caracterización fenotípica de líneas endogámicas recombinantes de la variedad de frijol rojo Amadeus 77 en condiciones de baja fertilidad. [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 28 p.

- Phillips JM, Hayman DS. 1970. Método para clarificar y teñir muestras de raíces. University of Florida, Soil Science Department 48:692.
- Rosas JC. 1998. El cultivo de frijol común en América Tropical. Zamorano, Honduras. 62 p.
- Rosas JC, Bliss FA. 1986. Improvement of the nitrogen fixation potential of common beans in Latin America. *Ceiba* 27(2):245-260.
- Singh S, Voysest O. 1998. Taller de Mejoramiento del Frijol para el Siglo XXI. En S. Singh, & O. Voysest. (eds.). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 559 p.
- Vargas Palacios A. 2008. Selección de genotipos de frijol común tolerantes a bajo contenido de nitrógeno en el suelo. [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 25 p.
- Velasco EH. 1973. Influencia del Nitrógeno y Azufre en el rendimiento del frijol. Turrialba, Costa Rica.