

**Selección de líneas avanzadas de frijol común
con alto contenido de hierro y tolerancia a
sequía**

Erick David Gutiérrez Benites

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2014

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Selección de líneas avanzadas de frijol común con alto contenido de hierro y tolerancia a sequía

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

Presentado por

Erick David Gutiérrez Benites

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2014

Selección de líneas avanzadas de frijol común con alto contenido de hierro y tolerancia a sequía.

Erick David Gutiérrez Benites

Resumen. Las deficiencias nutricionales de hierro afectan a una gran proporción de la población mundial. El cultivo de frijol, por su distribución geográfica, alto consumo y alta variabilidad genética en cuanto al contenido de hierro, es adecuado para implementar la biofortificación. El objetivo del estudio fue seleccionar líneas superiores de frijol común con alto contenido de hierro, que posean una buena adaptación agronómica a condiciones de estrés por sequía y características comerciales deseables que permitan la aceptación del grano. El material experimental constó de 178 líneas seleccionadas por su alto contenido de hierro y tolerancia a sequía, provenientes del Centro Internacional para Agricultura Tropical (CIAT). El proceso de selección de las líneas constó de cuatro Ensayos sembrados en lotes de investigación del Programa de Investigaciones en Frijol (PIF) en Zamorano, Honduras. Se utilizaron distanciamientos entre surcos de 70 cm y entre plantas de 10 cm. Los ensayos fueron conducidos de octubre 2012 a abril 2014. El primer ensayo fue conducido bajo estrés hídrico (153 mm) para una selección estricta de las líneas tolerantes a sequía. La selección de las líneas en los siguientes ensayos se realizó con base en la superioridad de las líneas por su valor agronómico, precocidad, arquitectura, resistencia al virus de mosaico dorado amarillo del frijol, rendimiento de grano, valor comercial y contenido de hierro. Las líneas SEN 115, SMN 27 y SMN 39 de grano negro y las líneas BFS 24 y SEF 70 de grano rojo presentaron los mejores resultados en las variables medidas y superioridad a testigos comerciales incluidos en los ensayos.

Palabras clave: Adaptación agronómica, biofortificación, rendimiento de grano, valor comercial.

Abstract. Iron deficiency affects to a large proportion of world population. Common beans are adequate to implement biofortification due to its widespread geographical distribution, high consumption levels and high genetic variability regarding to iron content. The objective of this study was to select advanced breeds of common beans with good agronomic adaptation to drought stress conditions and desirable commercial characteristics to allow the acceptance of grain. The experimental material consisted of 178 advanced breed of common beans selected for its high iron content and drought tolerance from the International Center of Tropical Agriculture (CIAT). The selection process consisted of four Assays planted in the research plots of the Beans Research Program (PIF) in Zamorano, Honduras. Spacing of 70 cm between furrows and 10 cm between plants were used. Assays were conducted since October 2012 to April 2014. The first assay was conducted under drought stress (153 mm) to realize a strict selection of drought tolerant breeds. The selection process in the following assays was based in the superiority of breeds by its agronomic value, precocity, architecture, bean golden yellow mosaic virus resistance, grain yield, commercial value and iron content. The black grain breeds SEN 115, SMN 27, SMN 39, and the red grain breeds BFS 24 and SEF 70 presented the best results in the measured variables and were superiors to commercial breeds used as witnesses in the assays.

Key words: Agronomic adaptation, biofortification, commercial value, grain yield.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	v
Índice de cuadros y figuras.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
4. CONCLUSIONES.....	15
5. RECOMENDACIONES.....	16
6. LITERATURA CITADA.....	17

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Líneas avanzadas de frijol común seleccionadas por su alto contenido de hierro y tolerancia a sequía provenientes del CIAT usadas en los ensayos conducidos en Zamorano, Honduras.....	3
2. Resultados de los análisis de suelos del lote Zorrales 1 (Ensayo 3) y lote 21-ZonaII (Ensayos 1, 2 y 4) donde se llevaron a cabo los Ensayos. Zamorano, Honduras.....	7
3. Temperatura promedio y precipitación durante los ensayos. Estación Meteorológica del Campus Central, Unidad de Maquinaria y Riegos, Zamorano, Honduras.....	8
4. Líneas avanzadas de frijol común seleccionadas y promedio y rango de 178 líneas evaluadas por valor agronómico, valor comercial, precocidad y arquitectura, bajo condiciones de estrés hídrico. Ensayo 1, Zamorano, Honduras.....	10
5. Evaluación del valor agronómico, arquitectura, precocidad, valor comercial y rendimiento de grano de 15 líneas avanzadas de frijol común del CIAT. Ensayo 2, Zamorano, Honduras.....	12
6. Resultados de las evaluaciones del valor agronómico, valor comercial, arquitectura, incidencia del virus del mosaico dorado amarillo (VMDA) y rendimiento de grano de las líneas avanzadas de frijol común del CIAT. Ensayo 3, Zamorano, Honduras.....	13
7. Rendimiento de grano, valor agronómico, valor comercial y contenido de zinc y hierro de las líneas promisorias de frijol común del CIAT. Ensayo 4, Zamorano, Honduras.....	14
Figuras	Página
1. Secuencia de los ensayos de evaluación y selección de líneas avanzadas de frijol común con alto hierro, tolerancia a sequía y otras cualidades agronómicas y comerciales. Zamorano, Honduras.....	4
2. Escala para evaluar las variaciones del color rojo del grano de frijol común (Melgar 2004).....	5

1. INTRODUCCIÓN

El frijol es la leguminosa de grano con el consumo directo más importante en el mundo y desempeña un papel significativo en la seguridad alimentaria y nutricional en las poblaciones de escasos recursos económicos en América Latina, porque provee aminoácidos esenciales y cantidades importantes de hierro y zinc (Broughton *et al.* 2003; Beebe *et al.* 2000). Su cultivo es de amplia distribución geográfica ya que puede crecer en tierras bajas a nivel del mar y hasta los 3,000 msnm (Broughton *et al.* 2003). Según la FAO (2011), el consumo *per capita* de frijoles en Centroamérica fue de 9 kg/persona/año, variando según la zona geográfica y el país. Nicaragua mostró el mayor consumo *per capita* (20 kg/persona/año), seguido por El Salvador (15 kg/persona/año), Guatemala (12 kg/persona/año) y Costa Rica (11 kg/persona/año).

Más de dos tercios de la población mundial sufren la deficiencia de algún micronutriente esencial. Tres mil millones de personas están en riesgo de sufrir deficiencia de zinc y dos mil millones sufren de anemia que es ocasionada en la mayoría de los casos por la deficiencia de hierro (Stain y Qaim 2013). En Honduras, el 17.5% de los niños, 12% de los hombres y 14% de las mujeres, sufren de anemia y su costo económico para la nación es del 2% de su PIB (Horton y Ross 2002), debido a los tratamientos médicos y la pérdida de la capacidad productiva de los afectados. La población hondureña que corre un alto riesgo de padecer deficiencia de zinc debido a sus hábitos alimenticios es del 44.3% (Hotz y Brown 2004).

Para afrontar este problema los gobiernos utilizan estrategias de intervención nutricional que tienen por objetivo que la población satisfaga todas sus necesidades nutricionales, especialmente las de vitaminas y minerales. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), estas estrategias se pueden dividir en cuatro principales: las intervenciones conductuales que buscan cambiar los patrones de consumo de alimentos, la suplementación mediante el aporte de nutrientes externo a los alimentos, el enriquecimiento mediante la adición de nutrientes a los alimentos al momento de su procesamiento y la biofortificación que según la OMS (2014) es el proceso por el cual se incrementa la calidad nutricional de los alimentos provenientes de cultivos a través de mejoramiento genético convencional o biotecnología.

La biofortificación busca incrementar el contenido de nutrientes de los alimentos durante el desarrollo de las plantas y es una de las principales estrategias para hacer frente a las deficiencias nutricionales que enfrenta la población.

Debido a su amplio consumo, distribución geográfica y alto grado de penetración en los nichos de población más vulnerables a las deficiencias nutricionales, el frijol es excelente para implementar la biofortificación. Según Beebe *et al.* (2000), existe suficiente

variabilidad genética en el frijol como para incrementar el contenido de hierro en un 80% y de zinc en un 50%.

El objetivo del estudio fue seleccionar líneas avanzadas de frijol común con alto contenido de hierro con buena adaptación agronómica a condiciones de estrés de sequía y con características deseables que permitan la aceptación comercial del grano, para su posterior validación como variedades comerciales biofortificadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material experimental. En el estudio se utilizaron 178 líneas avanzadas de frijol común seleccionadas por su alto contenido de hierro y tolerancia a sequía, provenientes del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ubicado en Palmira, Colombia (Cuadro1).

Cuadro 1. Líneas avanzadas de frijol común seleccionadas por su alto contenido de hierro y tolerancia a sequía provenientes del CIAT usadas en los ensayos conducidos en Zamorano, Honduras.

SER 325	SMR 79	SMN 28	SMN 54	SEF 24	SEF 50	BFS 10
SER 326	SMR 80	SMN 29	SMN 55	SEF 25	SEF 51	BFS 14
SMB 33	SMR 81	SMN 30	SMN 56	SEF 26	SEF 52	BFS 18
SMR 56	SMR 82	SMN 31	SEF 1	SEF 27	SEF 53	BFS 20
SMR 57	SMR 83	SMN 32	SEF 2	SEF 28	SEF 54	BFS 23
SMR 58	SMR 84	SMN 33	SEF 3	SEF 29	SEF 55	BFS 24
SMR 59	SMR 85	SMN 34	SEF 4	SEF 30	SEF 56	BFS 27
SMR 60	SMR 86	SMN 35	SEF 5	SEF 31	SEF 57	BFS 29
SMR 61	SMR 87	SMN 36	SEF 6	SEF 32	SEF 58	BFS 30
SMR 62	SMR 88	SMN 37	SEF 7	SEF 33	SEF 59	BFS 32
SMR 63	SMR 89	SMN 38	SEF 8	SEF 34	SEF 60	BFS 33
SMR 64	SMR 90	SMN 39	SEF 9	SEF 35	SEF 61	BFS 34
SMR 65	SMR 91	SMN 40	SEF 10	SEF 36	SEF 62	BFS 35
SMR 66	SMR 92	SMN 41	SEF 11	SEF 37	SEF 63	BFS 39
SMR 67	SMR 93	SMN 42	SEF 12	SEF 38	SEF 64	BFS 47
SMR 68	SMR 94	SMN 43	SEF 13	SEF 39	SEF 65	BFS 55
SMR 69	SMR 95	SMN 44	SEF 14	SEF 40	SEF 66	BFS 59
SMR 70	SMR 96	SMN 45	SEF 15	SEF 41	SEF 67	BFS 60
SMR 71	SMR 97	SMN 46	SEF 16	SEF 42	SEF 68	BFS 62
SMR 72	SMR 98	SMN 47	SEF 17	SEF 43	SEF 69	BFS 67
SMR 73	SEN 115	SMN 48	SEF 18	SEF 44	SEF 70	BFS 75
SMR 74	SEN 116	SMN 49	SEF 19	SEF 45	SEF 71	SXB 412
SMR 75	SMN 24	SMN 50	SEF 20	SEF 46	SEF 72	
SMR 76	SMN 25	SMN 51	SEF 21	SEF 47	SEF 73	
SMR 77	SMN 26	SMN 52	SEF 22	SEF 48	SEF 74	
SMR 78	SMN 27	SMN 53	SEF 23	SEF 49	BFS 4	

Localización del estudio. Los ensayos fueron conducidos durante el período de Octubre 2012- Abril 2014, en los lotes 21, Zona II y Zorrales 1, asignados al Programa de Investigaciones en Frijol (PIF), en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano,

Honduras, a 800 msnm, donde la precipitación media anual es de 1100 mm, distribuidos de mayo a octubre, y la temperatura promedio es de 24°C.

Secuencia de ensayos para la selección de líneas superiores. El estudio se llevó a cabo en una secuencia de cuatro ensayos, en los que se utilizaron las líneas que fueron seleccionadas por sus características agronómicas, incluyendo resistencia a enfermedades y tolerancia a sequía, a partir de las 178 líneas avanzadas introducidas del CIAT. La Fig. 1 presenta la secuencia de estos ensayos.

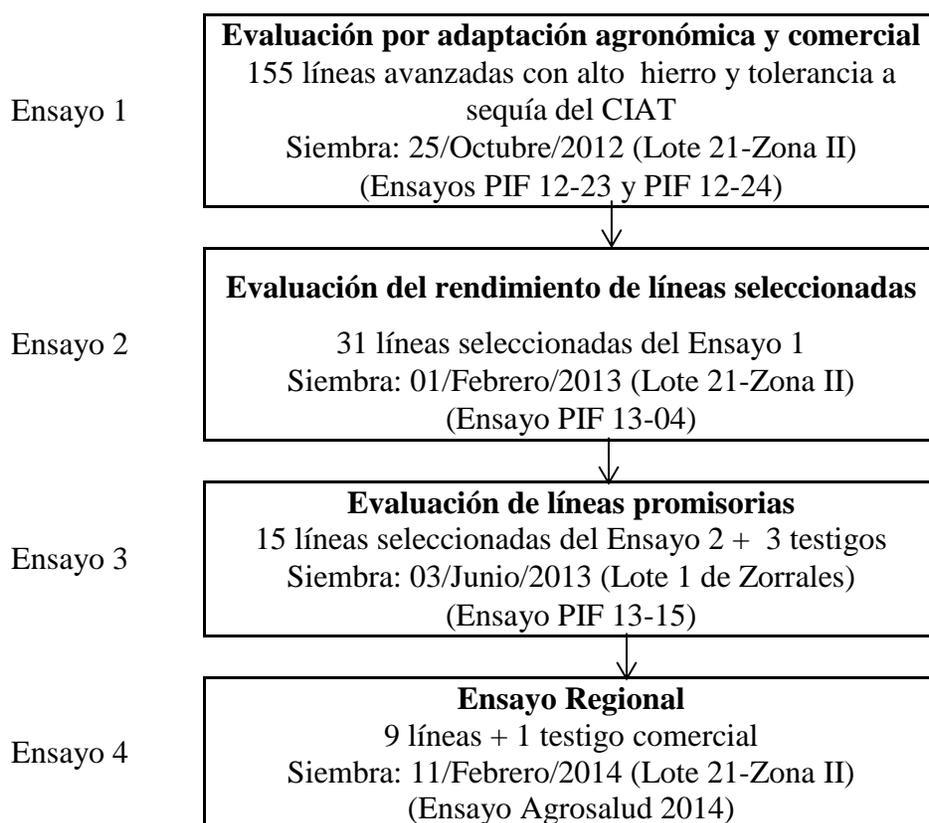


Figura 1. Secuencia de los ensayos de evaluación y selección de líneas avanzadas de frijol común con alto hierro, tolerancia a sequía y otras cualidades agronómicas y comerciales. Zamorano, Honduras.

Ensayo 1: Evaluación por adaptación agronómica y comercial. Las 178 líneas avanzadas provenientes del CIAT se sembraron en surcos de 2 m de longitud a 70 cm de distanciamiento entre surcos y 10 cm entre plantas, en un diseño de franjas compuestas por 20 líneas (surcos), sin repeticiones y usando como bordes las variedades Amadeus 77 (mejorada) y Seda (criolla). El ensayo fue sembrado 25 de octubre de 2012 en el lote 21 de Zona II. Las variables evaluadas fueron:

Valor agronómico: Se utilizó la escala de 1 a 9 (1= excelente; 3= muy buena; 5= buena 7= pobre; 9= muy pobre) (FPMA 2014). Se seleccionaron las líneas con valores menores o iguales a cinco (≤ 5). La evaluación se realizó cuando las plantas estaban en la etapa de pre-floración (R5), cuando aparecen los primeros botones florales (CIAT 1987).

Arquitectura: Se seleccionaron las líneas que presentaron plantas con arquitectura erecta a intermedia, correspondientes al hábito de crecimiento tipo II- indeterminado arbustivo (Rosas *et al.* 2009). Se realizó al momento de evaluar el valor agronómico.

Precocidad: Teniendo en cuenta los días a su madurez fisiológica, las plantas se clasificaron en precoces (<65 días a madurez fisiológica), intermedias (66-70 días a madurez fisiológica) y tardías (>70 días a madurez fisiológica). Solo las plantas precoces e intermedias fueron seleccionadas para continuar a la siguiente fase.

Valor comercial: Se utilizó la escala (1-9) para evaluar el color del grano de frijol rojo (Melgar 2004) (Fig. 2). Se seleccionaron las líneas que presentaron un valor comercial menor o igual a cuatro (≤ 4), considerando la demanda por los granos de color rojo claro de los consumidores. Las líneas de grano negro fueron evaluadas por su color, forma, tamaño y brillo del grano, según criterios de mercado.

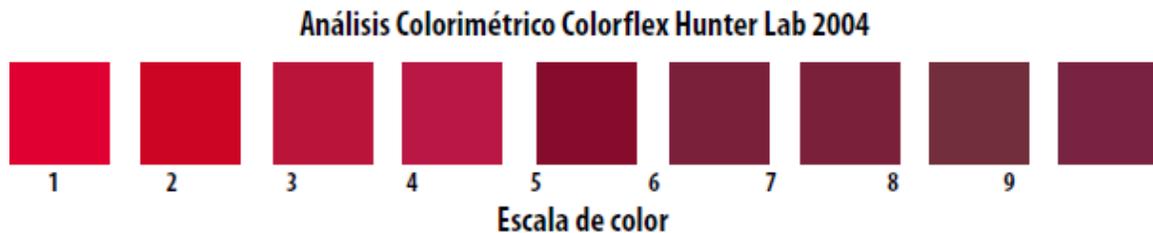


Figura 2. Escala para evaluar las variaciones del color rojo del grano de frijol común (Melgar 2004).

Ensayo 2: Evaluación del rendimiento de grano de líneas seleccionadas. Un total de 31 líneas seleccionadas según los criterios de selección en el Ensayo 1 fueron evaluadas en el Ensayo 2. Las líneas fueron sembradas en surcos de 3 m de longitud, a 70 cm de distanciamiento entre surcos y 10 cm de distanciamiento entre plantas, en un diseño de franjas sin repeticiones usando como bordes las variedades Amadeus 77 (mejorada) y Seda (criolla) cada 20 líneas (surcos). El ensayo fue sembrado en el lote 21 de Zona II el 1 de febrero de 2013. Los criterios de selección en este ensayo fueron los mismos utilizados para el Ensayo 1, pero también se evaluó el rendimiento de grano con base en una muestra de 10 plantas por unidad experimental y expresado en kg/ha al 14% de humedad, usando una densidad poblacional de 142,857 plantas/ha.

Ensayo 3: Evaluación de líneas promisorias. Se evaluaron 15 líneas seleccionadas del Ensayo 2, en un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA) incluyendo los testigos Amadeus 77, Seda y Chepe ML; se emplearon cuatro repeticiones. Se utilizaron

distanciamientos de 70 cm entre surcos y 10 cm entre plantas, la longitud de los surcos fue de 4 m. El ensayo fue sembrado en el Lote 1 de Zorrales el 3 de junio de 2013. Se evaluaron las mismas variables de los ensayos anteriores, incluyendo la reacción al virus de mosaico dorado amarillo (VMDA), registrándose la incidencia de plantas infectadas con VMDA en la etapa de llenado de vainas (etapa de desarrollo R8). Sólo las líneas sin o con baja incidencia ($\leq 15\%$) del VMDA avanzaron al último ensayo; una vez realizada esta evaluación del VMDA se eliminaron las plantas afectadas.

Ensayo 4: Selección de líneas para el ensayo regional Agrosalud 2014. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (BCA), incluyendo 8 líneas seleccionadas del Ensayo 3, el testigo Amadeus 77 y la línea biofortificada MIB397-72; se utilizaron cuatro repeticiones. Las plantas se sembraron a 10 cm de distancia en surcos de 5 m de largo distanciados a 70 cm. El ensayo fue sembrado en el lote 21 de Zona II el 11 de febrero 2014. Los criterios de selección en esta última fase fueron los mismos que en el Ensayo 3, pero se incluyeron además las siguientes evaluaciones:

Análisis del contenido de hierro y zinc: Se enviaron muestras de 100 g de grano trituradas en mortero de porcelana para los análisis en el CIAT, en Palmira, Colombia, donde se determinó el contenido de hierro y zinc en mg/kg por espectrofotometría.

Manejo agronómico de los ensayos. En todos los ensayos, la fertilización básica proporcionada a las plantas fue de 130 kg/ha de fórmula 18-46-0 aplicado al fondo del surco antes de la siembra y una fertilización complementaria de 65 kg/ha de Urea 46%N aplicada en bandas e incorporada mediante el aporque, a los 25 días después de siembra. En total se aplicaron el equivalente a 53 kg/ha de N y 60 kg/ha de P₂O₅. Los análisis de suelo se presentan en el Cuadro 2. Sin embargo, los niveles de fertilización de los ensayos corresponden a los recomendados para pequeños agricultores, y no necesariamente los recomendados según los análisis de suelos. Según esta consideración, se trató de tener en cuenta los criterios de selección dentro del contexto de la producción de frijol en la región meta asistida por el PIF.

Cuadro 2. Resultados de los análisis de suelos del lote Zorrales 1 (Ensayo 3) y lote 21-ZonaII (Ensayos 1, 2 y 4) donde se llevaron a cabo los Ensayos. Zamorano, Honduras.

Lote	pH	%		mg/Kg					Saturación de bases (%)			
		MO	N	P	Cu	Fe	Mn	Zn	K	Ca	Mg	Na
Zorrales 1	5.8	3.1	0.2	34	-	-	-	-	19	52	12	11
21-ZonaII	5.7	3.0	0.1	68	1	297	131	4.48	18	56	11	8
Rango adecuado ^z	5.5-7	2-4	0.2-0.5	13-30	1.7-3.4	56-112	28-112	1.7-3.4	3-5	50-75	15-20	<15

^zRango adecuado según las recomendaciones del Laboratorio de Análisis de Suelos y Aguas de Zamorano, Honduras.

Se realizaron controles químicos de malezas antes de la siembra con el herbicida Roundup Max ®, y a la floración con los herbicidas Fusilade Max ® para el control de gramíneas y Flex ® herbicida selectivo de contacto para el control de malezas de hoja ancha en frijol. También se realizaron controles manuales de malezas con azadón para el mantenimiento de las parcelas, según fue necesario. Se realizaron controles químicos de plagas para asegurar el adecuado desarrollo de las plantas hasta el momento de llenado de vainas (R8).

Las aplicaciones de riego durante la época de postrera del 2012 y las de verano del 2013 y 2014, se realizaron mediante un sistema de riego por aspersión, aplicando láminas de agua de 25 mm una vez por semana durante los primeros 60 días del ciclo, empezando con un riego inicial inmediatamente después de la siembra, para facilitar la germinación y emergencia de las semillas, para un total aprox. de 250-300 mm durante todo el ciclo (Cuadro 3). La excepción fue en el Ensayo 1, el cual fue sometido a estrés por sequía, recibiendo solamente la mitad de los requerimientos hídricos del cultivo con un total de 153 mm de precipitación y riego suplementario.

Condiciones climáticas. Los datos climáticos fueron proporcionados por la Unidad de Maquinaria y Riegos de Zamorano que posee una estación meteorológica automatizada en el Campus central de Zamorano.

Cuadro 3. Temperatura promedio y precipitación durante los ensayos. Estación Meteorológica del Campus Central, Unidad de Maquinaria y Riegos, Zamorano, Honduras.

Etapa	Periodo	Temperatura promedio (°C)	Precipitación (mm)	Riego (mm)
Ensayo 1	Oct-Dic 2012	21.0	53	100
Ensayo 2	Feb-Abr 2013	23.0	19	250
Ensayo 3	Jun-Ago 2013	23.4	262	0
Ensayo 4	Feb-Abr 2014	24.0	18	250

Análisis estadístico. Los análisis estadísticos de los Ensayos 3 y 4 conducidos con repeticiones, se realizaron utilizando el programa Statistix ® 8.1. Se utilizó un Modelo Lineal para el Análisis de Varianza de los ensayos en BCA con la prueba de separación de medias DMS y un grado de significancia mínimo del 5%.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo 1: Evaluación por adaptación agronómica y comercial. Treinta y un de las 178 líneas avanzadas con alto contenido de hierro y tolerantes a sequía, provenientes del CIAT, fueron seleccionadas según los criterios de valor agronómico (≤ 5), valor comercial (≤ 4), maduración precoz a intermedia, arquitectura erecta a intermedia, bajo condiciones de estrés de sequía (total de 153 mm de precipitación y riego suplementario) durante la época de postrera (Octubre-Diciembre) del 2012 (Cuadro 4). La alta tasa de eliminación de líneas avanzadas se debe a que las líneas fueron sometidas a estrés causado por sequía (153 mm, que representa aprox. el 50% de los requerimientos hídricos recomendados) lo que reduce la tasa de crecimiento de las plantas y disminuye sus rendimientos. Esto permitió más adelante manejar sólo líneas tolerantes a sequía.

El promedio de valor agronómico de todas las líneas fue 5 con un rango que va del 1 al 9 y una moda de 6, De las 178 líneas, 97 presentaron valores de valor agronómico menores o iguales a 5, 71 líneas presentaron valores de 6 y 7, y 10 líneas presentaron valores mayores o iguales a 8; la alta variabilidad del valor agronómico demuestra que se presentaron diferentes niveles de adaptación agronómica de las líneas a las condiciones de Zamorano.

La arquitectura predominante fue la erecta (97 líneas), seguido por la intermedia (80 líneas). Solo una línea presentó arquitectura postrada, la cual fue descartada porque este hábito de crecimiento es indeseable para la producción comercial.

La mayoría de las líneas tuvieron maduración precoz (21 líneas) e intermedia (129). Según este criterio, se descartaron 28 líneas con ciclo de desarrollo tardío. Las líneas tardías no se adaptan a las condiciones de producción de la región de Centro América y El Caribe y por ello son eliminadas en procesos de selección para estas regiones.

De las 178 líneas, 36 son de grano negro. Las líneas de grano rojo presentaron un valor comercial promedio de 5, con un rango que va de 2 a 9 y una moda de 3. De las 142 líneas de grano rojo, 75 presentaron valores menores o iguales a 4 mientras que 33 presentaron valores entre 5 y 7, y 29 presentaron valores mayores o iguales a 8.

Cuadro 4. Líneas avanzadas de frijol común seleccionadas, y promedio y rango de las 178 líneas evaluadas por valor agronómico, valor comercial, precocidad y arquitectura, bajo condiciones de estrés hídrico (153 mm). Ensayo 1, Zamorano, Honduras.

Línea	Valor agronómico	Arquitectura	Precocidad	Valor comercial
SER325	4	Erecta	Intermedia	3
SMR 56	3	Erecta	Intermedia	4
SMR 63	4	Erecta	Intermedia	3
SMR 64	4	Erecta	Intermedia	2
SMR 80	5	Erecta	Intermedia	2
SMR 81	4	Erecta	Intermedia	3
SMR 92	4	Erecta	Intermedia	3
SEN 115	2	Erecta	Intermedia	NO
SEN 116	3	Erecta	Intermedia	NO
SMN 25	3	Erecta	Intermedia	NO
SMN 26	5	Erecta	Intermedia	NO
SMN 27	2	Erecta	Intermedia	NO
SMN 28	2	Erecta	Intermedia	NO
SMN 29	4	Erecta	Intermedia	NO
SMN 37	5	Erecta	Intermedia	NO
SMN 39	5	Erecta	Intermedia	NO
SMN 43	4	Erecta	Intermedia	NO
SMN 44	4	Erecta	Intermedia	NO
SMN 48	4	Erecta	Intermedia	NO
SMN 49	3	Erecta	Intermedia	NO
SMN 50	3	Erecta	Intermedia	NO
SEF14	5	Intermedia	Intermedia	2
SEF 54	4	Erecta	Intermedia	3
SEF 64	4	Erecta	Intermedia	3
SEF 70	5	Erecta	Intermedia	3
BFS10	3	Erecta	Intermedia	NO
BFS18	4	Erecta	Intermedia	3
BFS 24	4	Erecta	Intermedia	2
BFS 39	2	Erecta	Intermedia	2
BFS 47	2	Erecta	Intermedia	2
BFS 55	4	Erecta	Intermedia	2
Promedio (n=178)	5	-	-	5
Rango (n= 178)	1-9	Erecta-postrada	Precoz-tardía	2-9

Valor agronómico: Escala 1-9 (1= excelente; 9= muy pobre); valor comercial: NO: Negro Opaco; Escala 1-9 para las líneas de grano rojo (Melgar 2004).

Ensayo 2: Evaluación del rendimiento de grano de líneas seleccionadas. En este ensayo se evaluaron las 31 líneas seleccionadas del Ensayo 1. Los criterios de selección de las líneas evaluadas en este ensayo incluyeron el valor agronómico (≤ 5), valor comercial (≤ 4), arquitectura erecta- intermedia y rendimiento superior (kg/ha). Quince líneas (BFS10, BFS 18, BFS24, BFS 39, BFS47, BFS 55, SEF 64, SEF70, SEN115, SEN 116, SMN 25, SMN26, SMN27, SMN39 y SMN 49) con combinaciones superiores de valor agronómico, valor comercial (grano negro y rojo), precocidad y rendimiento de grano, fueron seleccionadas en este ensayo (Cuadro 5).

El promedio del valor agronómico de las líneas evaluadas en el Ensayo 2 fue 5, el rango varió de 2 a 7 y la moda fue de 5. El rango fue más estrecho y la moda disminuyó en una unidad con respecto al ensayo anterior, debido a la selección realizada. Las líneas con valor agronómico menor o igual a 5 fueron 19, el resto (12 líneas) tuvieron valores de 6 y 7.

Las líneas mostraron un valor comercial promedio de 3, el rango varió de 1 a 8 y la moda fue de 2. Las líneas de grano negro seleccionadas fueron 7.

El rendimiento promedio fue de 793 kg/ha, con un mínimo de 391 kg/ha y un máximo de 1,396 kg/ha. Un tercio de las líneas presentaron rendimientos entre 800-1,000 kg/ha, 45% de las líneas presentaron rendimientos menores a 800 kg/ha y un 22% presentó rendimientos superiores a los 1,000 kg/ha.

Cuadro 5. Evaluación del valor agronómico, arquitectura, precocidad, valor comercial y rendimiento de grano de 15 líneas avanzadas de frijol común del CIAT. Ensayo 2, Zamorano, Honduras.

Línea	Valor agronómico	Arquitectura	Precocidad	Valor comercial	Rendimiento (kg/ha)
SEF 64	3	Erecta	Intermedia	3	1,396
BFS 24	4	Erecta	Intermedia	1	1,191
SMN 25	4	Erecta	Precoz	NO	1,084
BFS 47	3	Erecta	Intermedia	3	1,074
SEN 116	4	Erecta	Intermedia	NO	1,065
BFS 39	3	Erecta	Intermedia	1	1,050
BFS 10	3	Erecta	Intermedia	2	983
BFS 18	4	Erecta	Intermedia	4	899
SMN 27	3	Erecta	Intermedia	NO	846
SMN 49	5	Erecta	Precoz	NO	835
SEF 70	3	Erecta	Intermedia	3	825
SEN 115	4	Erecta	Intermedia	NO	817
BFS 55	5	Intermedia	Precoz	2	811
SMN 26	5	Erecta	Precoz	NO	784
SMN 39	5	Erecta	Intermedia	NO	653
Promedio (n= 31)	5	-	-	3	793
Rango (n= 31)	2-7	Erecta-intermedia	Precoz-intermedia	1-8	391-1,396

Valor agronómico: Escala 1-9 (1= excelente; 9= muy pobre); valor comercial: NO: Negro Opaco; Escala 1-9 para rojos (Melgar 2004).

Ensayo 3: Evaluación de líneas promisorias. Las 15 líneas seleccionadas del Ensayo 2 y tres testigos (Amadeus 77, Chepe y Seda) fueron evaluadas por su valor agronómico, arquitectura, precocidad, incidencia del VMDA, valor comercial y rendimiento de grano durante la época de primera del 2013. Sólo ocho líneas (BFS10, BFS18, BFS24, BFS39, BFS47, SEF70, SEN115, SEN116, SMN25, SMN26, SMN27, SMN39, SMN49) presentaron los niveles establecidos de los criterios de selección y fueron seleccionadas para el siguiente ensayo. La precocidad mostrada por las líneas fue intermedia, el valor agronómico y el valor comercial presentó variaciones con relación al ensayo anterior, debido a las condiciones de mayor humedad relativa y temperaturas en la época de primera con relación a las de verano y postrera. Normalmente, las plantas de frijol presentan un mayor desarrollo vegetativo y son más tardías en la época de primera que en otras épocas de siembra.

Cuadro 6. Resultados de las evaluaciones del valor agronómico, valor comercial, arquitectura, incidencia del virus del mosaico dorado amarillo (VMDA) y rendimiento de grano de las líneas avanzadas de frijol común del CIAT. Ensayo 3, Zamorano, Honduras.

Línea	Rendimiento grano(kg/ha)	Valor agronómico	Arquitectura	Incidencia VMDA (%)	Valor comercial
BFS47	3,347 a ^z	6.2 bc	Intermedia	11 cdef	2.2 c
BFS18	3,312 ab	7.2 b	Intermedia	15 abcd	3.7 a
BFS39	3,198 abc	5.0 cd	Postrada	6 efgh	2.5 c
BFS55	3,163 abc	6.2 bc	Intermedia	20 ab	2.7 bc
Chepe	3,038 abcd	2.5 f	Intermedia	13 bcde	2.5 c
BFS24	2,984 abcde	4.2 de	Erecta	8 defgh	2.5 c
BFS10	2,919 abcde	5.2 cd	Intermedia	11 cdefg	2.5 c
SEF70	2,890 abcde	6.0 bc	Intermedia	4 fgh	3.0 abc
SMN27	2,720 abcde	3.2 ef	Erecta	3 gh	NO
SEN115	2,636 bcdef	4.2 de	Erecta	6 efgh	NO
SEN116	2,568 cdef	6.2 bc	Intermedia	16 abc	NO
SMN26	2,406 def	4.2 de	Erecta	8 defgh	NO
Amadeus77	2,344 def	7.2 b	Erecta	2 h	3.5 ab
SMN49	2,341 def	5.2 cd	Intermedia	13 bcde	NO
SEF64	2,337 ef	5.7 bcd	Erecta	12 cde	3.5 ab
Seda	2,289 ef	9.0 a	Postrada	21 a	2.7 bc
SMN25	2,012 f	5.7 bcd	Erecta	10 cdefg	NO
SMN39	2,000 f	5.0 cd	Intermedia	13 bcde	NO

^zMedias con distinta letra difieren significativamente ($P \leq 0.05$).

Valor agronómico: Escala 1-9 (1= excelente; 9= muy pobre); valor comercial: NO: Negro Opaco; Escala 1-9 para rojos (Melgar 2004)

Ensayo 4: Selección de líneas promisorias para el ensayo regional Agrosalud. El presente ensayo incluyó las ocho líneas seleccionadas del Ensayo 3 más la línea MIB 397-72 (seleccionada en anteriores ensayos por su alto contenido de hierro) y el testigo Amadeus 77. Los criterios de selección incluyeron valor agronómico (≤ 5), rendimiento de grano, valor comercial (≤ 4) y contenido de hierro y zinc.

Todas las líneas mostraron arquitectura erecta y precocidad intermedia, y durante el ensayo no se presentó la incidencia de ninguna enfermedad. Algunas líneas mostraron rendimientos superiores a los de la variedad comercial Amadeus 77, siendo la línea BFS 10 la que presentó los mejores rendimientos (3,481 kg/ha) (Cuadro 7).

No hubo diferencias significativas en el valor agronómico de las líneas con respecto a los testigos, lo que sugiere que las selecciones por este criterio en los tres ensayos anteriores fueron efectivas. Las cuatro líneas de grano negro presentaron el valor comercial deseado para este color de grano. Las líneas rojas fueron superiores en su color de grano al testigo Amadeus 77, sugiriendo que serían bien aceptadas por su valor comercial.

Los testigos Amadeus 77 (40 ppm) y MIB 397-72 (41 ppm) fueron superiores a algunas de las líneas promisorias en contenido de zinc, por lo que se pudo indicar que estas líneas no superan significativamente a variedades comerciales como Amadeus 77.

En cuanto al contenido de hierro, la mayoría de las líneas promisorias superaron significativamente al testigo Amadeus 77 y fueron similares al testigo biofortificado MIB 397-72. Estas líneas que fueron sobresalientes en varios aspectos y con mayor contenido de hierro serán validadas en Centro América y El Caribe a través del ensayo regional Agrosalud. En ensayos conducidos por Beebe *et al* (2000) se encontró que las líneas provenientes del mejoramiento genético para incrementar el contenido de hierro, pueden superar a las variedades tradicionales en este aspecto y ser agronómicamente adaptadas y comercialmente aceptadas en la región.

Cuadro 7. Rendimiento de grano, valor agronómico, valor comercial y contenido de zinc y hierro de las líneas promisorias de frijol común del CIAT. Ensayo 4, Zamorano, Honduras.

Línea	Rendimiento (kg/ha)	Valor agronómico	Valor comercial	Contenido de Zinc (mg/kg)	Contenido de Hierro (mg/kg)
BFS 10	3,481 a ^z	3.2 a	3.0 b	33 e	55 de
BFS 47	2,977 ab	4.5 a	2.3 c	34 de	59 cd
SEF 70	2,685 bc	3.8 a	3.3 b	39 abc	64 bc
BFS 24	2,595 bc	4.5 a	2.3 c	35 de	62 c
SMN 26	2,564 bc	3.8 a	NO	35 de	56 de
SEN 115	2,561 bc	3.3 a	NO	36 cde	72 a
SMN 39	2,478 bc	4.3 a	NO	40 abc	70 a
SMN 27	2,466 bc	3.5 a	NO	37 bcd	70 a
MIB 397-72	2,183 cd	4.0 a	2.3 c	41 a	69 ab
Amadeus 77	1,870 c	3.7 a	4.0 a	40 ab	51 e

^zMedias con distinta letra difieren significativamente ($P \leq 0.05$).

Valor agronómico: Escala 1-9 (1= excelente; 9= muy pobre); valor comercial: NO: Negro Opaco; Escala 1-9 para rojos (Melgar 2004).

4. CONCLUSIONES

- La metodología de evaluación de líneas avanzadas a través de etapas de selección en diferentes épocas de siembra y condiciones de manejo de las parcelas experimentales, permite identificar líneas promisorias que combinan características agronómicas, comerciales y nutricionales deseables para la producción comercial y la seguridad alimentaria y nutricional de la región de Centro América.
- A través de una secuencia de cuatro ensayos de campo bajo condiciones y épocas de siembra diversas, se pudo seleccionar líneas promisorias de frijol común que poseen un mayor contenido de hierro y que son tolerantes al estrés hídrico causado por la sequía. Estas líneas promisorias además presentan la adaptación agronómica y valor comercial del grano deseables por los agricultores y consumidores de frijol en Centro América.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar el proceso de validación de las líneas promisorias más sobresalientes (SEN 115, SMN 39, BFS 24 y SEF 70) a través de la Red de Frijol de Centro América y El Caribe, compuesta por los programas nacionales de frijol, para su liberación potencial como variedades comerciales biofortificadas en la región.
- En Honduras validar estas líneas promisorias en colaboración con la Dirección de Ciencia y tecnología Agropecuaria (DICTA), y la participación de la Red de CIAles y organizaciones no-gubernamentales, empleando enfoques convencionales y participativos.
- Estudiar el impacto de la liberación de variedades comerciales biofortificadas en la incidencia de las deficiencias de hierro en la población hondureña.

6. LITERATURA CITADA

Beebe, S., Gonzalez, A. y J. Rengifo. 2000. Research on trace minerals in the common bean. *Food and Nutrition Bulletin* 21:387–391.

Broughton, W.J., Hernández, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P. y J. Vanderleyden. 2003. Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes. *Plant and Soil* 252:55-128.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Sistema Estándar para la Evaluación de Germoplasma de Frijol. Eds. Schoonhoven A. van y A. Pastor-Corrales. Cali, COL. S.e.56 p.

FAOSTAT. 2011. Food Balance: Food Supply - Crops Primary Equivalent (en línea). Roma, IT. Consultado 10 de septiembre de 2014. Disponible en <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/FB/CC/E>

Horton, S. y J. Ross. 2003. The economics of iron deficiency. *Food Policy* 28:51-75.
Hotz C. y K.H. Brown. 2004. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food and Nutrition Bulletin*. 25:94–204.

Melgar Flores, H.G. 2004. Desarrollo de una escala colorimétrica digital de triple estímulo para grano de frijol rojo centroamericano. Tesis Ing. Agr., Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 22 p.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2014. Biofortification of Staple Crops (en línea). Consultado 16 de septiembre de 2014). Disponible en <http://www.who.int/elena/titles/biofortification/en/>

OMS (Organización Mundial de la Salud). s.f. Intervenciones (en línea). Consultado 13 de septiembre de 2014. Disponible en <http://www.who.int/elena/intervention/es/>

Rosas, J.C., Guachambala, M. y R.A. Ramos. 2009. Guía Ilustrada para la Descripción de las Características de Variedades del Frijol Común. Zamorano, HND. S.e. 22 p.

Stein, A.J. y M. Qaim. 2007. The human and economic cost of hidden hunger. *Food and Nutrition Bulletin* 28(2):125-134