

Comportamiento agronómico de líneas de frijol bajo condiciones de estrés de sequía terminal y baja fertilidad

Carlos Eduardo Toruño Gutiérrez

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2019

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Comportamiento agronómico de líneas de frijol bajo condiciones de estrés de sequía terminal y baja fertilidad

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

Presentado por

Carlos Eduardo Toruño Gutiérrez

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2019

Comportamiento agronómico de líneas de frijol bajo condiciones de estrés de sequía terminal y baja fertilidad

Carlos Eduardo Toruño Gutiérrez

Resumen. El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de grano más importante para el consumo humano a nivel mundial, y una de las mayores fuentes de proteína. Las principales limitantes abióticos de la producción del frijol son la sequía y la baja fertilidad de los suelos. Los objetivos fueron identificar líneas avanzadas de frijol común con tolerancia a estrés de sequía terminal y baja fertilidad e identificar características relacionadas a la tolerancia a ambos estreses. Para evaluar en campo la tolerancia a sequía terminal se utilizaron 198 líneas SQF-F6. Para evaluar en campo la tolerancia a baja fertilidad se utilizaron 58 líneas SQF-F7, seleccionadas del ensayo de sequía terminal; para ambos ensayos se utilizaron como testigos la variedad mejorada Amadeus 77 y la variedad criolla Seda. Ambos ensayos se sembraron con un arreglo de parcelas divididas en un diseño de BCA. Las variables evaluadas para ambos ensayos fueron: rendimiento, valor agronómico (VA), media geométrica (MG), índice de cosecha (IC), días a floración (DF), días a madurez fisiológica (DMF), y severidad de virus de mosaico dorado amarillo del frijol (VMDAF). Para determinar los índices de adaptación a estrés hídrico se calculó el índice de intensidad de sequía (IIS) e índice de susceptibilidad de sequía (ISS). De las líneas evaluadas en ambos estreses; se identificaron un grupo de ocho líneas con alto potencial de adaptación a estrés de sequía y baja fertilidad. Las variables rendimiento, MG, ISS, IC y VA permitieron identificar líneas tolerantes a estrés de sequía terminal y baja fertilidad.

Palabras clave: Estreses abióticos, líneas avanzadas, *Phaseolus vulgaris* L.

Abstract. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the most important grain legume for human consumption worldwide, and one of the largest source of protein. The main abiotic limitations of bean production are drought and low soil fertility. The objective of this study was to identify advanced common bean lines under experimental conditions with terminal drought stress and low soil fertility, and to identify traits related to tolerance for both stresses. Field evaluation of terminal drought stress included one hundred ninety-eight lines SQF-F6. Field evaluation of low soil fertility included fifty-eight lines SQF-F7, selected from the previous experiment of drought stress; both experiments used the improved Amadeus 77 and the native Seda as check varieties. Both experiments used a RCB experimental design in a split plot arrangement. The variables evaluated for both experiments were: yield, agronomic value (AV), geometric mean (GM), harvest index (HI), days to flowering (DF), days to maturity (DM), and severity of bean golden yellow mosaic virus (BGYMV). To determine the adaptation to drought stress indexes, it was calculated the drought intensity index (DII) and drought susceptible index (DSI). From the evaluated lines under both stresses, a group of eight has high potential to adapt for both stresses of terminal drought and low fertility. The parameters yield, GM, DSI, HI y AV helped identify lines with drought stress and low soil fertility tolerance.

Key words: Abiotic stresses, advanced lines, *Phaseolus vulgaris* L.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
4. CONCLUSIONES.....	16
5. RECOMENDACIONES.....	17
6. LITERATURA CITADA	18

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Etapas de cruzamiento y selección en las generaciones F1 a F7 de familias SQF	3
2. Identificación y pedigrí de 198 familias SQF-F6	4
3. Resultados del análisis químico del suelo de las parcelas con (F+) y sin (F-)	6
4. Variables medidas en condiciones de estrés de sequía terminal en líneas SQF-F6	9
5. Variables medidas en condiciones de baja fertilidad en líneas SQF-7	13
Figuras	Página
1. Rendimiento (kg/ha) de 198 líneas con y sin estrés de sequía	8
2. Rendimiento (kg/ha) de 58 líneas con y sin fertilización	12
3. Rendimiento (kg/ha) de 58 líneas con estrés de sequía terminal y sin fertilización	15

1. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de grano más importante para el consumo humano a nivel mundial, y una de las mayores fuentes de proteína (Chaves-Barrantes *et al.* 2018). El frijol es cultivado en su mayoría por agricultores de pequeña escala. En Honduras, más del 70% del frijol se produce en fincas menores de tres hectáreas en laderas y suelos marginales con uso limitado de insumos (Rosas *et al.* 2000; Chaves-Barrantes *et al.* 2018). El rendimiento promedio de frijol en Centroamérica es de 778 kg.ha⁻¹ (FAOSTAT 2017); sin embargo, a través de la utilización de variedades mejoradas se han obtenido rendimientos mayores a 2000 kg.ha⁻¹ y pequeños agricultores pueden experimentar cambios de más del 50% (Rosas *et al.* 2000).

Las principales limitantes abióticos de la producción del frijol son la sequía y la baja fertilidad de los suelos. El estrés de sequía terminal o intermitente afecta más del 60% de la producción de frijol en todo el mundo (Beebe *et al.* 2013). Los efectos de la sequía en el cultivo dependen de la intensidad, tipo y duración del estrés (Beebe *et al.* 2008), así como de la etapa de desarrollo que se vea afectada (Singh 1995; Muñoz-Perea *et al.* 2006).

Para una alta emergencia y un buen establecimiento del cultivo, se requiere de una adecuada humedad del suelo; durante las etapas tempranas de crecimiento vegetativo el requerimiento hídrico es relativamente bajo, luego se incrementa y se vuelve crítico en prefloración y las etapas reproductivas (Muñoz-Perea *et al.* 2007). Por esta razón, la sequía terminal, que es la más frecuente en las áreas de producción de frijol a nivel mundial, suele tener un efecto negativo más severo sobre el rendimiento (Porch *et al.* 2009).

En Centroamérica, más del 60% de frijol se siembra en la época de postrera (a finales de septiembre/inicios de octubre) en sistemas de relevo después de que el maíz alcanza la madurez fisiológica o es retirado del campo (Rosas *et al.* 2000). Las probabilidades de que el cultivo de frijol este sometido a condiciones limitantes de agua son mayores en postrera, debido a que las lluvias van disminuyendo. La severidad del daño ocasionado por falta de agua tiene efectos en el desarrollo aún antes a la antesis (Rosas *et al.* 1991).

Los agricultores han adoptado ciertos mecanismos de tolerancia al estrés hídrico, como la utilización de variedades precoces. Si bien es una alternativa que funciona como un mecanismo de escape, la preferencia de utilización de estas variedades precoces limita la adopción de variedades mejoradas con mayores rendimientos, pero más tardías que las tradicionales (Rosas *et al.* 1991); sin embargo, en la última década se han desarrollado variedades mejoradas más precoces y su adopción se ha incrementado significativamente.

La baja fertilidad de suelos presente en la mayoría de las zonas productoras de frijol en Centroamérica es uno de los mayores limitantes de la producción de este cultivo. La aplicación de fertilizantes al cultivo debe cumplir un rol importante ante esta limitante, sin embargo, son muy pocos los agricultores que disponen de suficiente capital para invertir en una fertilización adecuada del cultivo, enclavado o manejo de suelos. Por tanto, la tolerancia a suelos con baja fertilidad una característica muy importante para el cultivo (Beebe *et al.* 2014). La producción bajo condiciones de baja fertilidad a menudo ocurre en combinación con sequía, pero combinar la tolerancia para estas dos restricciones representa un mayor reto. Un sistema radicular poco profundo y abundante es más efectivo en absorción de nutrientes en los primeros 20 cm de la capa de suelo, donde los nutrientes están concentrados; mientras que las raíces profundas favorecen el acceso a humedad y resistencia a sequía (Beebe *et al.* 2008).

Un programa de mejoramiento genético para cualquier característica debe determinar la variabilidad genética existente y los mecanismos para la transmisión de los genes. Los niveles más altos reportados para resistencia a sequía se encuentran en el frijol tépari (*P. acutifolius*) (Szilagyí 2003). Para la búsqueda de fuentes de resistencia a sequía en frijol, debe considerarse el origen evolutivo del cultivo, el proceso de domesticación y recurrir a los genes y caracteres pertenecientes a diferentes grupos genéticos. Muchos cultivares exitosos con tolerancia a sequía han sido liberados, pero se continúan buscando fuentes de resistencia fuera de la raza Durango, bajo la hipótesis de que podrían existir diferentes mecanismos para hacer frente al estrés por sequía en otros reservorios genéticos.

Se han reportado mejoras en las clases comerciales de raza Mesoamericana, la cual además de mejorar el rendimiento en condiciones de sequía, presentan menor número de días hasta a madurez, una mejora en el rendimiento por día y, en algunos casos, un mejor potencial de rendimiento en condiciones favorables. Gran parte del trabajo realizado en tolerancia a sequía ha sido desarrollado alrededor de la raza Durango o la extracción de sus genes. La combinación de las razas Durango y Mesoamérica ha resultado en líneas con mayor rendimiento en ambientes de sequía, así como en ambientes sin estrés (Beebe *et al.* 2013).

El mejoramiento genético de este cultivo para la tolerancia a sequía ha conducido a un mejor entendimiento de la genética de la tolerancia a ambos estreses, el cual presenta efectos aditivos y cuantitativos; el mismo posee una interacción significativa con el ambiente en términos de rendimiento, que se considere el indicador más confiable para su evaluación. (Beebe *et al.* 2013).

El objetivo del presente estudio fue:

Identificar líneas avanzadas de frijol común derivadas de cruces entre padres tolerantes a estreses abióticos con padres élites resistentes a enfermedades y de buena calidad comercial del grano, bajo condiciones experimentales con presencia de estrés de sequía y suelos de baja fertilidad. Las líneas seleccionadas de la presente investigación pasarán a la etapa de validación en finca, bajo condiciones predominantes en las zonas productoras de frijol, para su eventual liberación como variedades comerciales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El estudio se realizó en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, localizada en el departamento de Francisco Morazán, 30 km al este de Tegucigalpa, Honduras. Las evaluaciones de tolerancia a sequía se llevaron a cabo en el Lote 20 de Zona II y el de baja fertilidad en la Vega 4 de Monte Redondo, ambos ubicados en Zamorano.

Material experimental. Se utilizaron 198 líneas de Sequía y Baja fertilidad (SQF) durante la época de enero a abril de 2019 para evaluar la tolerancia al estrés de sequía terminal. Luego para evaluar la tolerancia a estrés por baja fertilidad, de las 198 líneas evaluadas se seleccionaron las mejores 58 líneas tomando en consideración la variable rendimiento y resistencia al Virus Mosaico Dorado Amarillo del Frijol (VMDAF) y se sembraron en la época de junio a agosto de 2019, en ambos experimentos se utilizó Amadeus 77 (Variedad mejorada) y Seda (Variedad criolla) como testigos.

Las líneas SQF (F6-F7) provienen de un proceso de selección con diferentes criterios de evaluación (Cuadro 1). El presente estudio se llevó a cabo mediante la evaluación de líneas SQF-F6 (ensayo PIF 19-01) bajo estrés de sequía y SQF-F7 (ensayo PIF 19-10) en condiciones de baja fertilidad, derivadas de los cruzamientos entre padres tolerantes a sequía por baja fertilidad (Cuadro 2).

Cuadro 1. Etapas de cruzamiento y selección en las generaciones F1 a F7 de familias SQF de frijol derivadas de cruza entre padres tolerantes a sequía × baja fertilidad. Zamorano, Honduras.

Generación	Ensayo	Descripción
Cruza	Sequía × baja fertilidad	50 semillas
F1	Avance en bancales	100 semillas (sin selección)
F2	PIF 17-07 (25% masal)	Selección masal (VA, VC)
F3	PIF 17-13 (20% masal)	Selección masal (VA, VMDAF, VC)
F4	PIF 18-05	Selección de plantas individuales (con y sin estrés de sequía, VA, DF, DMF, RD)
F5	PIF 18-13	Líneas F6 (con y sin baja fertilidad, VA, DF, DMF, RD)
F6	PIF 19-01	198 líneas F7 (con y sin estrés de sequía, VMDAF, RD, VC)
F7	PIF 19-10	58 líneas F8 (con y sin estrés de baja fertilidad, VMDAF, RD, VC)

Criterios de selección: VA= Valor agronómico; VMDAF= virus mosaico dorado amarillo del frijol; RD= rendimiento; VC= valor comercial.

Cuadro 2. Identificación y pedigrí de 198 familias SQF-F6 de frijol.

No.	Identificación	Pedigrí
1-21	SQF 1551	SER 125/RS 814-26
22-25	SQF 1552	SCR 2/CENTA Pipil
26-34	SQF 1553	BFS 101/MPN 103-137
35-41	SQF 1554	SJC 730-79/SEF 14
42-44	SQF 1555	MER 2212-28/SER 125
45-49	SQF 1556	PR 1147-8/SEN 46
50-60	SQF 1557	SEN 56/SJC 729-89
61-74	SQF 1558	SEN 46/RBF 19-63
75-84	SQF 1559	MHN322-49/SIN 526
85-92	SQF 1560	MEN2201-64ML/SEN 56
93-96	SQF 1564	MER 2212-28/F1 EAP 1373
97-101	SQF 1565	CENTA Pipil/ F1 TCR 1525
102-112	SQF 1611	SQF 1553 (F1- BFS 101/MPN 103-137)// SQF 1555 (F1- MER 2212-28/SER 125)
113-123	SQF 1612	SQF 1555 (F1- MER 2212-28/SER 125)// SQF 1556 (F1- PR 1147-8/SEN 46)
124-136	SQF 1613	AMM 1361 (F1-Milenio/G21212)// SQF 1555 (F1-MER 2212-28/SER 125)
137-160	SQF 1614	SEN 46// MHC3-2 (F1- MHR 311-1/MEN 322-49)
161-166	SQF 1615	PT7-2/SER 125
167-188	SQF 1616	MHN 322-49/MEN 2201-64ML
189-198	SQF 1617	MSN 1410 (F1- MEN 2201-64ML/CENTA Pipil)// MHC3-18 (F1-MEN 322-49/ALS 0532-6)

Ensayo 1: Evaluación de la tolerancia al estrés de sequía terminal. La evaluación de 198 familias SQF-F6 y dos testigos (Amadeus 77 y Seda) se llevó a cabo en el Lote 20, Zona II de Zamorano durante la época de verano (febrero-abril) de 2019 (ensayo PIF 19-01). Las líneas SQF-F6 y los testigos fueron sembradas en parcelas con y sin estrés de sequía. Se utilizó un arreglo de parcelas divididas en un diseño de bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones. Los tratamientos con y sin estrés de sequía estuvieron distribuidos en las parcelas y las líneas SQF-F6 en las sub-parcelas. La unidad experimental fueron surcos individuales de 3 m de largo, con distancias de 0.6 m entre surcos y 0.1 m entre plantas. El lote experimental fue fertilizado con 130 kg ha⁻¹ de 18-46-0 a la siembra, más 65 kg ha⁻¹ de Urea a los 25 días después de siembra (DDS), al momento del aporque, para proveer condiciones favorables al ensayo.

En la parcela con estrés de sequía se suspendieron los riegos a los 40 DDS (etapa de floración-R6), y en la parcela sin estrés se continuó el riego hasta los 65 DDS (etapa de llenado de vainas-R8). La parcela con estrés tuvo un riego acumulado de 160 mm y la de sin estrés de 262 mm.

VARIABLES MEDIDAS. En el ensayo de sequía terminal (SQF 19-01) se registraron datos de días a floración (etapa de desarrollo R6), cuando el 50% de las plantas tiene una o más flores abiertas, y días a madurez fisiológica (etapa R9) cuando el 50% de las plantas hayan alcanzado su madurez fisiológica (CIAT 1987). El valor agronómico es un índice de selección que incluye arquitectura, días a madurez, sanidad y carga reproductiva en la etapa de madurez fisiológica (R9) usando una escala del 1 a 9 (1 =excelente; 3 =muy buena; 5 = buena; 7 =pobre; 9 =muy pobre). La severidad de virus del mosaico dorado amarillo del frijol (VMDAF) se evaluó en la etapa del llenado de vainas (R8), usando la escala 1-9 (1 =sin síntomas; 9 =muerte) del CIAT (1987).

A la madurez de cosecha se evaluó el rendimiento de grano mediante muestras de 10 plantas/parcela. Para la determinación del peso seco de vainas (PSV), peso seco de semillas (PSS) y el cálculo del índice de cosecha [IC= (PSS/PSV + PSS)], se muestrearon dos vainas /planta para un total de 20 vainas/muestra. El rendimiento por parcela se estimó con base en las 10 plantas cosechadas. El rendimiento en kg/ha se estimó con base en una población de 166,666 plantas.ha⁻¹.

Para calcular el índice de intensidad de sequía (IIS) se utilizó el promedio de rendimiento de todos los genotipos bajo estrés de sequía terminal (Xs) y el promedio de rendimiento sin estrés (Xr), usando la fórmula 1.

$$IIS = 1 - (Xs/Xr) \quad [1]$$

Para calcular el índice de susceptibilidad a sequía (ISS) y la media geométrica (MG), se utilizó el rendimiento de cada genotipo bajo sequía terminal (Ys) y sin estrés (Yr), mediante las fórmulas 2 y 3 (Chaves-Barrantes *et al.* 2018):

$$ISS = [1 - (Ys/Yr)]/IIS \quad [2]$$

$$MG = (Ys \times Yr)^{1/2} \quad [3]$$

Ensayo II: Evaluación de la tolerancia a baja fertilidad de los suelos. El ensayo de baja fertilidad se llevó a cabo en el lote de La Vega 4, Monte Redondo de Zamorano. Se sembraron 58 líneas SQF-F7 seleccionadas por su tolerancia a sequía terminal en el ensayo previo (PIF 19-01) y los dos testigos, Amadeus 77 y Seda. Se utilizó un arreglo de parcelas divididas de un diseño de BCA con cuatro repeticiones. Los tratamientos con y sin fertilización fueron distribuidos en las parcelas y las líneas en las sub-parcelas. La unidad experimental consistió de surcos individuales de 5 m de largo con un distanciamiento de 0.6 m entre surcos y 0.1 m entre plantas. La siembra se realizó el 03 de junio de 2019, y el experimento se condujo durante la época de primera (junio-agosto de 2019).

El ensayo se condujo en un suelo con bajo contenido de materia orgánica, N Total y P, según los análisis realizados en el Laboratorio de Suelos de Zamorano (Cuadro 3). En las parcelas con fertilización se aplicaron 130 kg.ha⁻¹ de 18-46-0 a la siembra y 65 kg.ha⁻¹ de Urea a los 25 DDS, previo a la etapa de prefloración. Además, se realizó una aplicación foliar de 20-20-20 a los 40 DDS a una dosis de 1200 g.ha⁻¹. Las parcelas sin fertilización representaron condiciones de baja fertilidad.

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

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

Métodos: K, Ca, Mg, Na (solución extractora Mehlich 3 por espectrofotometría de absorción atómica); P (solución extractora Mehlich 3 por colorimetría); carbono orgánico (Walkley & Black para suelos minerales no salinos con incertidumbre de ± 0.04 (C.O.= 58% de M.O); N total (5% de M.O); pH: 1:1 en agua (AOAC 994.16 rango de 4.00-7.00 con incertidumbre de ± 0.10)

Variables medidas. En el ensayo de baja fertilidad (SQF 19-10) se registraron datos de días a floración (etapa de desarrollo R6), cuando el 50% de las plantas tiene una o más flores, y días a madurez fisiológica (etapa R9) cuando el 50% de las plantas alcanzan su madurez fisiológica (CIAT 1987). Se evaluó el valor agronómico y la severidad de VMDAF se evaluó en la etapa del llenado de vainas (R8), usando la escala 1-9 (1 =sin síntomas; 9 = muerte) del CIAT (1987).

El rendimiento se estimó cosechando muestras de 20 plantas/parcela. Para la determinación PSV, PSS y el cálculo del IC ($IC = PSS/PSS + PSV$) se muestrearon dos vainas/planta para un total de 20 vainas/muestra. El peso de semilla por parcela se estimó con base en las 20 plantas cosechadas. El rendimiento en kg/ha se estimó con base en una población de 166,666 plantas.ha⁻¹.

Se estimaron la MG utilizando el rendimiento de cada genotipo sin fertilización (Rs) y con fertilización (Rc) mediante la fórmula $MG = (Rs \times Rc)^{1/2}$ (Chaves-Barrantes *et al.* 2018).

Manejo agronómico. El control de insectos y de enfermedades se realizó de manera preventiva según las recomendaciones. Las malezas se controlaron con herbicidas antes de la siembra y a la pre-floración, y manualmente cuando fue necesario. Para el ensayo de sequía terminal se realizó control de malezas aplicando Flex[®] (fomesafen) y Fusilade[®] (fluazifop-p-butyl) para control de malezas de hoja ancha y gramíneas, respectivamente. Para el control de mosca blanca, vector del virus del mosaico dorado amarillo, se aplicó Karate Zeón[®] (lambda cihalotrina). En el ensayo de baja fertilidad el control de malezas y enfermedades fue el mismo.

Análisis estadístico. Los datos se analizaron con el programa estadístico “InfoStat[®] versión 2018p”, usando análisis de varianza y separaciones de medias por DMS con un error del 5%, y un análisis de correlación de Pearson con un error del 5%.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo 1: Evaluación tolerancia al estrés de sequía terminal.

Las condiciones de manejo del experimento fueron similares en las parcelas con riego y sequía terminal. El manejo del riego durante el experimento fue de 160 mm hasta los 40 DDS para la parcela con estrés y de 262 mm hasta los 65 DDS en la parcela sin estrés. El índice de intensidad de sequía (IIS) fue de 0.59 para las líneas evaluadas. Este índice indica el grado de estrés al que fueron sometidos los genotipos y la efectividad de las condiciones en el experimento para identificar materiales con resistencia a sequía terminal (Chaves-Barrantes *et al.* 2018). Según Muñoz-Perea *et al.* (2007), IIS superiores a 0.50 se consideran altos y pueden ocasionar reducciones del 20-100% en los distintos parámetros del frijol común.

La parcela con estrés presentó un rendimiento promedio de 731 kg.ha⁻¹ y sin estrés 1,815 kg.ha⁻¹. Esto representa una reducción promedio en rendimiento causada por el estrés del 60%, similar a otros estudios (Polanía 2011). El rendimiento de un grupo de líneas SQF-F6, con estrés o sin estrés de sequía terminal, fue significativamente mayor al de ambos testigos (Amadeus 77 y Seda). La condición de estrés por sequía terminal fue determinante en la reducción de los rendimientos, debido a que la fase reproductiva es la más sensible a la sequía en el frijol común (Muñoz-Perea *et al.* 2007). Para minimizar la exposición a sequía muchos agricultores prefieren utilizar variedades más precoces, en el estudio de White y Singh (1991b) encontraron que cada día de reducción en el ciclo de crecimiento resultaba en una pérdida de 74 kg.ha⁻¹ de rendimiento. En contraste, los resultados recientes muestran que los genotipos de maduración temprana con re movilización superior de foto asimilados pueden compensar este efecto, lo que indica que las líneas de alto rendimiento tenían un mayor rendimiento de grano por día en comparación con los genotipos de bajo rendimiento bajo sequía (Polanía 2016). Investigaciones recientes, en donde se seleccionó materiales precoces en floración y madurez bajo estrés por sequía terminal, combinado con mayor producción de grano, indicaron que la ganancia en rendimiento por día es superior, sugiriendo cambios en la planta relacionados a una mayor eficiencia en la acumulación de foto asimilados (Beebe *et al.* 2008).

Es importante enfocar el mejoramiento del cultivo por resistencia a sequía hacia genotipos que tengan rendimientos altos, tanto en una condición de estrés como sin estrés (Chaves-Barrantes *et al.* 2018). Las líneas que tuvieron los mejores rendimientos con y sin estrés de sequía fueron SQF 1616-21, SQF 1616-22, y SQF 1558-28 (Figura 1). La media geométrica (MG) indica el comportamiento de las líneas con relación a las demás, en ambas condiciones. Las líneas que presentaron los mejores rendimientos en condición de sequía terminal fueron SQF 1616-21, SQF 1616-22, SQF 1559-30, SQF 1558-28 y SQF 1559-1,

estas presentaron valores altos de MG y bajos ISS (Cuadro 4). Al respecto, Ramírez-Vallejo y Kelly (1998), Frahm *et al.* (2004) y Porch *et al.* (2009), consideran que la MG y el ISS son de los parámetros más efectivos para seleccionar genotipos resistentes a sequía. El ISS de un grupo de líneas fue menor en relación a los testigos criollo Seda y el mejorado Amadeus 77, cuyos rendimientos fueron muy afectados por el estrés de sequía.

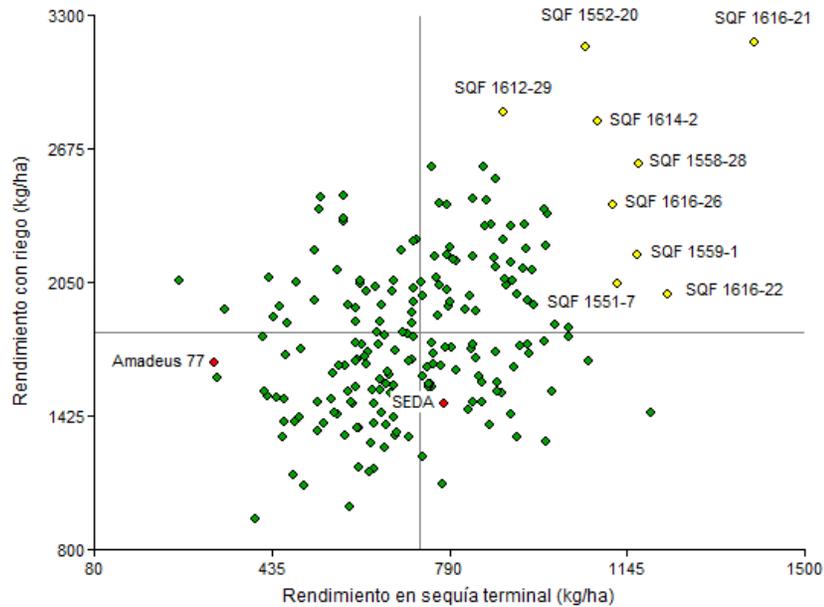


Figura 1. Rendimiento (kg/ha) de 198 familias SQF-F6 y los testigos Amadeus 77 y Seda bajo condiciones de estrés (160 mm) y sin estrés (262 mm) de sequía terminal durante la época de verano (febrero-abril). Zamorano, Honduras, 2019.

Cuadro 4. Resumen del rendimiento, días a floración y madurez fisiológica, valor agronómico, índice de cosecha, reacción al virus del mosaico dorado (VMDAF), índice de susceptibilidad a sequía y media geométrica de líneas SQF-F6 bajo estrés de sequía terminal.

Línea	Rendimiento (kg/ha)		Media Geométrica	ISS	Índice de cosecha		Días a floración		Días a madurez fisiológica	Valor agronómico		VMDAF
	Con estrés	Sin estrés			Con estrés	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés		Con estrés	Sin estrés	
SQF 1616-21	1,401	3,169	2,107	0.93	0.74	0.76	34	34	68	4	4	3
SQF 1616-22	1,227	1,995	1,565	0.64	0.75	0.75	32	32	67	4	4	3
SQF 1559-30	1,192	1,440	1,310	0.29	0.73	0.78	35	34	66	4	4	4
SQF 1558-28	1,168	2,607	1,745	0.92	0.80	0.82	35	36	67	3	4	2
SQF 1559-1	1,167	2,181	1,595	0.78	0.77	0.77	34	36	70	4	4	3
SQF 1551-7	1,127	2,040	1,516	0.75	0.79	0.78	34	35	65	3	5	7
SQF 1616-26	1,117	2,409	1,641	0.90	0.77	0.79	31	31	66	4	4	4
SQF 1614-2	1,086	2,804	1,745	1.03	0.80	0.85	35	36	67	5	5	5
SQF 1614-38	1,069	1,682	1,341	0.61	0.78	0.78	36	37	68	4	3	3
SQF 1552-20	1,063	3,149	1,829	1.11	0.74	0.74	40	40	70	5	4	3
SQF 1558-7	533	2,449	1,142	1.31	0.78	0.81	37	38	68	5	4	5
SQF 1555-10	429	2,074	944	1.33	0.79	0.76	39	39	69	5	4	3
SQF 1565-10	326	1,606	723	1.33	0.74	0.79	41	40	71	6	3	2
SQF 1617-21	342	1,919	810	1.38	0.71	0.76	41	42	71	6	5	2
SQF 1617-24	251	2,056	718	1.47	0.68	0.76	33	33	70	7	5	3
AMADEUS 77	320	1,672	732	1.35	0.71	0.75	39	38	71	7	4	3
SEDA	639	1,389	942	0.90	0.69	0.74	33	34	66	8	8	6
Significancia	0.0033	<0.0001			<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
DMS	444	685			0.06	0.06	2	3	2	2	2	2
CV %	37.88	23.53			4.57	4.97	3.28	4.32	1.68	24.12	21.5	30.51
Promedio	731	1,815	1,141	0.98	0.76	0.77	36	36	68	5	5	5
Rango	251-1,401	940-3,169			0.64-0.83	0.57-0.85	30-42	29-42	64-72	3-8	2-8	2-8

CV: Coeficiente de variación; DMS: Diferencia mínima significativa.

Se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos para las variables de DF, DMF, VA, IC y VMDF bajo condiciones de estrés por sequía terminal. Para DF 29 líneas fueron más precoces que el testigo criollo SEDA en condiciones de estrés de sequía terminal, y 39 líneas presentaron menos días a floración en condiciones sin estrés. La condición de estrés de sequía terminal no provocó un cambio a los días de floración que se mantuvo en un rango de 29 - 42 días en ambas condiciones. Existe correlación negativa, pero débil entre DF en sequía y rendimiento en sequía ($r = -0.25$; $P \leq 0.05$), esto se asemeja a lo sugerido por Chaves-Barrantes *et al.* (2018) que menciona que la precocidad en la floración es una característica relacionada a una mayor resistencia al estrés de sequía terminal.

Para los DMF 13 líneas alcanzaron esta etapa antes que el testigo criollo SEDA, que alcanzó esa etapa a los 66 DDS y Amadeus 77, a los 71 DDS, además, se considera que la precocidad en la maduración es una característica muy valiosa en la adaptación del frijol común a sequía terminal (White y Singh 1991a; Rosales *et al.* 2004; Beebe *et al.* 2013), ya que permite completar el llenado del grano con una mayor disponibilidad de agua con respecto a genotipos más tardíos. Para VA se obtuvieron valores de tres en 18 líneas en condiciones de estrés, la mayoría de las líneas obtuvo mejor valor que los testigos Amadeus 77 (VA =7) y Seda (VA =8). VA en sequía está correlacionado negativamente con rendimiento en sequía ($r = -0.45$; $P \leq 0.05$).

En condiciones sin estrés de sequía, una línea obtuvo (VA =2) y 31 líneas (VA =3), el testigo criollo Seda obtuvo el peor valor (VA =8) y Amadeus 77 (VA =4). El IC indica cuánto de la biomasa de las vainas corresponde al grano. Para IC la mayoría de las líneas presentó mejor capacidad de acumular biomasa en los órganos reproductivos en condición de estrés en comparación a los testigos Amadeus 77 (IC =0.71) y SEDA (IC =0.69). Se desempeñaron bien como movilizadores: SQF 1558-4, SQF 1614-27, SQF 1558-6, SQF 1614-41 y SQF 1558-21, estas líneas no presentaron rendimientos altos en sequía terminal, esto se explica por la correlación negativa existente con DMF, ya que estas líneas presentaron los DMF más altos.

Estos genotipos podrían servir como padres para mejora genética a este tipo de estrés, y tratar de heredar a la progenie su mayor capacidad para acumular biomasa en los órganos reproductivos, ya que el IC tiene mayor heredabilidad que el rendimiento en sequía (Assefa *et al.* 2013). La característica de movilización de fotoasimilados como índice de cosecha presentó una heredabilidad alta de 0.61 (Polanía 2011). Sin el estrés de sequía las translocaciones de foto asimilados de la mayoría de las líneas presentaron mejor índice que el testigo Amadeus 77 (IC =0.75) y Seda (IC =0.74). Existe una correlación positiva pero débil entre rendimiento en sequía terminal e IC en sequía ($r = 0.27$; $P \leq 0.05$), de igual modo (Chaves-Barrantes *et al.* 2018) en su estudio reportó la misma correlación ($r = 0.23$; $P \leq 0.05$) para los genotipos evaluados. Se ha encontrado que mayor movilización de fotoasimilados hacia semilla bajo condiciones de sequía es un atributo importante para evaluar la adaptación a sequía en frijol común (Polanía 2011). Para la severidad de VMDF 74 líneas presentaron valores de 3, Amadeus 77 un valor de 4 y SEDA un valor de 6.

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

Las plantas poseen diferentes mecanismos por medio de los cuales reducen el estrés provocado por factores abióticos. La tolerancia a estrés se puede lograr por una reducción de requerimientos nutricionales y translocación efectiva a los órganos reproductivos de la planta. La deficiencia de macronutrientes en el suelo es muy importante, ya que disminuye notablemente sus rendimientos (Martínez Rodríguez 1999). En cuanto al rendimiento de las líneas SQF en condiciones de baja fertilidad, este fue mayor en 24 líneas con respecto al testigo criollo SEDA y 44 líneas fueron superiores a la variedad mejorada Amadeus 77; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en el rango de rendimiento obtenido entre 560 y 1,108 kg.

En condiciones de fertilización 39 líneas presentaron mejor rendimiento que el testigo de la variedad mejorada Amadeus 77 y el testigo criollo SEDA estuvo por debajo de todas las líneas en cuanto a rendimiento. Se encontraron diferencias significativas de 692 kg en el rango de rendimiento obtenido entre los 1,054 y 2,552 kg, la parcela con fertilización presentó un rendimiento promedio de 1,821 kg.ha⁻¹ y sin fertilización 826 kg.ha⁻¹, lo que demuestra un aumento altamente significativo por la fertilización del 55% reflejado en mayor rendimiento, similar a lo reportado en el estudio de Benites Panchi (2008), el tratamiento con fertilización fue superior (2,774 kg.ha⁻¹) que sin fertilización (1,038 kg.ha⁻¹). Así mismo Granadino Espinal y León González (2016) obtuvieron una diferencia de 43% en el aumento del rendimiento para los genotipos con fertilización (1,467 kg.ha⁻¹) y en condición de baja fertilidad (827 kg.ha⁻¹). Lo que sugiere la importancia de la nutrición en la productividad de las plantas. De igual manera Martínez Rodríguez (1999) sugiere que las diferencias entre los genotipos con mayor rendimiento en baja fertilidad se pueden atribuir a la eficiencia que tienen en el aprovechamiento de los nutrientes, o que las necesidades nutricionales son menores.

La producción de frijol se realiza en condiciones edáficas muy variables, en las que generalmente las deficiencias nutricionales en los suelos limitan los rendimientos. Hay que mencionar, además que la mayor producción de frijol en países en desarrollo se genera por pequeños agricultores (Martínez Rodríguez 1999), teniendo en cuenta esto, es vital seleccionar genotipos que se desempeñen bien en ambas condiciones. La media geométrica indica el comportamiento de las líneas con relación a las demás, en ambas condiciones, con y sin fertilización. Las líneas que desempeñaron mejor para rendimiento en condición de baja fertilidad fueron SQF 1559-6, SQF 1554A-2, SQF 1614-50, SQF 1616-14, y SQF 1565-15, mientras tanto las que mostraron el peor desempeño SQF 1559-11, SQF 1613-2, SQF 1616-21, SQF 1616-12 y SQF 1612-30 (Cuadro 5).

Las líneas SQF 1559-6, SQF 1554A-2, SQF 1614-50, y SQF 1565-15 mostraron los mejores rendimientos con y sin fertilización (Figura 2).

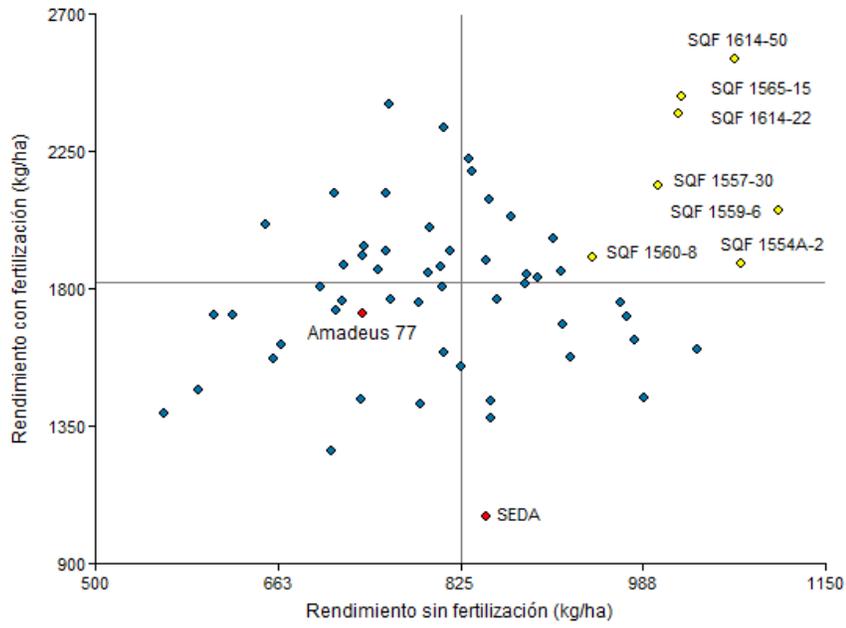


Figura 2. Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de 58 líneas de frijol y los testigos Amadeus 77 y Seda con y sin fertilización, en un lote de baja fertilidad en la época de primera (junio- agosto). La Vega 4, Zamorano, 2019.

Cuadro 5. Resumen del rendimiento, días a floración y madurez fisiológica, valor agronómico, índice de cosecha, reacción al virus mosaico dorado amarillo (VMDAF), y media geométrica de líneas SQF-F7 crecidas sin y con fertilización en un suelo de baja fertilidad. Zamorano, Honduras, 2019.

Línea	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)		Media Geométrica	Índice de cosecha		Días a floración		Días a madurez fisiológica		Valor agronómico		VMDAF
	Sin F	Con F		Sin F	Con F	Sin F	Con F	Sin F	Con F	Sin F	Con F	
SQF 1559-6	1,108	2,057	1,510	0.80	0.80	35	35	63	64	3	4	3
SQF 1554A-2	1,074	1,881	1,421	0.76	0.77	32	33	62	61	4	4	1
SQF 1614-50	1,069	2,552	1,652	0.76	0.77	35	36	63	66	3	4	2
SQF 1616-14	1,036	1,599	1,287	0.78	0.78	33	34	61	62	4	4	2
SQF 1565-15	1,022	2,428	1,575	0.75	0.75	37	38	60	63	3	3	2
SQF 1614-22	1,020	2,372	1,555	0.79	0.80	36	37	63	62	3	4	2
SQF 1557-30	1,002	2,137	1,463	0.76	0.77	31	32	60	60	3	4	3
SQF 1559-15	988	1,444	1,195	0.78	0.78	33	33	62	64	3	4	2
SQF 1552-15	981	1,632	1,265	0.75	0.77	37	38	60	62	2	3	8
SQF 1614-59	973	1,708	1,289	0.73	0.75	40	41	66	67	2	4	3
SQF 1559-11	652	2,010	1,144	0.78	0.80	33	33	60	61	3	3	3
SQF 1613-2	623	1,711	1,032	0.71	0.72	37	38	61	61	3	4	2
SQF 1616-21	606	1,715	1,020	0.71	0.75	32	32	61	63	4	4	2
SQF 1616-12	592	1,470	933	0.75	0.77	33	33	63	62	4	4	2
SQF 1612-30	561	1,390	883	0.74	0.75	32	32	56	58	4	4	2
AMADEUS 77	738	1,717	1,125	0.75	0.76	38	38	61	64	4	4	2
SEDA	848	1,054	945	0.74	0.74	35	37	55	55	4	5	8
Significancia	0.5607	0.0404		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	0.5914	<0.0001
DMS	360	692		0.02	0.02	2	1	3	3	1		1
CV %	31.19	27.23		1.96	1.65	3.18	2.9	3.08	3.09	17.86	21.86	20.32
Promedio	826	1,821	1,221	0.76	0.77	34	35	61	62	3	4	2
Rango	560-1,108	1,054-2,552		0.71-0.80	0.72-0.80	31-40	32-41	55-66	55-67	2-4	3-5	1-8

CV: Coeficiente de variación; DMS: Diferencia mínima significativa.

Con excepción de VA bajo fertilización, se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos en las variables de DF, DMF, VA y VMDF en condición de baja fertilidad. Para DF 35 líneas fueron más precoces que el testigo criollo Seda y Amadeus 77 estuvo entre los más tardías para alcanzar esa etapa en condiciones de baja fertilidad. En condiciones de fertilización 39 líneas fueron más precoces que SEDA y Amadeus 77 se mantuvo entre los más tardíos, la parcela sin fertilización (34 días), y bajo fertilización (35 días). Para DMF en condiciones de baja fertilidad y con fertilización el testigo criollo Seda alcanzó esta etapa con mayor rapidez (55 días) en comparación a las demás líneas; sin embargo, 21 líneas en baja fertilidad y 48 líneas en fertilización fueron más precoces que el testigo de la variedad mejorada Amadeus 77 (64 días), la parcela sin fertilización (61 días), y fertilización (62 días), al observar los rendimientos se puede atribuir que a mayor DMF las líneas más tardías son más susceptibles a la baja disponibilidad de nutrientes, ya que tienen mayor desarrollo vegetativo y por consiguiente demanda mayor requerimiento nutricional (Martínez Rodríguez 1999).

Para VA en condiciones de baja fertilidad, dos líneas obtuvieron un valor de dos y 28 líneas (VA =3), los testigos Seda (VA =4) y Amadeus 77 (VA =4) en un rango de dos a cuatro. En condiciones de fertilización siete líneas obtuvieron un valor de tres, los testigos Seda (VA =5) y Amadeus 77 (VA =4) en un rango de tres a cinco. Existe una correlación moderada negativa para VA sin fertilización y rendimiento sin fertilización ($r = -0.33$; $P \leq 0.05$), esto sugiere que genotipos con VA (≤ 3) presentaran mejores rendimientos sin fertilización.

El IC en condiciones de baja fertilidad fue mayor en 36 de las líneas evaluadas con respecto al testigo de la variedad mejorada Amadeus 77 (IC =0.75) y en 47 líneas con respecto a Seda (IC =0.74), existe una correlación moderada positiva ($r = 0.37$; $P \leq 0.05$) para rendimiento sin fertilización y la conversión de foto asimilados IC sin fertilización. Bajo fertilización la translocación de foto asimilados de la mayoría de las líneas fue ampliamente superior que los testigos Amadeus 77 (IC =0.76) y Seda (IC =0.74) en un rango de (0.72 - 0.80).

Para la severidad de VMDF la mayoría de las líneas (58) presentaron valores deseables ≤ 3 , incluyendo al testigo de la variedad mejorada Amadeus 77 con un valor de dos y el testigo criollo presentando el peor valor de ocho. Existe una correlación negativa de ($r = -0.26$; $P \leq 0.05$) para VMDF y rendimiento por ha.

Las líneas que presentaron la mejor adaptación (Rendimiento) bajo las dos condiciones de estrés de sequía terminal y sin fertilización fueron SQF 1554A-2, SQF 1559-6, SQF 1616-14, SQF 1559-15, SQF 1616-26, SQF 1558-28, SQF 1559-30, y SQF 1616-22 (Figura 3).

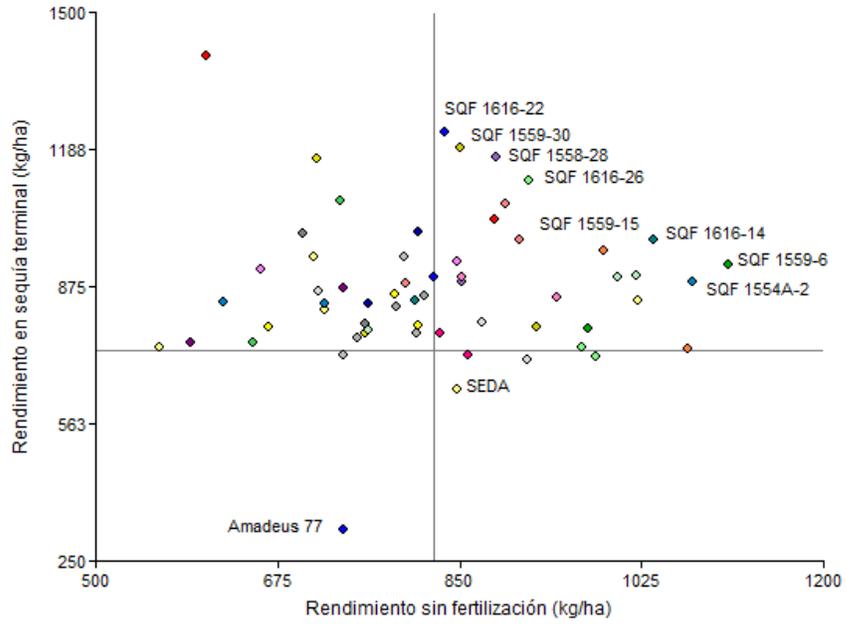


Figura 3. Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de 58 líneas de frijol y los testigos Amadeus 77 y Seda bajo estrés de sequía terminal (Lote 20, Zona II) y sin fertilización (Lote Vega 4). Zamorano, Honduras, 2019.

4. CONCLUSIONES

- Se identificaron un grupo de líneas (SQF 1554A-2, SQF 1559-6, SQF 1616-14, SQF 1559-15, SQF 1616-26, SQF 1558-28, SQF 1559-30, y SQF 1616-22) con alto potencial de adaptación a estrés de sequía terminal y baja fertilidad.
- Las variables rendimiento, media geométrica, índice de susceptibilidad a sequía, índice de cosecha, y valor agronómico permitieron identificar líneas tolerantes a sequía terminal y baja fertilidad.

5. RECOMENDACIONES

- Validar las líneas tolerantes a estrés de sequía y baja fertilidad en diferentes condiciones ambientales de la producción del frijol en Honduras y Centro América para confirmar su potencial como variedades mejoradas.
- Continuar con el mejoramiento genético para desarrollar líneas con mejor adaptación a estrés de sequía terminal y de baja fertilidad que afectan a la producción de frijol en Centro América.

6. LITERATURA CITADA

- Assefa T, Beebe SE, Rao IM, Cuasquer JB, Duque MC, Rivera M, Battisti A, Lucchin M. 2013. Pod harvest index as a selection criterion to improve drought resistance in white pea bean. *Field Crops Research*, 148: 24-33.
- Beebe SE, Rao IM, Cajiao C, Grajales M. 2008. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. *Crop Science*, 48: 582–592.
- Beebe SE, Rao IM, Blair MW, Acosta-Gallegos JA. 2013. Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology*, 4(35): 1-20.
- Beebe SE, Rao IM, Devi MJ, Polonia J. 2014. Common beans, biodiversity, and multiple stresses: Challenges of drought resistance in tropical soils. *Crop and Pasture Science*, 65(7): 667-675.
- Benites Panchi ML. 2008. Características fenotípicas de líneas de frijol común tolerantes a la sequía y a la baja fertilidad [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 25 p.
- Chaves-Barrantes NF, Polanía JA, Muñoz-Perea CG, Rao IM, Beebe SE. 2018. Caracterización fenotípica por resistencia a sequía terminal de germoplasma de frijol común. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1): 1-17.
- CIAT, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. Centro Internacional de Agricultura Tropical. A van Schoonhoven, M Pastor-Corrales (comps.). Cali, Colombia, 56 p.
- FAO, Food And Agriculture Organization. 2017. FAOSTAT. Crops. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; [consultado 2019 oct 1]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Frahm MA, Rosas JC, Mayek-Pérez N, López-Salinas E, Acosta-Gallegos JA, Kelly JD. 2004. Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica*, 136: 223-232.
- Granadino Espinal MA, León González OH. 2016. Evaluación de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) por su tolerancia a suelos de baja fertilidad [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 32p.

- Martínez Rodríguez CK. 1999. Evaluación de germoplasma de frijol por tolerancia a suelos con bajos niveles de fertilidad [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 43 p.
- Muñoz-Perea CG, Terán H, Allen RG, Wright JL, Westermann DT, Singh SP. 2006. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Science*, 46: 2111-2120.
- Muñoz-Perea CG, Allen RG, Westermann DT, Wright JL, Singh SP. 2007. Water use efficiency among dry bean landraces and cultivars in drought-stressed and non-stressed environments. *Euphytica* 155: 393-402.
- Polanía JA. 2011. Identificación de características morfofisiológicas asociadas a la adaptación a sequía para ser usadas como criterios de selección en mejoramiento de frijol común *Phaseolus vulgaris* L [Tesis]. Universidad Nacional de Colombia, Palmira-Colombia. 110 p.
- Polanía JA. 2016. Morpho-physiological analysis of adaptative responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to drought stress [Tesis]. Universitat Autònoma de Barcelona, España. 101 p.
- Porch TG, Ramírez VH, Santana D, Harmsen EW. 2009. Evaluation of common bean for drought tolerance in Juana Diaz, Puerto Rico. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(5): 328-334.
- Ramírez-Vallejo P, Kelly JD. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*, 99(2): 127-136.
- Rosales-Serna R, Kohashi-Shibata J, Acosta-Gallegos JA, Trejo-López C, Ortiz-Cereceres J, Kelly JD. 2004. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. *Field Crops Research*, 85(2-3): 203-211.
- Rosas JC, Erazo D, Moncada J. 1991. Tolerancia a la sequía en germoplasma de frijol común y frijol tépari. *CEIBA*, 32(2): 91-106.
- Rosas JC, Castro A, Flores E. 2000. Mejoramiento genético del frijol rojo y negro mesoamericano para Centroamérica y El Caribe. *Agronomía Mesoamericana*, 11(2): 37-43.
- Singh SP. 1995. Selection for water-stress tolerance in interracial populations of common bean. *Crop Science*, 35: 118-124.
- Szilagyi L. 2003. Influence of drought on seed yield components in common bean. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 43: 320-330.
- White JW, Singh SP. 1991. Breeding for adaptation to drought. *In*: A. Van Schoonhoven, and O. Voysest, editors, *Common beans. Research for crop improvement*. CIAT, Cali, Colombia, and CAB International, Wallingford, GBR. p. 501-560.