

Rendimiento y tolerancia a la sequía de seis variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de campo

Yield and drought tolerance of six varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under field condition

Yanitza Meriño Hernández¹, Ana Boudet Antomarchi¹, Tony Boicet Fabre¹, Eugenio Amado Barreiro Ladrón de Guevara², Abel Jorge Palacio², Radame Oduardo Castillo²

¹Universidad de Granma. Carretera vía Manzanillo Km 16 1/2, Bayamo, Granma, Cuba, C.P. 84100.

²Estación de grano de Jucarito. Rio Cauto, Granma, Cuba, C.P. 87100.

E-mail: yani@udg.co.cu

RESUMEN. En dos condiciones de humedad (sequía y riego) fueron evaluadas seis variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), con un diseño factorial en bloques completos al azar. Los objetivos del trabajo fueron evaluar el efecto causado por las condiciones de sequía a las variedades del cultivo, identificar las de alto rendimiento y las características que les permitan adaptarse a condiciones variables de humedad en el suelo. Con los datos de los rendimientos entre las dos condiciones de humedad se calcularon los índices de intensidad de sequía (IIS), susceptibilidad a la sequía (ISS), eficiencia relativa (IER), media geométrica (MG) y el porcentaje de pérdidas del rendimiento. Los resultados obtenidos fueron procesados estadísticamente mediante el programa Statistica versión 8.0, para Windows, en caso de diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey para $p < 0,05$. La selección basándose en los niveles de ISS, MG, IER y PPR permitió identificar las variedades con altos rendimientos adaptadas a la sequía y en condiciones de humedad favorable.

Palabras clave: frijol común, riego, tolerancia a sequía, rendimiento, criterios de selección.

ABSTRACT. In two moisture conditions (drought and irrigation) were evaluated six varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), with a factorial randomized complete blocks. The objectives of the study was to evaluate the effect caused by drought conditions crop varieties, identify high performance and features that enable them to adapt to varying conditions of soil moisture. With the data in yields between the two humidity conditions intensity indices of drought (IIS), susceptibility to drought (ISS), relative efficiency (IER), geometric mean (GM) and percent yield losses were calculated. The results were statistically processed using the Statistica software version 8.0 for Windows, if significant differences Tukey test was applied to $p < 0.05$. The selection based on levels ISS, MG, IER and PPR identified high yielding varieties adapted to drought and favorable moisture conditions.

Key words: common bean, irrigation, drought tolerance, yield, selection criterion.

INTRODUCCIÓN

La productividad y el crecimiento de las plantas (de una gran diversidad de cultivos agronómicos) están restringidos intermitentemente por diversos factores ambientales tanto bióticos como abióticos. De todos estos factores, la disponibilidad de agua es el más limitante en la producción agrícola a nivel mundial, ya que más del 30% del planeta son áreas de baja precipitación, es decir con menos de 200 a 400 mm de precipitación por año (Iturriaga, 2007).

La sequía, o más generalmente, la limitada disponibilidad de agua, es el factor principal que limita la producción de las cosechas (Golbashy *et al.*, 2010); es por mucho el más importante estrés ambiental que afecta a la agricultura debido a lo cual se han realizado muchos esfuerzos para mejorar la productividad de los cultivos bajo condiciones de limitación de agua (Cattivelli *et al.*, 2008). Por otra parte el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es el

cultivo que más disminuye su producción, sobre todo en países en desarrollo donde el riego para las cosechas es poco frecuente (Blair *et al.*, 2010).

En ocasiones, por no existir criterios auxiliares para la evaluación y selección de variedades tolerantes a la sequía, se recurre al uso de índices de selección; evaluando variedades sin limitaciones de humedad (riego) y con suspensión de riego (condición artificial de sequía), donde son identificadas aquellas que sobresalen, mediante estos índices (Rosales-Serna *et al.*, 2000).

Muchos estudios han utilizado la identificación de cultivares tolerantes y susceptibles basados en medidas fisiológicas relacionadas con la respuesta a este parámetro, pero la dificultad en la identificación de un parámetro fisiológico, como un indicador fiable de rendimiento en las condiciones secas, ha sugerido que la determinación del rendimiento sobre un rango de ambientes debe usarse como el indicador principal para la tolerancia a la sequía (Voltas *et al.*, 2005). Por todas estas razones Los objetivos del trabajo fueron evaluar el efecto causado por las condiciones de sequía a las variedades del cultivo, identificar las de alto rendimiento y las características que les permitan adaptarse a condiciones variables de humedad en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la Estación Territorial de Investigaciones de Grano de Jucarito, ubicada en el municipio de Río Cauto, provincia de Granma, sobre un suelo oscuro plástico gleysado (Hernández *et al.*, 1999), desde enero a marzo del 2013. Los elementos climáticos no tuvieron la misma tendencia durante el período experimental y fueron registrados en la Estación meteorológica de la propia localidad (Figura 1). Las temperaturas fueron variables, con rangos de 16 a 31,5°C, la humedad relativa osciló entre 88 y 97,5%, y las precipitaciones caídas entre 1,5 y 15 mm, muy por debajo de lo exigido por el cultivo para su normal desarrollo.

Se utilizaron seis variedades de frijol común (Bat-304, Hatuey, Cull-156, Tomeguín, Velazco largo y Delicia-364). La parcela experimental consistió en tres surcos, de dos metros de largo cada uno para cada variedad, separados a 70 cm, y 12 cm entre plantas, repetidas estas parcelas seis veces. Tres de estas parcelas se mantuvieron en condiciones de sequía terminal (únicamente las lluvias ocurridas durante el ciclo y solo tres riegos antes de la prefloración [R5]), a las restantes tres parcelas, además de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo, se le aplicaron siete riegos, considerando los requerimientos hídricos del cultivo de frijol.

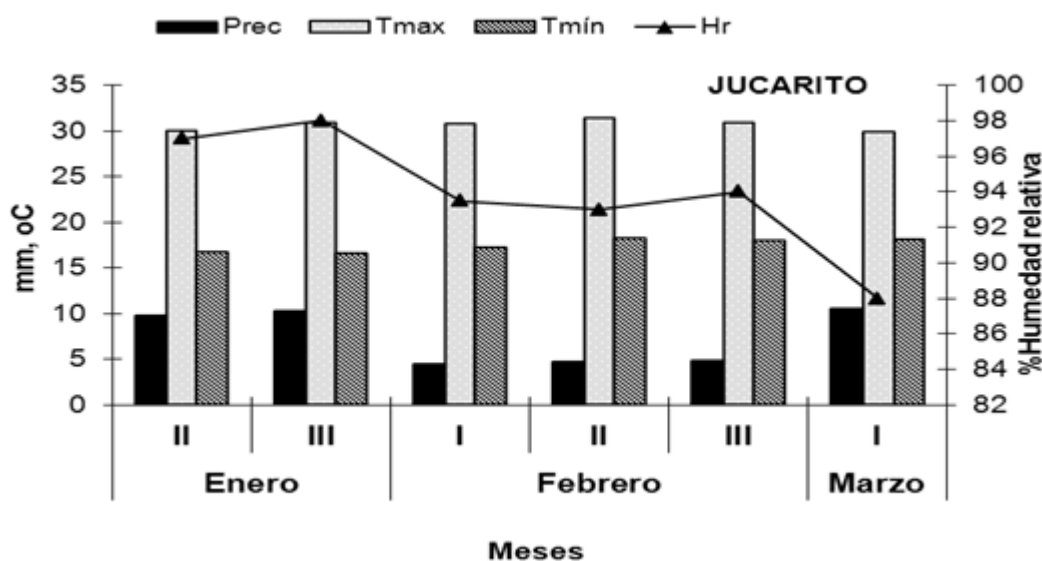


Figura 1. Dinámica de los elementos del clima

Tratamientos empleados:

- ♦ T₁. Variedades de frijol bajo riego
- ♦ T₂. Variedades de frijol en sequía (Terminal)

En la madurez fisiológica se cosecharon 10 plantas por tratamientos y repeticiones a las que determinaron el rendimiento en t.ha⁻¹; además, registraron los datos fenológicos de días a inicio de floración (DIF), días a madurez fisiológica (DMF) e índice reproductivo (IR) según la ecuación:

$$IR (\%) = (DPR/DMF) * 100$$

Donde,

DPR = días del periodo reproductivo (DMF/DIF)

Para estimar la intensidad y el efecto de la sequía sobre el rendimiento, se determinó el Índice de intensidad de sequía (IIS) mediante la ecuación:

$$IIS = [1 - (R_s/R_{RS})]$$

Donde,

R_s = promedio general de rendimiento en sequía

R_{RS} = promedio general de rendimiento en riego (Fischer y Maurer 1978).

El Índice de susceptibilidad a la sequía (ISS) para cada variedad fue determinado con la ecuación:

$$ISS_i = [1 - (R_{Si}/R_{RSi})]/IIS$$

Donde,

ISS_i = Índice de susceptibilidad a sequía de la i-ésima variedad

R_{Si} = rendimiento promedio en sequía de la i-ésima variedad

R_{RSi} = rendimiento promedio en riego suplementario para la i-ésima variedad.

También se utilizó la media geométrica (Samper y Adams 1985):

$$MG_i = (R_{Si} \cdot R_{RSi})^{1/2}$$

La pérdida de rendimiento entre condiciones y el índice de eficiencia relativa de cada genotipo (Graham 1984):

$$IER_i = (R_{Si}/R_s) \cdot (R_{RSi}/R_{RS})$$

Para el cálculo de estos índices se utilizaron los valores de rendimientos obtenidos en cada repetición de sequía con su correspondiente repetición en riego.

El experimento se efectuó bajo un diseño factorial en bloques completos al azar con un arreglo de parcelas divididas, donde las parcelas grandes fueron las dos condiciones de humedad y las pequeñas las variedades evaluadas. El procesamiento estadístico se realizó con el paquete Statistica versión 8.0 sobre Windows. En la comparación de las medias se utilizó la prueba de Tukey, con una probabilidad de error del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el periodo de ensayo las condiciones que prevalecieron fueron las de sequía, motivadas por las pocas precipitaciones ocurridas, fundamentalmente durante el período de floración, tal como lo muestra el índice de intensidad a la sequía (IIS) de 0,29. Esta sequía debe haber ocasionado, el aborto de flores y vainas en formación, lo que sin dudas repercutió en los rendimientos alcanzados por las variedades. De acuerdo con Muñoz *et al.* (2007) la falta de agua durante las etapas de prefloración, formación y llenado de vainas afecta seriamente el rendimiento. El análisis de varianza y comparación de medias al rendimiento obtenido mostró que existen diferencias significativas entre las variedades, lo que indica la presencia de una alta diversidad genética entre ellas (Tabla 1). Todas las variedades redujeron significativamente su rendimiento de la condición de riego a la de sequía.

Según García *et al.* (2009), cuando las precipitaciones están por debajo de las necesidades del cultivo los rendimientos disminuyen drásticamente, fundamentalmente si coinciden con la floración y el llenado de las vainas del cultivo, es decir, que la precipitación acumulada durante la etapa reproductiva es determinante para el rendimiento de frijol (Padilla–Ramírez *et al.*, 2005).

Otros autores como López *et al.* (2008) refieren que en dependencia de la duración del período de sequía y su magnitud, esta puede causar pérdidas en el rendimiento de 20 a 100% en los campos del frijol.

Otegui (2006) describe que uno de los aspectos más importantes para el éxito de un cultivo en un ambiente con deficiencias hídricas, es la adecuación de su ciclo a los cambios temporales de disponibilidad hídrica; así que una de las formas de escape se basa en un rápido desarrollo fenológico.

Tabla1. Intensidad de sequía y rendimiento promedio de las variedades bajo las dos condiciones de humedad

IIS	Variedades	Rendimiento promedio (t.ha ⁻¹)		
		Riego	Sequía	E.S. (\bar{x})
0,29	Bat-304	1,83 a	1,67 b	0,12
	Hatuey	1,85 a	1,70 b	0,13
	Cull-156	2,00 a	1,82 b	0,16
	Tomeguín	3,12 a	2,81 b	0,20
	Velazco Largo	2,70 a	2,20 b	0,34
	Delicia-364	2,50 a	1,80 b	0,41
	Medias	2,33	2,00	

Medias en las filas con letras iguales no difieren significativamente según la prueba de rangos múltiple de Tukey para $p < 0,05$. IIS = Índice de intensidad de sequía

Con relación al frijol, para que el cultivo se adapte a un régimen de humedad determinado, debe poseer las características de plasticidad fenológica (Acosta-Díaz *et al.*, 2004).

Al evaluar los días a la floración en las plantas que se desarrollaron bajo condiciones de riego, las variedades tuvieron diferentes respuestas. Velazco Largo fue la de mayor precocidad con 36 días mientras que el resto de las variedades tuvieron sus primeras flores abiertas entre los 40 y 44 días (Tabla 2). En la condición de sequía, todas las variedades adelantaron su floración de 3 a 5 días con respecto a su similar de riego. Estos resultados coinciden con los referidos por Rodríguez *et al.* (2009) cuando encontraron respuestas similares al trabajar con 64 líneas de frijol común en dos condiciones de humedad del suelo.

En relación a los días a madurez de cosecha, para las plantas del tratamiento con riego oscilaron los valores entre 75 y 93 días después de la siembra; mientras que en condiciones de sequía, fue entre 70 y 90 días para la mayoría de las variedades evaluadas. En este sentido, los resultados obtenidos por Mayor (2010) en frijol común demostraron que las variedades más productivas bajo sequía, presentaban mayor precocidad. Al parecer, bajo

estrés por sequía terminal, la producción de granos es favorecida por la capacidad de la planta de acelerar los días a madurez, manteniendo un alto índice de cosecha, de igual forma, una temprana floración y madurez reducen el impacto negativo del estrés (Rosales-Serna *et al.* 2004).

Polonia (2011) encontró que los genotipos de frijol con mayor producción bajo sequía se caracterizaron por presentar un ciclo fenológico más corto, menor días a la floración y menor días a la madurez fisiológica, indicando un ajuste en su ciclo fenológico para escapar del estrés, combinado con mayor producción de grano por día.

El índice reproductivo de las variedades mostró respuestas diferentes entre ellas, se pueden considerar como las más adaptadas a las condiciones que se establecieron en el lugar de los ensayos, a las que combinan un índice reproductivo alto y un mayor período desde la floración hasta la madurez, lo que favorece un período amplio para la formación de órganos reproductivos.

La medida del rendimiento relativo de genotipos en ambientes de sequía y ambientes favorables, parece un punto de partida común en la identificación

Tabla 2. Variables fenológicas de las variedades bajo las dos condiciones de humedad

Variedades	DIF		DMF		IR (%)	
	Riego	Sequía	Riego	Sequía	Riego	Sequía
Bat-304	40	37	83	80	51,81	53,75
Hatuey	44	41	93	90	52,69	54,44
Cull-156	40	35	82	78	51,22	55,13
Tomeguín	44	39	78	76	43,59	48,68
Velazco Largo	36	32	75	70	52,00	54,29
Delicia-364	43	38	86	81	50,00	53,09
Media	41	37	83	79	50,22	53,23

de los genotipos deseables para las condiciones de ambientes con lluvias impredecibles (Mohammadi *et al.*, 2010). Por tal razón, la pérdida de rendimiento es la preocupación principal de los mejoradores de plantas, debido a lo cual enfatizan en el estudio del rendimiento obtenido bajo condiciones de sequía (Nazari y Pakniyat, 2010).

La pérdida de rendimiento debido a la sequía fue evidente en todas las variedades (tabla 3), como promedio la reducción del rendimiento entre las condiciones de humedad fue de 13,7%, más acentuada en la variedad Delicia-364 con el 28%. Al evaluar los valores de ISS y los valores de disminución del

rendimiento se comprueba que existe una similitud entre las variedades seleccionadas, por tal motivo, se puede afirmar que la selección para bajos niveles de ISS y disminución del rendimiento mostraron alta especificidad en el momento de identificar los genotipos más tolerantes. López-Salinas *et al.* (2008) señalaron que si bien el ISS es un criterio aceptable para seleccionar genotipos que reduzcan menos su rendimiento en condiciones de estrés hídrico, no necesariamente éstos serán los de mayor rendimiento. Igualmente, no hubo un patrón uniforme de respuesta, pues hubo variedades susceptibles con alto y bajo potencial de rendimiento, así como genotipos tolerantes con alto y bajo potencial de rendimiento.

Tabla 3. Índices evaluados y respuestas de las variedades a la sequía

Variedades	Rendimiento (t.ha ⁻¹)		ISS	MG	PR (%)	IER	Respuesta a la sequía
	Riego	Sequía					
Bat-304	1,83	1,67	1,00	1,75	8,74	0,65	Tolerante
Hatuey	1,85	1,70	0,93	1,77	8,11	0,67	Tolerante
Cull-156	2,00	1,82	1,03	1,91	9,00	0,78	Tolerante
Tomeguín	3,12	2,81	1,14	2,97	9,94	1,87	Tolerante
Velazco Largo	2,70	2,20	2,12	2,45	18,5	1,27	Susceptible
Delicia-364	2,50	1,80	3,20	2,15	28,0	0,96	Susceptible
Media	2,33	2,00	1,57	2,17	13,7	1,04	

CONCLUSIONES

La sequía produjo un efecto directo sobre el rendimiento de las variedades y los índices evaluados, por lo que es recomendable que la selección de variedades con alto potencial de rendimiento y adaptación a condiciones de sequía se efectúe mediante la combinación de criterios relacionados tanto con el rendimiento promedio de ambas condiciones de humedad, como con los que involucran la reducción del rendimiento al pasar del riego a sequía.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta-Díaz, E.; C. Trejo-López; Lucero del Mar Ruiz-Posadas; J.S. Padilla- Ramírez; J. A. Acosta-Gallegos: Adaptation of Common Bean to Drought Stress during the Reproductive Stage.” TERRA Latinoamericana **22**(1): 49-58, 2004.
2. Blair, M. W.; C. H. Galeano; E. Tovar; M.C. Munoz-Torres; A.V. Castrillon; S.E. Beebe; I.M. Rao: Development of a Mesoamerican intra-genepool genetic map for quantitative trait detection in a drought

tolerant × susceptible common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crosses. Mol Breeding **29**:71–88, 2010.

3. Cattivelli, L.; F. Rizza; B. Franz-W; E. Mazzucotelli; A.M. Mastrangelo; E. Francia; C. Mare; A. Tondelli; A. Michele: StancaDrought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. Field Crops Research **105**, 2008, pp: 1–14.

4. Fischer, R. A.; R. Maurer: Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research. Vol. **29**, p. 897–907, 1978.

5. García, M.E.; [et al.]: Guía técnica para el cultivo del frijol. Proyecto Innovaciones para mejorar la competitividad de la cadena agroindustrial de granos y semillas de frijol de los socios de ASOPROL. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), Managua, Nicaragua, 2009, 28 p.

6. Golbashy, M.; S.K. Khavari; M. Ebrahimi; R. Choucan: Study of response of corn hybrids to limited irrigation. 11th Iranian Crop Science Congress, University of Shahid Beheshti, 24–26 July, Tehran, Iran. 2010, 218 p.

7. Graham, R. D.: Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Advances in Plant Nutrition*, 1:57-102, 1984.
8. Hernández, J. A.; R.A. Cabrera; G.M. Ascanio; D.M. Morales; R.L. Rivero; D.R. Cánovas; A.N. Martín; A.J. Buisre; M.E. Frómata: Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. MINAGRI, La Habana, Cuba, 1999, 64 p.
9. Iturriaga, G.: Genes para combatir la sequía en los cultivos. Academia de Ciencias de Morelos, A.C., Morelos, México, 2007, 34p.
10. López S.; O.H. Tosquy; F.J. Ugalde; J.A. Acosta: Rendimiento y tolerancia a sequía de genotipos de frijol negro en el estado de Veracruz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(3):5-39, 2008.
11. Mayor, D.V.M.: Evaluación de líneas de frijol común andino (*Phaseolus vulgaris*) provenientes de cruza intra/inter acervo para tolerancia a sequía. Trabajo de grado para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias, Área de Fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. 2010, 95 p.
12. Mohammadi, R.; M. Armion; D. Kahrizi; A. Amri: Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. *Int J Plant Pro* 4(1):11-24, 2010.
13. Muñoz, C.G.; R.G. Allen; D.T. Westermann; J.L. Wright; S.P. Sing: Water use efficiency among dry beans landraces and cultivars in drought stressed and non stressed environments. *Euphytica* 155:393-402, 2007.
14. Nazari, L.; H. Pakniyat: Assessment of drought tolerance in barley genotypes. *J. Applied Sciences* 10:151-156, 2010.
15. Otegui, E.M.: Bases ecofisiológicas para el manejo del agua en cultivos para grano conducidos en secano. Manejo del agua en cultivos para grano conducidos en secano. *Informaciones agronómicas* No 44:16-20, 2006.
16. Padilla-Ramírez, J. S; J. A. Acosta-Gallegos; E. Acosta-Díaz; N. Mayek-Pérez; J. D. Kelly: Partitioning and partitioning rate to seed yield in drought-stressed and non-stressed dry bean genotypes. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop* 48:152-153, 2005.
17. Polanía, J. A.: 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.) Trabajo de grado para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias, Área de Fitomejoramiento Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. 2010, 110 p.
18. Rodríguez. O.; O. Chaveco; R. Ortiz; M. Ponce; H. Ríos, S. Miranda; O. Díaz; Y. Portelles; R. Torres; L. Cedeño: Evaluación del comportamiento de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a la sequía, en condiciones de riego y sin riego, e incidencia de enfermedades. *Temas de Ciencia y Tecnología* 13(39):19-30, 2009.
19. Rosales-Serna, R.; J. Kohashi-Shibat; J.A. Acosta-Gallegos; C. Trejo-López; J. Ortiz-Cereceres; J.D. Kelly: Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought stressed common bean cultivars. *Field Crops Res.* 85: 203-211, 2004.
20. Rosales-Serna, R.; P. Ramírez-Vallejo; J.A. Acosta-Gallegos; F. Castillo-González; J. D. Kelly: *Grain yield and drought tolerance of common bean under field conditions.* *Agrociencia* 34(2):153-165, 2000.
21. Samper, C. M.; M.W. Adams: Geometric mean of stress and control yield as selection criterion for drought tolerance. Annual Report of Bean Improvement Cooperative 28, 1985, pp. 53-54.
22. Voltas, J.; H. Lopez-Corcoles; G. Borrás: Use of Biplot analysis and factorial regression for the investigation of superior genotypes in multienvironment trials. *Eur. J. Agron.* 22: 309-324, 2005.

Recibido: 26/03/2014

Aceptado: 12/12/2014