

## RENDIMIENTO Y TOLERANCIA A SEQUÍA DE GENOTIPOS DE FRIJOL NEGRO EN EL ESTADO DE VERACRUZ

### YIELD AND DROUGHT STRESS TOLERANCE OF BLACK BEAN GENOTYPES IN THE STATE OF VERACRUZ

Ernesto López Salinas<sup>1\*</sup>, Óscar H. Tosquy Valle<sup>1</sup>,  
Francisco J. Ugalde Acosta<sup>1</sup> y Jorge A. Acosta Gallegos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Cotaxtla, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). Apartado Postal 429. 91700, Veracruz, Ver., México. Tel (229) 9342926. <sup>2</sup>Campo Experimental Bajío, INIFAP. Km 6.5 carretera Celaya-San Miguel de Allende. Apdo. Postal 112. 38019, Celaya, Gto., México.

\* Autor para correspondencia (salinaser@hotmail.com)

#### RESUMEN

En invierno-primavera 2007 se evaluó un grupo de genotipos de frijol de la raza Mesoamericana en riego y sequía, con la finalidad de clasificarlos por su tolerancia a sequía, así como identificar los de alta eficiencia en rendimiento en ambas condiciones de humedad. Se establecieron dos experimentos en Medellín de Bravo, Ver., México, uno con riego durante todo el ciclo y el otro con suspensión de riego a partir del inicio de floración. Se evaluaron 13 líneas y tres variedades 'Negro Tacaná', 'Negro INIFAP' y 'Negro Jamapa', en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Se cuantificó días a madurez, número de semillas por vaina, peso de 100 semillas y rendimiento de grano. Como estimadores de eficiencia se utilizó el índice de susceptibilidad a sequía (ISS), la media geométrica (MG) y el índice de eficiencia relativa (IER). El decremento del rendimiento por efecto de sequía fue de 68.8 %. Con valores de ISS < 0.86, los genotipos ELS-15-55, NGO 17-99 y 'Negro INIFAP' fueron los más tolerantes a sequía, mientras que NGO 99038, NGO 99054 y NGO 99176 fueron los más susceptibles. NGO 17-99 y 'Negro INIFAP' obtuvieron las mayores MG con 1.70 y 1.63, mientras que DOR-667 obtuvo el mayor IER con 1.56. Con estos dos índices se seleccionaron genotipos con alto rendimiento en las dos condiciones de humedad, mientras que con el ISS se seleccionaron los de menor reducción del rendimiento por sequía. Tanto en riego ( $r = 0.83^{**}$ ) como en sequía ( $r = 0.88^{**}$ ) el rendimiento se incrementó por mayor peso de semilla, mientras que en sequía el número de semillas por vaina también correlacionó con el rendimiento ( $r = 0.78^{**}$ ).

**Palabras clave:** *Phaseolus vulgaris*, estrés hídrico, resistencia a sequía, selección.

#### SUMMARY

During the 2007 Winter-Spring growing season, a group of bean genotypes from the Mesoamerican race was evaluated under irrigated and drought stress conditions, in order to identify those having high yield efficiency under both moisture conditions. Two experiments were established in Medellín de Bravo, Ver., México, one conducted under irrigation during the whole cycle, and the other by with drawing irrigation at the beginning of the flowering stage. Thirteen lines and three varieties, 'Negro Tacaná', 'Negro INIFAP' and 'Negro Jamapa', were evaluated in a randomized complete block design with three replications. The number of days to maturity, number of seeds per pod, weight of 100 seeds and seed yield were quantified. As efficiency indexes we used the drought susceptibility index (DSI), the geometric mean (GM) and the relative efficiency index (REI). The yield reduction caused by the stress treatment was 68.8%. With DSI values < 0.86 genotypes ELS-15-55, NGO 17-99 and 'Negro INIFAP' were the most drought tolerant, whereas NGO 99038, NGO 99054 and NGO 99176 were the most susceptible. NGO 17-99 and 'Negro INIFAP' showed the highest values of GM, while DOR-667 the highest REI. With these indexes, high yielding genotypes under both moisture conditions were selected, and with the DSI values we selected the genotypes with minor yield reduction due to drought stress. Under irrigation ( $r = 0.83^{**}$ ) as well as under drought stress ( $r = 0.88^{**}$ ), seed weight was positively correlated with seed yield, and under stress the number of seeds per pod ( $r = 0.78^{**}$ ) was also correlated to seed yield.

**Index words:** *Phaseolus vulgaris*, moisture stress, resistance drought stress, selection.

#### INTRODUCCIÓN

En el Estado de Veracruz, México, las siembras de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se llevan a cabo con variedades de grano negro, pequeño y opaco, y 72 % de la superficie cultivada corresponde a siembras de humedad residual en el ciclo otoño-invierno (SAGARPA, 2005), condición en la que es común obtener bajos rendimientos de grano (De Allende *et al.*, 2006). Lo anterior se debe a que conforme avanza el ciclo de cultivo, en siembras de humedad residual (de septiembre a diciembre), generalmente la precipitación pluvial disminuye y ocurren periodos de sequía que coinciden con la etapa reproductiva, que es cuando el cultivo es más sensible a la falta de humedad (Acosta *et al.*, 1999), que provoca deficiente llenado de grano, disminución del número de semillas por vaina y reducción de la longitud de las vainas (Nielsen y Nelson, 1998), y en consecuencia el rendimiento de grano se disminuye (López *et al.*, 2002). El efecto de la sequía depende de su duración, de la capacidad del suelo para almacenar agua para la raíz, de las condiciones atmosféricas que influyen en la tasa de evapotranspiración, y de la constitución genética de la planta que condiciona su reacción a este factor abiótico (Nielsen y Nelson, 1998).

El mejoramiento genético para resistencia a sequía representa una de las mejores alternativas para incrementar la productividad de frijol bajo esas condiciones de producción (Frahm *et al.*, 2003). Sin embargo, el desarrollo de variedades mejoradas con tolerancia a sequía es difícil, lento y costoso, ya que los genotipos muestran inconsistencia en su rendimiento, por diferencias en severidad, tiempo de ocurrencia y duración de la sequía a través de localidades y años (Acosta *et al.*, 1999; Rosales-Serna *et al.*, 2000); además, existe una fuerte interacción genético-ambiental que impide el rápido avance del mejoramiento genético.

Una forma de lograr resultados en menor tiempo consiste en evaluar los genotipos sin limitaciones de humedad (riego) y con suspensión de riego (condición artificial de secano) en la etapa reproductiva del cultivo, para identificar los genotipos sobresalientes mediante índices de selección (Rosales-Serna *et al.*, 2000). Entre los índices más utilizados está el propuesto por Fisher y Maurer (1978), en el que se utiliza la media de rendimiento de todos los genotipos en ambas condiciones de humedad para calcular el índice de intensidad y de susceptibilidad a la sequía; también está la media geométrica en la que utiliza el rendimiento observado de cada genotipo bajo condiciones de riego y sequía, y ha mostrado ser un criterio de selección efectivo (Abebe *et al.*, 1998). El índice de eficiencia relativa de Graham (1984) permite clasificar y seleccionar genotipos que presenten alto rendimiento bajo condiciones de riego y de deficiencias de humedad.

El Programa de Mejoramiento Genético de Frijol del Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), recientemente inició estudios sobre sequía en frijol negro para las siembras de otoño-invierno. Los estudios aquí reportados se hicieron para clasificar por tolerancia a sequía a un grupo de genotipos en dos ambientes (riego y sequía), así como para identificar genotipos con alta eficiencia en el rendimiento de grano en ambas condiciones de humedad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo invierno – primavera de 2007 se establecieron dos experimentos en el municipio de Medellín de Bravo, Ver. (18° 50' LN y 96° 10' LO), a 15 m de altitud. El clima de la localidad es cálido subhúmedo Aw (w)(g) (García, 1987), con temperatura media anual de 25.4 °C y precipitación pluvial anual de 1336.8 mm (Díaz *et al.*, 2006). El suelo es de textura migajón – arcillosa, con pH ligeramente ácido (6.43), con contenidos medios de materia orgánica (2.14 %), nitrógeno (0.11 %) y potasio (160 ppm), y extremadamente rico en fósforo con 37.3 µg g<sup>-1</sup> (López-Collado, 1998).

sio (160 ppm), y extremadamente rico en fósforo con 37.3 µg g<sup>-1</sup> (López-Collado, 1998).

En ambos experimentos se evaluaron 16 genotipos de la raza Mesoamericana: las líneas ICTA Ju-97-1, NGO 17-99, DOR-667, DOR-454 y DOR-448, provenientes del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); las líneas NGO 99054, NGO 99038, NGO 99055, NGO 99176 y NI/N8025-20-1, del Programa Nacional de Frijol del INIFAP; ELS-15-55, ELS-11-37 y 82L-17-80, del Programa Regional del INIFAP en el sureste de México; y las variedades comerciales 'Negro Tacaná', 'Negro INIFAP' y 'Negro Jamapa'. El diseño estadístico utilizado fue bloques al azar con tres repeticiones, en parcelas de tres surcos de 5 m de longitud y 0.60 m de ancho, donde la parcela útil correspondió al surco central.

Los experimentos se sembraron el 12 de febrero a una densidad de 250 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Uno de ellos se condujo bajo condiciones de riego durante todo el ciclo del cultivo, con un intervalo de entre 10 y 13 d entre cada riego, de acuerdo con las condiciones de humedad del suelo; durante el ciclo se aplicaron seis riegos por gravedad, con una lámina de riego de alrededor de 50 mm. En el otro ensayo se suspendió el riego (tratamiento de sequía) cuando los genotipos se encontraban en la etapa de inicio de floración. La fertilización, el control de malezas y plagas y la cosecha se realizaron de acuerdo con lo recomendado por Ugalde *et al.* (2004).

Las variables de respuesta fueron: 1) Días a madurez fisiológica, contados a partir de la siembra hasta que en 50 % de las plantas de cada genotipo las vainas cambiaron de color verde a amarillo o morado. 2) Rendimiento de grano, que se calculó en kg ha<sup>-1</sup> a partir del peso del grano cosechado de cada parcela, a 14 % de humedad. 3) Número de semillas por vaina, medido en tres plantas de cada parcela de las cuales se sustrajeron 10 vainas. 4) Peso de 100 semillas, medido en 100 semillas de cada parcela, en gramos.

Se hicieron análisis de varianza de las variables en ambas condiciones de humedad, y para el caso del rendimiento de grano, los datos se analizaron en diseño de bloques al azar en parcelas divididas, considerando cada condición de humedad como una parcela grande y los genotipos como parcelas chicas. Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS, versión 8 (SAS Institute, 1999) y cuando se detectó significancia entre tratamientos, se aplicó la prueba Diferencia Mínima Significativa (DMS, 0.05).

El efecto de la sequía en el rendimiento de grano promedio de cada genotipo se estimó con el índice de

susceptibilidad a la sequía (ISS), con la media geométrica (MG) y con el índice de eficiencia relativa (IER).

El ISS de cada genotipo se calculó con la ecuación propuesta por Fischer y Maurer (1978):  $ISS_i = 1 - (Y_i/Y_{ci})/IIS$ , donde  $Y_i$  = promedio de rendimiento de cada genotipo sin riego a partir de inicio de floración;  $Y_{ci}$  = promedio de rendimiento de cada genotipo con aplicación de riego durante el ciclo. El índice de intensidad a la sequía (IIS), se obtuvo mediante la fórmula:  $IIS = 1 - (Y_i/Y_c)$ , en la que  $Y_i$  = promedio de rendimiento sin riego a partir de inicio de floración y  $Y_c$  = promedio de rendimiento con aplicación de riego durante el ciclo.

La MG propuesta por Samper y Adams (1985), se calculó con la ecuación:  $MG = (Y_i \times Y_{ci})^{1/2}$ , donde  $MG_i$  = media geométrica de cada genotipo; y  $Y_i$  y  $Y_{ci}$  = rendimiento de cada genotipo bajo condiciones de riego suplementario y sin riego a partir del inicio de floración, respectivamente.

El IER descrito por Graham (1984), se calculó mediante la ecuación:  $IER = (Y_i / Y_i) (Y_{ci} / Y_c)$ , donde  $IER_i$  = índice de eficiencia relativa de cada genotipo;  $Y_i$  = rendimiento del genotipo  $i$  sin aplicación de riego a partir de inicio de floración;  $Y_i$  = rendimiento promedio con suspensión de riego a partir de inicio de floración;  $Y_{ci}$  = rendimiento del genotipo  $i$  con riego durante el ciclo del cultivo; y  $Y_c$  = rendimiento promedio con riego durante el ciclo del cultivo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En condiciones de riego, se detectaron diferencias entre genotipos, en días a madurez y peso de 100 semillas ( $P \leq 0.01$ ) y en número de semillas por vaina ( $P \leq 0.05$ ), pero no en rendimiento de grano. En el tratamiento de sequía se detectaron diferencias entre genotipos en todas las variables evaluadas.

Bajo condiciones de riego, 11 genotipos presentaron un ciclo de madurez más largo; 'Negro Jamapa' y NI/N8025-20-1, con 85.0 y 84.3 d respectivamente, fueron los más tardíos. En sequía la mayoría de genotipos fue similar en la madurez fisiológica. Los genotipos que alcanzaron primero la madurez fueron DOR-448 y 82L-17-80, ambos con 66.7 d. Presentar una madurez más temprana puede representar un mecanismo de escape a la sequía (White y Singh, 1991). Con reducciones menores a 6 d estuvieron las líneas ELS-11-37, NGO 99055 y NGO 17-99, que fueron los genotipos menos afectados en este carácter por efecto de la sequía. El decremento promedio de madurez fisiológica por suspender el riego en la etapa reproductiva del cultivo fue de 10.3 d (datos no muestra-

dos). En condiciones de riego los genotipos 82L-17-80, 'Negro INIFAP', NGO 99038, NGO 99054, DOR-667 y NGO 17-99, obtuvieron el mayor número de semillas por vaina (Cuadro 1). En condiciones de sequía los mismos genotipos arriba señalados (con excepción de NGO 99038 y NGO 99054), junto con ICTA JU-97-1 y DOR-448, presentaron vainas con mayor número de semillas. A su vez, NGO 17-99, ELS-15-55 e ICTA JU-97-1 presentaron los menores decrementos porcentuales en número de semillas por estrés de humedad, mientras que el genotipo más afectado en este carácter fue NGO 99038 que presentó una reducción promedio superior a la media. Los resultados de este trabajo confirman lo reportado por Nielsen y Nelson (1998), quienes bajo condiciones de estrés por humedad en la etapa de floración encontraron reducciones en número de vainas y en semillas por vaina, los cuales explicaron la disminución del rendimiento de grano de frijol.

Las líneas DOR-667, NGO 17-99 y la variedad 'Negro INIFAP' obtuvieron los mayores pesos de semilla en condiciones de riego (Cuadro 1). Estos tres genotipos junto con DOR-448, también registraron el mayor peso de semilla en la condición de sequía. NGO 17-99 y ELS-15-55 fueron los genotipos menos afectados por el estrés hídrico (11.1 y 12.1 %, respectivamente), mientras que la variedad 'Negro Jamapa' y las líneas NGO 99038 y NI/N8025-20-1 fueron las más susceptibles (29.5, 26.2 y 23.2 %, respectivamente). En general, el peso de semilla fue muy superior en el tratamiento con riego (20.0 g), comparado con el de sequía (16.3 g), lo cual se atribuye a que las plantas irrigadas tienen mayor capacidad de translocar asimilados hacia el grano (Rao, 2001). La sequía en la etapa reproductiva provocó una reducción promedio cercana a 20 % (Abebe y Brick, 2003).

Las líneas DOR-667, NGO 99038, NGO 17-99 y la variedad 'Negro INIFAP' fueron las de mayor rendimiento en condiciones de riego, mientras que en sequía estos mismos genotipos (con excepción de NGO 99038) junto con ELS-15-55 y DOR-448, produjeron los mayores rendimientos. El rendimiento varió ( $P \leq 0.01$ ) entre condiciones de humedad y entre genotipos, pero no hubo interacción de ambos factores. Con riego durante todo el ciclo se obtuvo un rendimiento promedio superior ( $P \leq 0.05$ ) al obtenido con estrés de humedad. Un grupo de ocho genotipos resultó sobresaliente; en este grupo, los genotipos de mayor rendimiento fueron las líneas NGO 17-99 y DOR-667, y la variedad 'Negro INIFAP' (Cuadro 2).

La reducción del rendimiento por falta de humedad fue evidente en todos los genotipos, pero fue más severa en NGO 99038, NGO 99054 y NGO 99176, que a su vez presentaron los valores más altos de ISS. Las líneas

ELS-15-55 y NGO 17-99 y la variedad ‘Negro INIFAP’ presentaron mayor tolerancia al estrés por sequía, debido a que obtuvieron los índices de susceptibilidad más cercanos a cero (Fisher y Maurer, 1978). Este índice es un criterio aceptable para seleccionar genotipos que reducen menos su rendimiento con estrés de humedad, aunque no necesariamente son los más rendidores (Rosales-Serna *et al.*, 2000). Como no llovió durante la etapa reproductiva del cultivo, fue posible cuantificar la respuesta de los genotipos a esta característica cuantitativa. NGO 17-99, ‘Negro INIFAP’ y DOR-667 obtuvieron los más altos va-

lores de los índices MG y IER (Cuadro 2), que indican alto rendimiento en las dos condiciones de humedad estudiadas. Ambos índices están altamente correlacionados entre sí y se basan en la producción bajo las dos condiciones de humedad (Mayek *et al.*, 2003; López *et al.*, 2006). Los resultados observados con los índices utilizados son similares a los obtenidos por Rosales-Serna *et al.* (2000), quienes sugirieron la utilización combinada de un índice relacionado con la reducción del rendimiento (ISS) y otro con la productividad entre condiciones de humedad (MG o IER).

**Cuadro 1. Efecto de dos condiciones de humedad en el número de semillas por vaina y el peso de 100 semillas (g) de genotipos de frijol. Medellín de Bravo, Ver. Ciclo invierno-primavera 2007.**

Genotipo	Número de semillas por vaina			Peso de 100 semillas		
	Riego	Sequía	Reducción (%)	Riego	Sequía	Reducción (%)
82L-17-80	6.43 *	5.87 *	8.8	19.3	16.0	17.2
‘Negro INIFAP’	6.23 *	5.93 *	4.8	21.0 *	18.0 *	14.3
NGO 99038	6.20 *	4.90	21.0	20.3	15.0	26.2
NGO 99054	6.20 *	5.37	13.4	18.7	15.0	19.6
DOR-667	6.10 *	5.70 *	6.6	22.0 *	18.3 *	16.7
NGO 17-99	6.03 *	5.83 *	3.3	21.0 *	18.7 *	11.1
NGO 99176	5.97	5.43	8.9	20.0	16.0	20.0
ICTA JU-97-1	5.97	5.70 *	4.5	20.0	15.7	21.7
‘Negro Jamapa’	5.97	5.30	11.2	20.3	14.3	29.5
NGO 99055	5.83	5.17	11.4	19.3	15.0	22.4
DOR-448	5.80	5.47 *	5.8	20.7	17.7 *	14.5
‘Negro Tacaná’	5.77	5.40	6.2	20.7	16.7	19.4
NI/N8025-20-1	5.73	5.27	8.1	18.7	14.3	23.2
DOR-454	5.70	5.33	6.4	19.0	16.0	15.8
ELS-11-37	5.67	5.20	8.2	20.3	16.7	18.0
ELS-15-55	5.60	5.40	3.6	19.3	17.0	12.1
<b>Promedio</b>	5.95	5.45	8.3	20.0	16.3	18.8
<b>CV (%)</b>	4.67	5.47		3.71	4.58	
<b>DMS (0.05)</b>	0.46	0.50		1.24	1.24	

\* Genotipos estadísticamente superiores, según la Diferencia Mínima Significativa (0.05).

**Cuadro 2. Rendimiento de grano de genotipos de frijol en dos condiciones de humedad, e indicadores de susceptibilidad a sequía y de eficiencia del rendimiento. Medellín de Bravo, Ver. 2007.**

Genotipo	Riego (kg ha <sup>-1</sup> )	Sequía (kg ha <sup>-1</sup> )	Promedio (kg ha <sup>-1</sup> )	Reducción (%)	ISS <sup>†</sup>	MG <sup>††</sup>	IER <sup>†††</sup>
ICTA JU-97-1	1029	381	705	73.0	0.92	626	1.01
ELS-15-55	1013	434 *	723	57.2	0.83	663	1.13
DOR-667	1306	463 *	884 *	64.5	0.94	778	1.56
ELS-11-37	1221	345	783 *	71.7	1.04	649	1.08
NGO 99054	946	213	580	77.5	1.13	449	0.52
82L-17-80	1149	369	759 *	67.9	0.99	651	1.09
NGO 99038	1251	143	697	88.6	1.29	423	0.46
NI/N8025-20-1	868	226	547	74.0	1.07	443	0.50
NGO 99055	1167	289	728 *	75.2	1.09	581	0.87
NGO 17-99	1251	529 *	890 *	57.7	0.84	813	1.70
‘Negro Jamapa’	1069	280	674	73.8	1.07	547	0.77
DOR-454	891	309	600	65.3	0.95	525	0.71
DOR-448	1173	424 *	798 *	63.8	0.93	705	1.28
NGO 99176	1129	257	693	77.2	1.12	539	0.75
‘Negro INIFAP’	1238	510 *	874 *	58.8	0.85	795	1.63
‘Negro Tacaná’	1129	398	763 *	64.7	0.94	670	1.16
<b>Promedio</b>	1114.4 *	348.1	731.1	68.8	1.0	616	1.0
<b>CV (%)</b>	15.78	20.39	18.34				
<b>DMS (0.05)</b>		118.38	166.20				

<sup>†</sup> Índice de Susceptibilidad a Sequía. <sup>††</sup> Media Geométrica. <sup>†††</sup> Índice de Eficiencia Relativa.

\*Genotipos estadísticamente superiores, según la Diferencia Mínima Significativa (0.05).

El peso de semilla estuvo correlacionado con el rendimiento de grano, tanto en riego ( $r = 0.83^{**}$ ) como en sequía ( $r = 0.88^{**}$ ), y con el número de semillas por vaina en esta última condición ( $r = 0.78^{**}$ ). Estos coeficientes de correlación indican que en ambas condiciones de humedad hubo una relación directamente proporcional entre el peso de semilla y el rendimiento de grano, mientras que ante condiciones restrictivas de humedad el menor número de semillas por vaina redujo el rendimiento de grano.

### CONCLUSIONES

ELS-15-55, NGO 17-99 y 'Negro INIFAP' fueron los genotipos con mayor tolerancia al estrés por sequía, mientras que NGO 99038, NGO 99054 y NGO 99176 fueron los más susceptibles. NGO 17-99, 'Negro INIFAP' y DOR-667 tuvieron la mayor eficiencia en el rendimiento de grano bajo condiciones de riego y sequía. En ambas condiciones de humedad el rendimiento se incrementó por un mayor peso de semilla, mientras que en sequía la cantidad de semillas por vaina afectó más al rendimiento de grano.

### BIBLIOGRAFÍA

- Abebe A, M A Brick, R A Kirkby (1998) Comparison of selection indices to identify productive dry bean lines under diverse environmental conditions. *Field Crops Res.* 58:15-23.
- Abebe A S, M A Brick (2003) Traits associated with dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) productivity under diverse soil moisture environments. *Euphytica* 133:339-347.
- Acosta G J A, E Acosta, S Padilla, M A Goytia, R Rosales, E López (1999) Mejoramiento de la resistencia a la sequía del frijol común en México. *Agron. Mesoam.* 10:83-90.
- De Allende A G, M M Rivera de L, R Rosales S, M G Acero G, N Mayek-Pérez (2006) Calidad bioquímica del frijol cultivado en distintas condiciones de humedad del suelo. *Inv. y Ciencia* 14:12-18.
- Díaz P G, J A Ruiz C, M A Cano G, V Serrano A, G Medina G (2006) Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de Veracruz (Período 1961 - 2003). Libro Técnico Núm. 13. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 292 p.
- Fisher R A, R Maurer (1978) Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Austr. J. Agric. Res.* 29:897-912.
- Frahm M, J C Rosas, N Mayek, E López, J A Acosta, J D Kelly (2003) Resistencia a sequía terminal en frijol negro tropical. *Agron. Mesoam.* 14:143-150.
- García E (1987) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 130 p.
- Graham R D (1984) Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Adv. Plant Nutr.* 1:57-102.
- López-Collado C J (1998) Interpretación de los Resultados de los Análisis Químicos de Suelos Agrícolas. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. 45 p.
- López S E, E N Becerra L, O Cano R, V O López G (2002) Detección de líneas y variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) con resistencia múltiple a enfermedades en el trópico húmedo de México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 20:193-199.
- López S E, O H Tosquy V, B Villar S, E N Becerra L, F J Ugalde A y J Cumpián G (2006) Adaptación de genotipos de frijol resistentes a enfermedades y a suelos ácidos. *Rev. Fitotec. Mex.* 29:33-39.
- Mayek P N, C López C, E López S, J Cumpián G, I C Joaquín T, J S Padilla R, J A Acosta G (2003) Effect of *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. on grain yield of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and its relationship with yield stability parameters. *Rev. Mex. Fitopatol.* 21:168-175.
- Nielsen D C, N O Nelson (1998) Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. *Crop Sci.* 38:422-427.
- Rao I M (2001) Role of physiology in improving crop adaptation to abiotic stresses in the tropics: The case of common bean and tropical forages. *In: M Pessaraki (ed). Handbook of Plant and Crop Physiology.* Marcel Dekker, Inc., New York, USA. pp: 583-613.
- Rosales Serna R, P Ramírez Vallejo, J A Acosta Gallegos, F Castillo González, J D Kelly (2000) Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. *Agrociencia* 34:153-165.
- Samper C, M W Adams (1985) Geometric mean of stress and control yield as a selection criterion for drought tolerance. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 28:53-54.
- SAS Institute (1999) SAS Online Doc. Versión 8. [CD-ROM computer file]. Cary, NC. USA.
- SAGARPA (2005) Anuarios Estadísticos de la Producción Agrícola. Servicio de Información y Estadística Agropecuaria y Pesquera. México, D. F.
- Ugalde A F J, E López S, O H Tosquy V, J A Acosta G (2004) Producción Artesanal de Semilla de Frijol - Municipal (PASF - Municipal), Método Ágil de Transferencia de Tecnología de Variedades para Elevar la Productividad del Cultivo en Veracruz. Folleto Técnico Núm. 37. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, México. 21 p.
- White J W, S P Singh (1991) Breeding for adaptation to drought. *In: Common Beans: Research for Crop Improvement.* A van Schoonhoven, O Voysest (eds). CABI-CIAT. Cali, Colombia. pp:501-560.