

COMPARACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO EN VARIETADES DE FRIJOL EN CONDICIONES DE ACIDEZ Y HUMEDAD RESIDUAL DEL SUELO EN EL SUR DE VERACRUZ

Comparison of Yield Components in Bean Varieties Grown Under Restrictions of Soil of Acidity and Residual Soil Moisture in Southern Veracruz

Aurelio Morales Rivera¹, Cándido López Castañeda^{1‡}, Josué Kohashi Shibata², Salvador Miranda Colín¹ y Antonio García Esteva²

¹ Programa de Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.

[‡] Autor para responsable (clc@colpos.mx)

² Programa de Postgrado en Botánica. Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.

RESUMEN

El frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) se cultiva en suelos ácidos (pH<5) con humedad residual en el sur del estado de Veracruz, México. El cultivo se realiza en unas 6600 ha al final de la temporada de lluvias a mediados de septiembre o principios de octubre. La humedad residual, aunado a la acidez del suelo frecuentemente afectan el periodo de formación de la semilla, reduciendo el rendimiento. El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar variedades de frijol de tipo III en cuanto a su rendimiento de semilla y sus componentes, cultivadas bajo restricciones de humedad residual y acidez del suelo, y altas temperaturas en el ciclo otoño-invierno 2012-2013, en el Municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Se emplearon seis variedades de testa de color negro, seis del tipo 'Flor de Mayo' y una del tipo 'Flor de Junio'. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental se constituyó de cinco surcos de 5 m de longitud y 0.8 m de separación. Se fertilizó con una dosis de 40-40-00. Las variedades "Negro Veracruz", "San Andrés", "Negro Cotaxtla" y "Flor de Junio Marcela", exhibieron mayor rendimiento de semilla, vainas por m² y peso de 200 semillas, altura de planta y menor biomasa aérea final que las demás. El mayor rango de variabilidad genética entre las variedades se observó para la biomasa aérea final y altura de planta. La respuesta en rendimiento y sus componentes sugiere que algunas variedades de testa negra han desarrollado mecanismos de tolerancia a la acidez, restricción de humedad residual del suelo y altas temperaturas durante la floración y formación de la semilla, que les permiten producir altos rendimientos

a pesar de estar sometidas a estrés ambiental. La variedad de Valles Altos ("Flor de Junio Marcela"), también mostró que podría tener buena adaptación a estas condiciones.

Palabras clave: biomasa aérea final; índice de cosecha; vainas por m²; tamaño de semilla; altura de planta.

SUMMARY

The common black bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) is grown in acid soils (pH<5) under residual soil moisture in the southern region of the State of Veracruz (Mexico). The crop is planted in approximately 6600 ha at the end of the rainy season in either September or October. Residual soil moisture and soil acidity frequently coincide with the seed formation period, reducing seed yield. This research work was conducted to characterize a group of common bean varieties with growth habit type III in terms of its seed yield and yield components under restrictions of residual soil moisture and soil acidity in high temperature conditions. Six varieties of black seed coat, six cultivars of the 'Flor de Mayo' type and one cultivar of the 'Flor de Junio' type were included. The experiment was conducted in the 2012-2013 autumn-winter season in the Municipality of Juan Rodriguez Clara, Veracruz. A complete randomized block design with four replicates was used; plots were five rows 5 m long and 0.8 m wide. Fertilization rate was 40-40-00. The varieties "Negro Veracruz", "San Andres", "Negro Cotaxtla 91" and "Flor de Junio Marcela" showed higher seed yield, pods per m², 200 seed-weight and

plant height, and they had lower final shoot biomass than the other cultivars. The range of genetic variability among varieties for final shoot biomass and plant height was broader than that for the other plant traits. The observed crop response in seed yield and its components suggests that some black seed coat varieties have developed mechanisms of tolerance to soil acidity, residual soil moisture, and heat stress during flowering and seed formation that allow them to produce high seed yields in spite of environmental stress. The variety “Flor de Junio Marcela” also showed potentially good adaptation to these harsh environments.

Index words: *final shoot biomass; harvest index; pods per m²; seed size; plant height.*

INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es después del maíz, el cultivo de temporal o secano más importante en México, con una superficie sembrada promedio anual de 1.8 millones ha (SAGARPA, 2014). En el estado de Veracruz, el frijol negro se cultiva en alrededor de 20 000 ha en el ciclo otoño-invierno, dependiendo de la humedad residual almacenada en el perfil del suelo durante el periodo de lluvias, frecuentemente con problemas de estrés hídrico terminal. De las 20 000 ha, una tercera parte (6600 ha) se establece en suelos con problemas de acidez (pH<5), caracterizados por un bajo contenido de materia orgánica (Cadahia, 1998).

El rendimiento de semilla se puede analizar separándolo en sus componentes para determinar su contribución relativa (Kohashi-Shibata, 1996).

La acidez en el suelo y la sequía provocan estrés y consecuente disminución del rendimiento. Dicha disminución depende de: la severidad del estrés, su duración y la fase fenológica en la cual se presente.

En condiciones de acidez del suelo como las que prevalecen en el sur de Veracruz, se ha determinado que el rendimiento de semilla de frijol puede aumentar hasta 44% con la aplicación de 1.25 Mg ha⁻¹ de dolomita [partículas de 0.15 mm de diámetro con 74% de CaCO₃ y 25% de MgCO₃], 30 días antes de la siembra en suelos con pH de 4.3, confirmando la sensibilidad del frijol a la acidez del suelo (Tosquy-Valle *et al.*, 2008). En estas condiciones las deficiencias nutrimentales de la planta ocasionadas por la lixiviación constante de Ca, Mg y K (Zetina-Lezama *et al.*, 2002); la disponibilidad baja de fósforo (Fragoso *et al.*, 2005) y la concentración

alta de Al intercambiable (Zetina-Lezama *et al.*, 2002), también pueden reducir severamente el rendimiento de frijol (Taiz y Zeiger, 2010).

En ambientes que dependen de la humedad almacenada en el suelo después de la temporada de lluvias, como suele ocurrir en el sur de Veracruz, las plantas de frijol pueden experimentar diferentes niveles de estrés hídrico que cuando coinciden con la antesis y el periodo de formación de la semilla o llenado del grano, pueden reducir el rendimiento desde 20 a 100 %, dependiendo de la duración y la intensidad de la sequía en el suelo (López-Salinas *et al.*, 2011). La variabilidad en cantidad y distribución de la lluvia en el periodo septiembre-diciembre en el ciclo otoño-invierno, puede causar problemas de sequía para el frijol; la lluvia normal mensual en este periodo en el municipio de Juan Rodríguez Clara, representa sólo el 38% de la precipitación anual total (1408 mm, promedio de 52 años) y la cantidad de lluvia registrada en el mismo periodo, disminuye 35, 65 y 80% en los meses de octubre, noviembre y diciembre con respecto a septiembre (SMN, 2010), ocasionando problemas moderados a severos de sequía; estas condiciones de deficiencias hídricas pueden afectar hasta 30 % de los Municipios del sur de Veracruz, en el ciclo otoño-invierno (SMN, 2015).

La reducción en la precipitación se refleja en la baja humedad del suelo, sobretodo en el estrato de suelo más próximo a la superficie, donde se produce el 50% de la densidad de raíces y donde se lleva a cabo la mayor proporción de absorción de agua y nutrientes (Halterlein, 1983). Por lo tanto, las siembras de frijol que dependen de la humedad residual en el ciclo otoño-invierno, están expuestas a sequía durante la floración y formación de las vainas y semillas, deficiencias hídricas que pueden reducir significativamente la biomasa aérea, índice de cosecha, peso o tamaño de la semilla y rendimiento de semilla (Muñoz-Perea *et al.*, 2006), además del número de vainas y semillas normales por m² (Barrios-Gómez *et al.*, 2011a).

El frijol en general está adaptado a condiciones climáticas frescas, temperaturas > 30 °C durante el día o > 20 °C durante la noche, reducen el rendimiento de semilla; en consecuencia, el desarrollo de germoplasma mejorado con tolerancia a condiciones de temperatura variable en el campo, es un objetivo de largo plazo en el mejoramiento de la tolerancia a calor en frijol (Porch, 2006). No obstante, se han determinado algunos índices como el de estrés térmico, que se

basa en la medición de la temperatura de las hojas (Burke *et al.*, 1990), para la búsqueda de genotipos que disminuyan la temperatura de sus hojas al mantener alta conductancia estomática y transpiración; estos caracteres fisiológicos se relacionan con mayor absorción de humedad y sistema radical profundo, que podrían ser características ventajosas para las plantas en suelos profundos y disponibilidad de humedad en el subsuelo (Reynolds *et al.*, 2001). Una posibilidad de aumentar el rendimiento en ambientes con suelos ácidos y deficiencias hídricas acompañadas de altas temperaturas, deberá considerar la utilización de las características de adaptación que poseen los materiales nativos de la región; es probable que estos materiales hayan desarrollado mecanismos de tolerancia a: 1) la sequía terminal y altas temperaturas durante la floración y formación del rendimiento, y 2) la acidez del suelo.

El objetivo del presente estudio fue caracterizar a dos grupos de variedades de frijol del tipo III, uno con testa de color negro y otro del tipo 'Flor de Mayo (FM)/Flor de Junio (FJ)', con relación a sus componentes del rendimiento de semilla, creciendo en condiciones de acidez del suelo y sequía terminal en el ciclo otoño-invierno en el sur de Veracruz, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El experimento se realizó en condiciones de campo en el ciclo de otoño-invierno 2012-2013, en el Campo Experimental del CBTA 85 (Centro Bachillerato Tecnológico Agropecuario Número 85),

en el municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz, México (18° 00' N, 95° 24' O y una altitud de 140 m) (García, 1988). En adelante, dicho campo será referido como Rodríguez Clara. El clima de la región es cálido subhúmedo (AWo), con temperatura y precipitación media anual de 24.5 °C y 1462 mm, respectivamente (García, 1988). El suelo utilizado para el experimento es franco-arenoso en el perfil de 0 a 90 cm; en el estrato de 0-20 cm mostró valores de humedad ligeramente más altos en presiones equivalentes a la capacidad de campo (CC), porcentaje de marchitamiento permanente (PMP), pH, contenido de fósforo, potasio y capacidad de intercambio catiónico que los demás estratos; por el contrario la densidad aparente y el contenido de materia orgánica y nitrógeno fueron más altos en los estratos de 20-40, 40-60 y 60-90 cm que en el estrato de 0-20 cm; la conductividad eléctrica en los estratos de 20-40 y 40-60 cm fue similar a la del estrato de 0-20 cm y menor que la observada en el estrato de 60-90 cm (Cuadro 1). Fue notorio observar que un pH ácido (< 5.0) domina en todos los estratos del suelo, por lo que se clasifica como un suelo ácido del tipo cambisol dístico desarrollado en llanura, con pendiente de 4% y relieve ondulado (Zetina-Lezama *et al.*, 2005). Las muestras para los análisis de laboratorio se colectaron el 22 de septiembre de 2012, en dos sitios representativos del área utilizada para establecer el experimento.

Material Genético

Se emplearon variedades de frijol negro: tres locales criollas y dos liberadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) que se recomiendan para siembras en

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo utilizado en el experimento de campo.

Profundidad	Características										
		Físicas			Químicas						
cm	Textura	DA	CC	PMP	pH	CE	MO	N	P	K	CIC
0-20	Franco-arenoso	1.39	15.0	6.0	4.69	0.07	2.1	0.12	33.0	0.08	13.5
20-40	Franco-arenoso	1.43	13.0	5.0	4.52	0.07	2.6	0.13	2.0	0.05	9.5
40-60	Franco-arenoso	1.43	13.0	5.0	4.42	0.07	2.2	0.11	0.50	0.05	8.4
60-90	Franco-arenoso	1.43	13.0	5.0	4.32	0.09	1.8	0.09	0.00	0.05	3.5

Textura, método del hidrometro de Bouyoucos; DA = densidad aparente, método de la probeta (g cm^{-3}); CC = capacidad de campo (%), olla de presión equivalente a 0.1 kPa; PMP = porcentaje de marchitamiento permanente (%), membrana de presión equivalente a 15 kPa; pH, medidor electrónico de pH; C.E. = conductividad eléctrica (mmhos cm^{-1}), método del puente de conductividad eléctrica; MO = materia orgánica (%), método de Walkley y Black; N = nitrógeno total (%), método de Kjeldahl, semi-micro; P = fósforo (ppm), método de Olsen; K = potasio (ppm), método de Olsen; CIC = capacidad de intercambio catiónico ($\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$), método de extracción de cationes intercambiables con $\text{NH}_4\text{OAc } 1\text{N pH } 7$.

condiciones de secano y humedad residual en el ciclo invierno-primavera (López-Salinas *et al.*, 2011), y la variedad “Negro Michigan”. Además, cinco variedades comerciales del tipo ‘Flor de Mayo’ (FM) y una del tipo ‘Flor de Junio’ (FJ) liberadas por el INIFAP, que se recomiendan en siembras bajo riego y secano con buena precipitación en la región templada sub-húmeda (Rosales *et al.*, 2004). Adicionalmente, se incluyó la variedad criolla “Michoacán 128” tipo FM procedente del estado de Michoacán. Todas las variedades fueron de hábito indeterminado tipo III (CIAT, 1983) (Cuadro 2).

Diseño Experimental y Manejo del Cultivo

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones; la unidad experimental consistió de cinco surcos de 5 m de longitud y 0.8 m de distancia entre surcos. La siembra se realizó el 22 de septiembre de 2012 en suelo húmedo. Se estableció una densidad de población equivalente a 250 000 plantas ha⁻¹; se aplicó una dosis de fertilización de 40-40-0 a los 10 d después de la siembra. Las malezas de hoja ancha y gramíneas, se controlaron con la aplicación de los herbicidas selectivos Fomesafén® y

Cuadro 2. Variedades de frijol de tipo III utilizadas en el experimento.

Variedad	Año de liberación o de colecta [†]	Días a floración [†]
Bola (Criollo, negro) [‡]	2012	37
Tesechoacán (Criollo, negro) [‡]	2012	35
San Andrés (Criollo, negro) [‡]	2012	36
Negro Veracruz [§]	1980	50-55
Negro Cotaxtla91 [§]	1991	46-50
Negro Michigan	-	40-45
Flor de Mayo Sol [§]	1996	45-51
Flor de Mayo Bajío [§]	1989	45-47
Flor de Mayo Noura [§]	2006	47-50
Flor de Mayo RMC [§]	1981	44-55
Flor de Mayo M38 [§]	1994	50-57
Michoacán 128 (Criollo) [¶]	1974	32
Flor de Junio Marcela [§]	1997	55-61

[†]Información de diversas fuentes. [‡] Germoplasma criollo colectado con agricultores de las localidades de Tesechoacán y Solerilla de los municipios de Rodríguez Clara y Ciudad Isla, estado de Veracruz. [§]Variedades liberadas por el INIFAP. [¶]Material criollo proveniente del estado de Michoacán, proporcionado por el Dr. Salvador Miranda Colín, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Fluazifop-butil® a una dosis de 0.75 L a los 30 días después de la siembra (dds). Se detectó la presencia de Doradilla (*Diabrotica balteata*), la cual se controló con la aplicación de Cipermetrina® a una dosis de 0.2 L ha⁻¹ a los 30, 44, 51 y 58 dds.

Variables Registradas

Las variables fenológicas se registraron a partir de la siembra, siguiendo la metodología propuesta por CIAT(1983): días a inicio de floración (IF), días a 50% de floración (F) y días a madurez fisiológica (MF). Se midió la temperatura del dosel del cultivo (Tc, °C) al IF, F y a la mitad del periodo de formación de la semilla (56 dds) entre las 13:00 y 15:00 h, utilizando un termómetro infrarrojo (Modelo Raytek Spectrum Technologies, Inc.) a una distancia de 0.4 m del dosel del cultivo y en ángulo de 45°, en días con alta radiación fotosintéticamente activa (>1800 μmol m⁻² s⁻¹) y velocidad del viento < 5 km h⁻¹. Adicionalmente, se registró la altura de la planta (AP) al medir la longitud total del vástago principal sobre la superficie del suelo en cinco plantas de cada unidad experimental. Una vez alcanzada la madurez fisiológica se cosecharon las plantas en cada unidad experimental, para determinar el rendimiento de semilla (RS, g m⁻²) y sus componentes: biomasa aérea final (BM, g m⁻²), número de vainas normales (VN por m²) y peso de 200 semillas (P200S, g). También, se calculó el índice de cosecha (IC, %) al dividir el rendimiento de semilla entre la biomasa aérea final (IC = RS/BM × 100).

Datos Meteorológicos

La temperatura máxima y mínima (°C) diaria del aire se registró con un dispositivo electrónico (Measurement Computing Corporation, Modelo USB-500 Data logger) y la precipitación pluvial (mm) con un pluviómetro de acumulación semanal (Honeywell, Modelo TC152), colocados en el sitio en el que se realizó el experimento.

Contenido Hídrico del Suelo

El contenido hídrico edáfico se determinó semanalmente, al obtener muestras de suelo en las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm, con una barrena del tipo Veihmeyer. Las muestras de suelo se llevaron al laboratorio, para registrar su peso

húmedo (PHS, g) y peso seco (PSS, g), después de secar las muestras en una estufa (GCA Corporation, modelo 17) a una temperatura de 110 °C durante 48 h. El contenido de humedad aprovechable (HA, %) se calculó con base en el peso seco del suelo, mediante el método gravimétrico [$HA = ((PHS-PSS)/PSS) 100$].

Análisis Estadístico

Los datos se analizaron estadísticamente (ANDEVA), las medias se compararon con la prueba de la diferencia mínima significativa ($P < 0.05$), aplicada de manera particular a cada uno de los dos grupos de variedades ya referidas. Se utilizó el paquete SAS, versión 9.0 para Windows (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura, Lluvia, Humedad y Acidez del Suelo

La temperatura media mínima diaria del aire durante el experimento fue 20 y la máxima 32 °C; temperaturas similares a las reportadas para el municipio de Rodríguez-Clara, Veracruz (temperatura máxima normal promedio anual = 30.7 °C y mínima = 20.5 °C) (SMN, 2010). Durante el periodo de floración y formación de la semilla, la temperatura máxima del aire excedió los 30 °C; la temperatura medida en el dosel del cultivo fue 31.4, 32.3 y 34 °C en promedio de todos los genotipos al inicio de la floración (30 dds), en la floración (35 dds) y a la mitad del periodo del llenado de semilla (56 dds); es decir, la temperatura del dosel del cultivo aumentó 1.4, 2.3 y 4 °C conforme se incrementó la temperatura máxima del aire en las diferentes etapas fenológicas sucesivas de las plantas. En estas condiciones las plantas experimentaron un estrés severo causado por las deficiencias hídricas del suelo y la temperatura máxima del aire (Figura 1); las temperaturas del dosel del cultivo aumentan en relación a la temperatura máxima del aire, cuando la transpiración o evaporación de su superficie se reduce (Reynolds *et al.*, 2001).

La precipitación pluvial acumulada durante el experimento fue 513 mm; el 60% de la lluvia se presentó entre la siembra y la floración, y el restante 40% se distribuyó durante el periodo de formación de la semilla o llenado del grano (Figura 1); la cantidad y patrón de distribución de la lluvia durante el experimento fue similar al observado en años anteriores en la región

sur de Veracruz (Tosquy-Valle *et al.*, 2008). La parte final del periodo de llenado de semilla coincidió con una drástica disminución en la cantidad de lluvia (Figura 1). Una distribución irregular de la lluvia y una cantidad insuficiente para satisfacer las necesidades hídricas del frijol, sobretodo durante la floración, se reflejó en un bajo contenido de humedad en el suelo en condiciones de secano con niveles de humedad inferiores al porcentaje de marchitamiento permanente en los estratos de 0-20 y 20-40 cm (Barrios-Gómez *et al.*, 2011b).

El contenido hídrico del suelo alcanzó un valor cercano a la capacidad de campo (CC) al momento de la siembra (22 de septiembre) en todas las profundidades del suelo; dicho contenido de agua fue disminuyendo conforme transcurrió el ciclo del cultivo (Figura 2). La reducción en el contenido de humedad empezó a ser notorio al inicio de la floración (30 dds), sobretodo en las capas de suelo más cercanas a la superficie (Figuras 2a y 2b), a pesar de que en esas fechas se registró un alto nivel de lluvia (130.4 mm). Esta disminución en el contenido de humedad pudo deberse a las altas temperaturas máximas del aire ($> 35^\circ$) prevalecientes durante el día, al inicio de la floración cuando las plantas habían alcanzado un crecimiento del área foliar suficiente para cubrir el espacio entre surcos; estas condiciones de temperatura durante el día y el desarrollo del área foliar alcanzado por el cultivo pueden reflejarse en altas tasas transpiratorias (Reynolds *et al.*, 2001). El contenido de humedad en

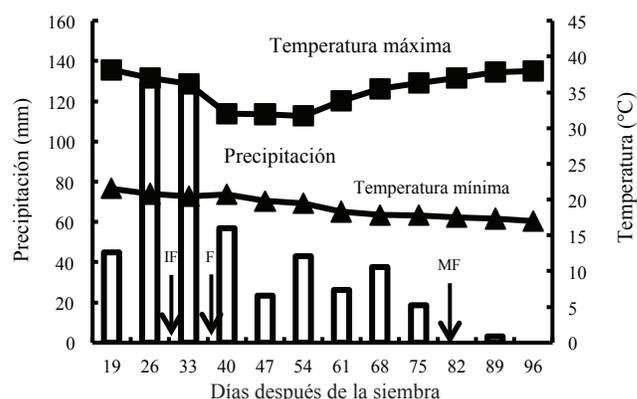


Figura 1. Temperatura máxima y mínima del aire en promedio semanal y precipitación semanal acumulada durante el experimento en condiciones de secano. Rodríguez Clara, Veracruz, ciclo otoño-invierno 2012-2013. (IF = inicio de floración; F = 50% de floración; MF = madurez fisiológica, promedio de todas las variedades).

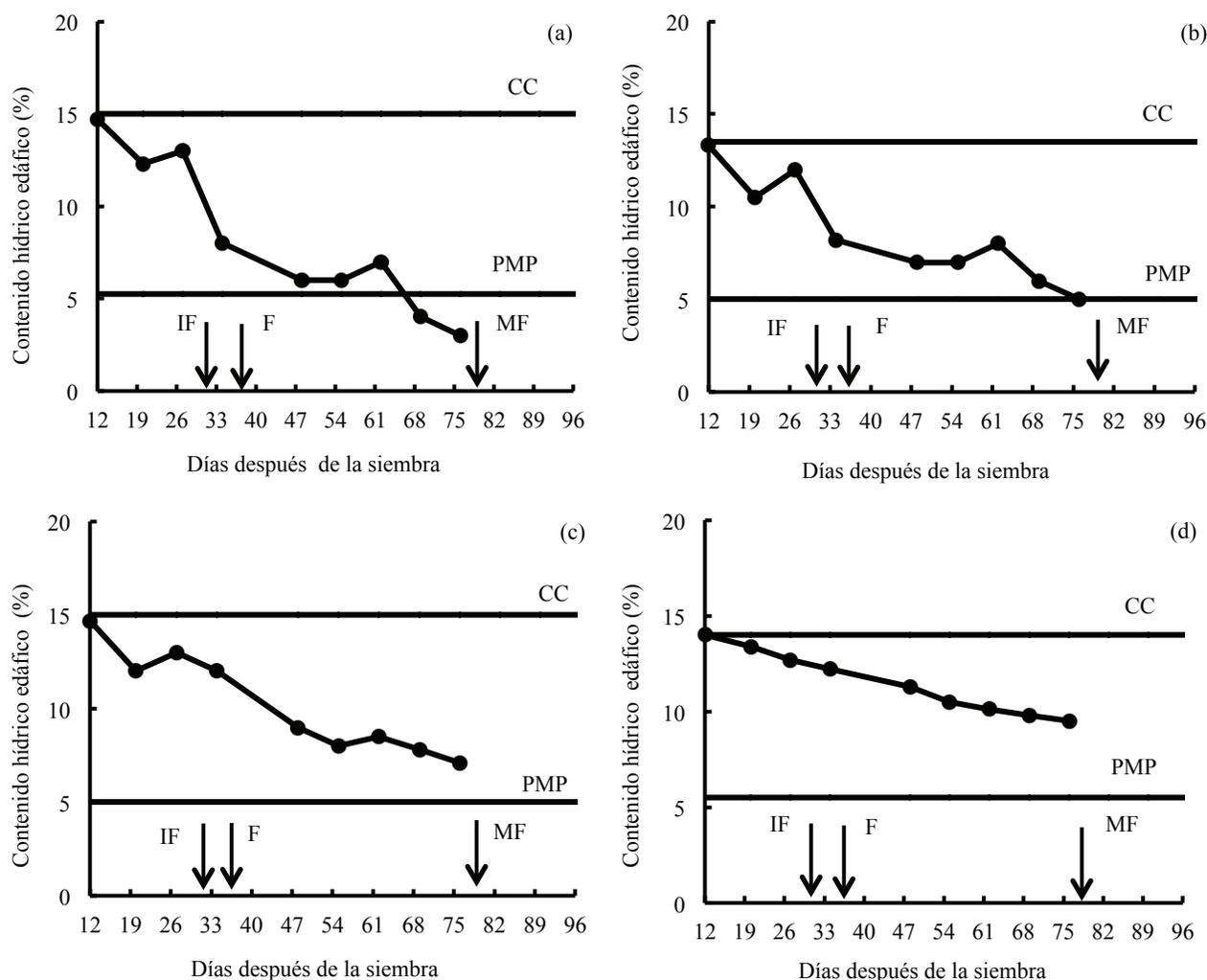


Figura 2. Contenido de humedad edáfica determinado periódicamente en los estratos de 0-20 cm (a), 20-40 cm (b), 40-60 (c) y 60-80 cm (d) durante el experimento en condiciones de sequo. Rodríguez Clara, Veracruz, ciclo otoño-invierno 2012-2013. (IF = inicio de floración; F = 50 % de floración; MF = madurez fisiológica, promedio de todas las variedades).

el suelo después de la floración, continuó disminuyendo hasta alcanzar niveles cercanos al porcentaje de marchitamiento permanente en las profundidades de 0-20 y 20-40 cm (Figura 2a y 2b), donde se concentra la mayor proporción del sistema radical de las plantas (Halterlein, 1983).

Las plantas de frijol, además de estar sujetas a estrés hídrico causado por la sequía y las altas temperaturas del aire, también sufrieron estrés por la acidez del suelo al crecer bajo condiciones de pH ácido que presentó un valor de 4.7 en el estrato de 0-20 cm hasta 4.3 en el estrato inferior de 60-90 cm, estas condiciones de acidez edáfica estuvieron acompañadas de una disminución en el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y capacidad de intercambio catiónico, al ir del

estrato de 0-20 cm al estrato de 60-90 cm (Cuadro 1). Esta reducción en el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en los estratos inferiores del suelo, es debida a los procesos de lixiviación y arrastre que se acentúan durante la estación de lluvias (Brady y Weil, 1999).

Fenología

Al comparar las variedades con testa de color negro con las del tipo 'FM/FJ', se observó que las primeras tuvieron en promedio significativamente mayor número de días a inicio de floración, floración y madurez fisiológica, y mayor longitud del intervalo floración-madurez fisiológica que las variedades del tipo 'FM/FJ' (Cuadro 3). Las variedades "Bola",

Cuadro 3. Días al inicio de la floración (IF), floración (F), madurez fisiológica (MF) e intervalo floración-madurez fisiológica (F-MF) de frijol en condiciones de secano. Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013.

Variedad	IF	F	MF	F-MF
Bola (Criollo, negro) [†]	33	37	86	49
Tesechoacán (Criollo, negro) [†]	31	35	71	36
San Andrés (Criollo, negro) [†]	30	36	80	44
Negro Veracruz	31	37	83	46
Negro Cotaxtla 91	34	37	85	48
Negro Michigan	34	38	86	48
Media de variedades con testa de color negro	32	37	82	45
Flor de Mayo Sol	25	30	71	41
Flor de Mayo Bajío	27	32	71	39
Flor de Mayo Noura	31	36	74	38
Flor de Mayo RMC	26	31	72	41
Flor de Mayo M38	31	36	69	33
Michoacán 128 (Criollo) [‡]	25	32	71	39
Flor de Junio Marcela	30	32	78	46
Media de variedades del tipo 'FM/FJ'	28	33	72	40
Media general	30	35	77	42
Diferencia mínima significativa ($P \leq 0.05$) [§]	6	4	10	8
Diferencia mínima significativa ($P \leq 0.05$) [¶]	3	2	6	3

[†]Germoplasma criollo colectado con agricultores de las localidades de Tesechoacán y Solerilla de los municipios de Rodríguez Clara y Ciudad Isla, estado de Veracruz. [‡]Material criollo proveniente del estado de Michoacán, proporcionado por el Dr. Salvador Miranda Colín, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. [§]Diferencia mínima significativa para la comparación entre genotipos; [¶]Diferencia mínima significativa para la comparación entre la media de las variedades con testa de color negro contra la media de las variedades del tipo 'FM/FJ'. Las comparaciones se realizan en sentido vertical para cada variable analizada.

“Tesechoacán”, “San Andrés”, “Negro Veracruz”, “Negro Cotaxtla 91” así como las variedades “FM Noura”, “FM M38” y “FJ Marcela” requirieron significativamente mayor número de días a inicio de floración; “Bola”, “Tesechoacán”, “San Andrés”, “Negro Veracruz”, “Negro Cotaxtla 91”, “FM Noura” y “FM M38” requirieron significativamente mayor número de días a floración, y “Bola”, “Tesechoacán”, “San Andrés”, “Negro Veracruz” y “Negro Cotaxtla 91” requirieron significativamente mayor número de días a madurez fisiológica que todos los demás cultivares (Cuadro 3). El intervalo floración-madurez fisiológica fue significativamente más largo para “Bola”, “San Andrés”, “Negro Veracruz”, “Negro Cotaxtla 91”, “FM Sol”, “FM RMC” y “FJ Marcela” (Cuadro 3). La duración de las etapas fenológicas: inicio de floración (30 d), floración (35 d) y madurez fisiológica (77 d) e intervalo floración-madurez fisiológica (IF-MF=42 d) en el presente estudio fue significativamente más corta que la observada para las variedades del tipo ‘FM/FJ’ sometidas a riegos suplementarios en Celaya, Gto.,

México (IF=48, MF=97 e IF-MF=49 d) y riego completo durante el ciclo de las plantas (IF=56, MF=114 e IF-MF=58 d) y secano con problemas de sequía durante el ciclo biológico (IF=53, MF=109 e IF-MF=56 d) en Montecillo, Texcoco, Edo. de México (Barrios-Gómez *et al.*, 2010). Estas diferencias fenológicas se debieron principalmente al régimen de temperaturas máximas y mínimas del aire; en Rodríguez Clara la temperatura máxima (32 °C) y mínima promedio (20 °C) fueron más altas que las registradas en Celaya (28.1 y 11.9 °C) y Montecillo (31.7 y 5.3 °C) (Barrios-Gómez *et al.*, 2010), siendo la temperatura mínima durante la noche (Gross y Kigel, 1994), la que jugó un papel mayor en el desarrollo fenológico de las plantas, al reducir la duración de las etapas de desarrollo (Porch, 2006).

Rendimiento de Semilla y sus Componentes

Las variedades con testa de color negro produjeron significativamente mayor peso de la semilla (peso de 200 semillas), índice de cosecha y plantas con mayor

estatura que las variedades del tipo 'FM/FJ'. Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas entre variedades con testa de color negro y tipo 'FM/FJ', en rendimiento de semilla, biomasa aérea final y número de vainas normales por m² (Cuadro 4).

La comparación de variedades en forma individual mostró que "Negro Veracruz", "San Andrés", "Negro Cotaxtla 91" y "FJ Marcela"; "FM RMC", "Negro Veracruz" y "Bola"; "San Andrés"; "San Andrés"; "San Andrés", "Negro Cotaxtla 91", "FJ Marcela" y "FM M38"; "Negro Michigan" y "FJ Marcela"; y "Negro Veracruz"; "San Andrés" y "Negro Cotaxtla 91" tuvieron significativamente mayor rendimiento de semilla, biomasa aérea final, índice de cosecha, número de vainas normales por m², peso de 200 semillas y plantas más altas que todas las demás variedades, respectivamente (Cuadro 4). Las variedades sobresalientes por su alto rendimiento de semilla también fueron sobresalientes en algunos

componentes del rendimiento; las variedades "Negro Veracruz", "San Andrés" y "Negro Cotaxtla 91" con testa de color negro produjeron significativamente rendimientos superiores a 100 g m⁻²; el alto rendimiento de semilla en la variedad "Negro Veracruz", se podría atribuir a mayor acumulación de biomasa aérea final y altura de planta, mientras que el rendimiento de semilla en la variedad "San Andrés" y "Negro Cotaxtla 91" estuvo más relacionado con el índice de cosecha, número de vainas normales por m² y altura de planta, y número de vainas normales por m² y altura de planta (Cuadro 4). Es importante señalar que la variedad de frijol "FJ Marcela", utilizada en siembras de temporal en la región del centro de México (Rosales-Serna *et al.*, 2004), presentó también un rendimiento superior a 100 g m⁻²; el rendimiento de dicha variedad estuvo determinado en gran medida por el número de vainas normales por m² y peso de 200 semillas (Cuadro 4). Otros estudios en frijol negro realizados en la región

Cuadro 4. Rendimiento de semilla (RS), biomasa aérea final (BM), índice de cosecha (IC), número de vainas normales por m² (VN), peso de 200 semillas (P200S) y altura de planta (AP) de frijol en condiciones de secano. Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013.

Variedad	RS	BM	IC	VN por m ²	P200S	AP
	- - - - g m ⁻² - - - -		%		g	cm
Testa de color negro						
Negro Veracruz	116	535	22	372	54	42
San Andrés (Criollo, negro)	113	341	33	514	40	45
Negro Cotaxtla 91	110	393	28	528	41	50
Tesechoacán (Criollo, negro)	82	395	21	351	48	37
Negro Michigan	77	282	27	344	58	41
Bola (Criollo, negro)	69	504	14	358	44	40
Media de variedades con testa de color negro	95	408	23	411	48	43
Flor de Junio Marcela	105	381	28	430	59	34
Flor de Mayo M38	97	528	18	421	47	36
Michoacán 128	95	415	23	329	54	25
Flor de Mayo Sol	87	362	24	287	49	29
Flor de Mayo Bajío	83	455	18	360	42	26
Flor de Mayo Noura	76	351	22	358	37	31
Flor de Mayo RMC	75	632	12	372	35	25
Media de las variedades del tipo 'FM/FJ'	88	446	20	365	46	29
Media general	91	429	22	386	47	35
Diferencia mínima significativa ($P \leq 0.05$) [†]	16	302	3	108	1	8
Diferencia mínima significativa ($P \leq 0.05$) [‡]	9	166	2	59	1	4

[†]Diferencia mínima significativa para la comparación entre genotipos; [‡]Diferencia mínima significativa para la comparación entre la media de las variedades con testa de color negro contra la media de las variedades del tipo 'FM/FJ'. Las comparaciones se realizan en sentido vertical para cada variable analizada.

de Isla, Veracruz, indicaron que el rendimiento de semilla de 16 genotipos evaluados bajo condiciones de humedad residual y suelo con pH de 4.4 en dos tratamientos: con aplicación de 1.2 Mg ha⁻¹ de cal (30 d antes de la siembra) para elevar el pH a 5.5 y sin cal para mantener el pH a 4.4 fue equivalente a 51.4 y 40.7 g m⁻², respectivamente (López-Salinas *et al.*, 2006). Las diferencias entre los rendimientos obtenidos por López-Salinas *et al.* (2006) y el obtenido en el presente trabajo (91 g m⁻²) radican en el germoplasma utilizado; el mejor comportamiento agronómico de las variedades locales “Negro Veracruz” y “Negro Cotaxtla 91”, y la variedad criolla “San Andrés”, permiten suponer que estas variedades han desarrollado mecanismos de tolerancia a: 1) la sequía terminal y altas temperaturas durante la floración y formación del rendimiento, y 2) la acidez del suelo; estos mecanismos podrían ser útiles en la selección de nuevos genotipos más productivos y con mejor adaptación a condiciones de estrés, para la región sur de Veracruz, México.

Por otro lado, los componentes del rendimiento que correlacionaron positiva y significativamente con el rendimiento de semilla fueron el número de vainas normales por m² y la altura de planta; se determinó que la altura de planta o longitud del vástago principal estuvo positiva y significativamente asociada con el número de vainas normales por m² ($r = 0.67$, $P \leq 0.05$, Figura 3a); las variedades con mayor altura de planta

produjeron mayor número de vainas normales por m²; las variedades con testa de color negro: “San Andrés” y “Negro Cotaxtla 91” tuvieron mayor longitud del tallo principal y produjeron más vainas normales por m² que todas las demás variedades (Figura 3a). El número de vainas normales por m² estuvo positiva y significativamente relacionado con el rendimiento de semilla ($r = 0.63$, $P \leq 0.05$, Figura 3b); las variedades con mayor número de vainas por m² produjeron mayor rendimiento de semilla. Las variedades con testa de color negro: “San Andrés” y “Negro Cotaxtla 91” produjeron alto número de vainas normales por m² y tuvieron alto rendimiento de semilla (Figura 3b).

Es interesante considerar que las variedades sobresalientes por su alto rendimiento de semilla: “Negro Veracruz”, “San Andrés” y “Negro Cotaxtla 91”, podrían ser útiles en estudios futuros, en la identificación de los caracteres genéticos, relacionados con el crecimiento de la raíz, que les permiten desarrollar su alta capacidad de adaptación a condiciones de acidez del suelo y sequía. Uno de los aspectos fisiológicos más interesantes, sería investigar si el pH del suelo tiene alguna relación con el pH de la savia de la planta; esto sin duda, ayudaría a explicar el comportamiento sobresaliente de esas variedades en suelos con problemas de acidez y sequía. Así mismo, el mejor entendimiento de las relaciones entre la planta y el suelo, podría contribuir a diseñar técnicas

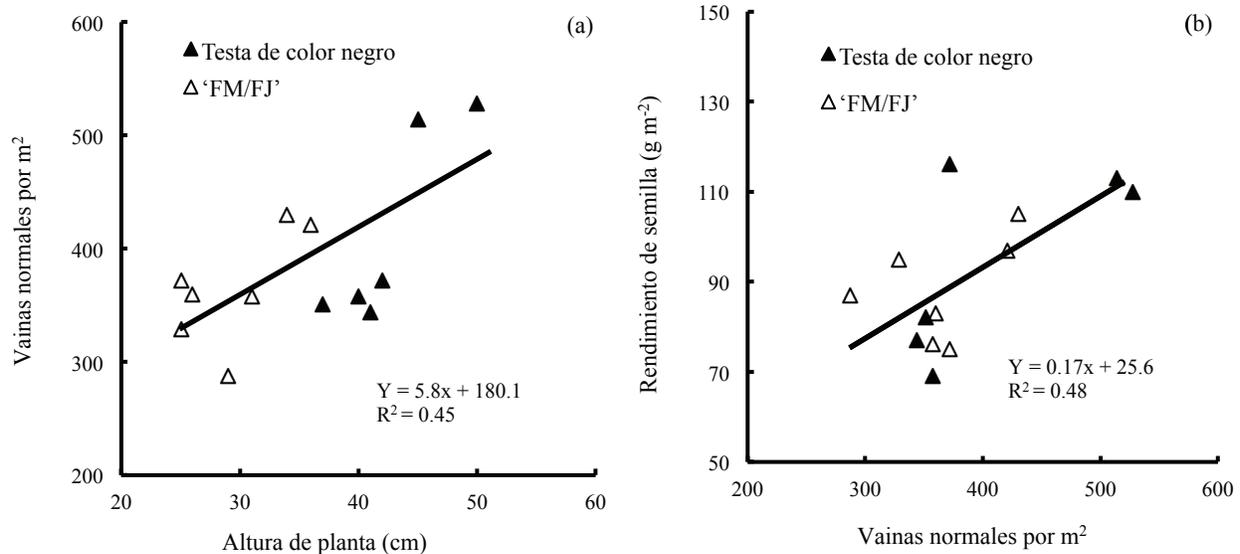


Figura 3. Relación entre altura de planta y número de vainas normales por m² (a), y número de vainas normales por m² y rendimiento de semilla (b), para las variedades de color negro y tipo ‘FM/FJ’ en condiciones de secano. Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013.

más rápidas, prácticas y eficaces, para la selección de genotipos con mejores rendimientos y mejor adaptados a condiciones de estrés del suelo.

CONCLUSIONES

- Las variedades con testa de color negro fueron más tardías y tuvieron mayor longitud del intervalo floración-madurez fisiológica que las variedades del tipo Flor de Mayo/Flor de Junio; las variedades “Bola”, “Tesechoacán”, “San Andrés”, “Negro Veracruz”, “Negro Cotaxtla 91”, así como la variedad “FM Noura” del tipo Flor de Mayo/Flor de Junio mostraron significativamente mayor número de días a inicio de floración, floración y madurez fisiológica, y longitud del intervalo floración-madurez fisiológica que todos los demás cultivares.

- Las variedades con testa de color negro produjeron significativamente mayor peso de 200 semillas, índice de cosecha y plantas más altas que las variedades del tipo Flor de Mayo/Flor de Junio; estas diferencias entre grupos de variedades no se reflejaron en el rendimiento de semilla y biomasa aérea final.

- Las variedades “Negro Veracruz”, “San Andrés” y “Negro Cotaxtla 91”, con testa de color negro y “Flor de Junio Marcela” del tipo Flor de Mayo/Flor de Junio, produjeron significativamente mayor rendimiento de semilla que todas las demás variedades; los componentes del rendimiento en los que estas variedades tuvieron altos promedios fueron biomasa aérea final, índice de cosecha, número de vainas normales por m² y altura de planta.

- La estatura de la planta se relacionó positivamente y significativamente con el número de vainas normales por m² y este componente a su vez estuvo relacionado positivamente y significativamente con el rendimiento de semilla; las variedades con tallos más largos y mayor número de vainas normales por m², produjeron mayor rendimiento de semilla.

LITERATURA CITADA

- Barrios Gómez, E. J, C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, J. A. Acosta-Gallegos, S. Miranda-Colín y N. Mayek-Pérez. 2010. Rendimiento de semilla y sus componentes en frijol Flor de Mayo en el centro de México. *Agrociencia* 44: 481-489.
- Barrios Gómez, E. J, C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, J. A. Acosta-Gallegos, S. Miranda-Colín y N. Mayek-Pérez. 2011a. Avances en el mejoramiento genético del frijol en México por tolerancia a temperatura alta y sequía. *Rev. Fitotec. Mex.* 34: 247-255.
- Barrios Gómez, E. J, C. López-Castañeda y J. Kohashi-Shibata. 2011b. Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo “Flor de Mayo”. *Agron. Costarricense* 35: 131-145.
- Brady, C. N. and R. R. Weil. 1999. *The nature and properties of soils*. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.
- Burke, J. J., J. L. Hatfield, and D. F. Wanjura. 1990. A thermal stress index for cotton. *Agron. J.* 82: 526-530.
- Cadahia, C. 1998. *Fertirrigación (Cultivos hortícolas y ornamentales)*. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1983. *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común. Guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiovisual sobre el mismo tema.* (Serie 04SB-09.03). Cali, Colombia.
- Esquivel Esquivel, G., R. Rosales Serna, P. Pérez Herrera, J. A. Acosta Gallegos, J. M. Hernández Casillas y J. S. Muruaga Martínez. 2004. *Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 5.* INIFAP, CIR-Centro, Campo Experimental Valle de México. Chapingo, México.
- Fragoso, S., E. Martínez-Barajas, S. Vázquez-Santana, J. Acosta y P. Coello. 2005. Respuesta de la soya (*Glycine max*) a la deficiencia de fósforo. *Agrociencia* 39: 303-310.
- García, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F.
- Gross, Y. and J. Kigel. 1994. Differential sensitivity to high temperature of stages in the reproductive development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Res.* 36: 201-212.
- Halterlein, A. J. 1983. Bean. pp: 157-185. *In: I. D. Teare and M. M. Peet (eds.). Crop water relations.* Wiley Pub. New York, NY, USA.
- Kohashi-Shibata, J. 1996. *Aspectos de la morfología y fisiología del frijol Phaseolus vulgaris L. y su relación con el rendimiento.* Instituto de Recursos Naturales, Programa de Botánica. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- López-Salinas, E., O. H. Tosquy-Valle, B. Villar-Sánchez, E. N. Becerra Leor, F. J. Ugalde-Acosta y J. Cumpián Gutiérrez. 2006. Adaptabilidad de genotipos de frijol resistentes a enfermedades y a suelos ácidos. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 33-39.
- López-Salinas, E., O. H. Tosquy-Valle, J. A. Acosta-Gallegos, B. Villar-Sánchez, and F. J. Ugalde-Acosta. 2011. Drought resistance of tropical dry black bean lines and cultivars. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 14: 749-755.
- Muñoz-Perea, C. G., H. Terán, R. G. Allen, J. L. Wright, D. T. Westermann, and S. P. Singh. 2006. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Sci.* 46: 2111-1120.
- Porch, T. G. 2006. Application of stress indices for heat tolerance screening of common bean. *J. Agron. Crop Sci.* 192: 390-394.
- Reynolds, M. P., S. Nagarajan, M. A. Razaque, and O. A. A. Ageeb. 2001. Heat tolerance. pp. 124-135. *In: M. P. Reynolds, J. I. Ortiz-Monasterio, and A. McNab (eds.). Application of physiology in wheat breeding.* CIMMYT. Mexico, D. F.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2014. *Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera, Anuario Estadístico de la Producción Agrícola* (<http://www.sagarpa.gob.mx>) (Consulta: octubre 20, 2015).

- SAS Institute. 2004. The SAS system release 9.0 for Windows. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2010. Comisión Nacional del Agua, Normales Climatológicas (<http://smn.cna.gob.mx>) (Consulta: octubre 20, 2015).
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2015. Comisión Nacional del Agua, Monitor de Sequía en México (<http://smn.cna.gob.mx>) (Consulta: octubre 20, 2015).
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2010. Plant physiology. Sinauer Associates. Sunderland, MA, USA.
- Tosquy-Valle, O. H., E. López-Salinas, R. Zetina-Lezama, F. J. Ugalde-Acosta, B. Villar-Sánchez y J. Cumpián-Gutiérrez. 2008. Selección de genotipos de frijol con adaptación a suelos ácidos. *Terra Latinoamericana* 26: 227-233.
- Zetina-Lezama, R., A. Trinidad-Santos, J. L. Oropeza-Mota, V. Volke-Haller y L. L. Landois-Palencia. 2005. Relación bases intercambiables-rendimiento de maíz en un cambisol distríctico con labranza, encalado y abono verde. *Terra Latinoamericana* 23: 389-398.
- Zetina-Lezama, R., L. Pastrana-Aponte, J. Romero-Mora y J. A. Jiménez-Chong. 2002. Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México. Libro Técnico 10, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional del Golfo Centro-Campos Experimentales Papaloapan y Huimanguillo. Veracruz, México.