



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENETICA

RENDIMIENTO DE SEMILLA Y SUS COMPONENTES EN FRIJOL BAJO CONDICIONES DE ACIDEZ Y SEQUÍA TERMINAL EN EL SUR DE VERACRUZ

AURELIO MORALES RIVERA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2014

La presente tesis titulada: RENDIMIENTO DE SEMILLA Y SUS COMPONENTES EN FRIJOL BAJO CONDICIONES DE ACIDEZ Y SEQUÍA TERMINAL EN EL SUR DE VERACRUZ

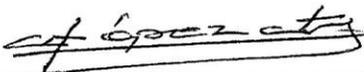
realizada por el alumno: AURELIO MORALES RIVERA

bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

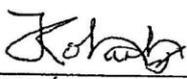
MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENETICA

CONSEJO PARTICULAR

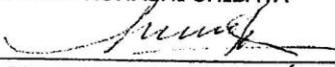
CONSEJERO


DR. CÁNDIDO LÓPEZ CASTAÑEDA

ASESOR


DR. JOSUÉ KOHASHI SHIBATA

ASESOR


DR. SALVADOR MIRANDA COLÍN

ASESOR


M.C. ANTONIO GARCÍA ESTEVA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Enero de 2014

**RENDIMIENTO DE SEMILLA Y SUS COMPONENTES EN FRIJOL BAJO
CONDICIONES DE ACIDEZ Y SEQUÍA TERMINAL EN EL SUR DE
VERACRUZ**

Aurelio Morales Rivera

Colegio de Postgraduados, 2014

RESUMEN

Se estudió la variabilidad en rendimiento de semilla y sus componentes, y producción de biomasa aérea en un grupo de variedades de frijol de color negro, nativas del sur de Veracruz y un grupo del tipo “Flor de Mayo”, introducidas del Altiplano, y la región central de México, en condiciones de acidez edáfica y sequía terminal en el Municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz, en el ciclo otoño-invierno 2012-13. Se incluyeron ocho variedades comerciales liberadas por el INIFAP, un criollo de Michoacán, México, tres variedades criollas con testa de color negro y Negro Michigan. Se utilizó un diseño 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 ancho. Se aplicó una dosis de fertilización de 40-40-00 a los 10 días después de la siembra. Las variedades criollas tuvieron un rendimiento de semilla similar al de las del tipo ‘Flor de Mayo. Negro Veracruz, San Andrés, Negro Cotaxtla y ‘Flor de Junio’ Marcela produjeron el mayor rendimiento; San Andrés y Negro Cotaxtla el mayor número de vainas m⁻²; Negro Michigan y ‘Flor de Junio’ Marcela el mayor peso de 200 semillas, y Negro Veracruz, ‘Flor de Mayo’ RMC la mayor biomasa aérea final. Las variedades de frijol negro y las del tipo “Flor de Mayo” en conjunto, presentaron una amplia variabilidad genética en el rendimiento de semilla y sus componentes, biomasa aérea final y peso de 200 semillas. La respuesta en rendimiento indica que las variedades criollas han desarrollado mecanismos de tolerancia a sequía terminal y altas temperaturas durante la floración y formación de la semilla, y mecanismos de tolerancia a la acidez del suelo, que les permiten producir altos rendimientos a pesar de estar sometidas a estrés ambiental severo.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., acidez, sequía, rendimiento de semilla.

**SEED YIELD AND ITS COMPONENTS IN COMMON BEANS UNDER SOIL
ACIDITY AND TERMINAL DROUGHT IN SOUTH VERACRUZ**

Aurelio Morales Rivera

Colegio de Postgraduados, 2014

ABSTRACT

This research was carried on to study the genetic variability in seed yield and its components, and aerial biomass in a group of bean varieties of the 'Flor de Mayo' type, introduced from the highlands of Mexico and a group of native landraces of black seed bean from southern Veracruz, Mexico; the experiment was conducted under soil acidity and terminal drought conditions in the municipality of Juan Rodriguez Clara, Veracruz, Mexico in the fall-winter season 2012-13. Eight commercial varieties released by the INIFAP, Mexico, a landrace from Michoacán, Mexico, three landraces of black seed and Negro Michigan were included. A complete randomized block design with four replicates was used for the experiment; plots consisted of five furrows 5 m long and 0.8 m wide. Nitrogen and phosphorous fertilizers were applied at a rate of 40 kg ha⁻¹, 10 days after sowing. The seed yield of the 'Flor de Mayo' type varieties was similar to the seed yield of the black seed landraces. Negro Veracruz, San Andrés, Negro Cotaxtla and 'Flor de Junio' Marcela produced the highest seed yield; San Andrés y Negro Cotaxtla had the highest number of pods m⁻²; Negro Michigan and 'Flor de Junio' Marcela had the highest weight of 200 seeds, and Negro Veracruz, 'Flor de Mayo' RMC had the highest aerial biomass. Both the native landraces of black seed and the 'Flor de Mayo' type cultivars showed a wide range of genetic variability for seed yield and its components, aerial biomass and 200 seed weight. According to the seed yield responses, the native landraces of black seed have developed mechanisms of drought and heat tolerance to terminal stress during the flowering and seed formation period, and mechanisms of tolerance to soil acidity that allow them to produce high yields in spite of the severe environmental stress.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., soil acidity, drought, seed yield.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme la vida, haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza y por brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencia y sobre todo felicidad.

Al consejo Nacional de Ciencia y tecnología por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de maestría y el financiamiento del presente trabajo.

Al Colegio de Posgraduados por haberme brindado la oportunidad de adquirir los conocimientos transmitidos por su Cuerpo colegiado de Académicos.

Al Dr. Cándido López Castañeda, por haberme guiado, aconsejado, brindarme su amistad y finalización de este trabajo.

Al Dr. Josué Kohashi Shibata, con todo mi respecto y agradecimiento por sus consejos y revisión del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Salvador Miranda Colín, agradecimiento en su revisión del presente trabajo de investigación.

Al M.C. Antonio García Esteva, por su amistad incondicional, apoyo y disposición en la revisión.

A los trabajadores de campo Juan Alvarado y Fidel por su confianza, amistad y ayuda que me brindaron en mi trabajo de investigación.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

DEDICATORIA

A mis hijos: Ana Margarita y Marco Aurelio

Por prestar dos años del que no estuve a sus lados.

Para mi madre: **Aurelia**

Para mi padre: **Manuel**

A mis hermanos: Guadalupe, José, Florinda, Griselda, y Eulalio, apoyo moral, cariño y económicos en los momentos difíciles de mi carrera.

A mis cuñados@: Luis, José, Manuel y Lorena, por su apoyo ser parte de la familia y ese amor que nos unen.

A mis sobrinos: Luis Manuel, Flor Jazmín, Jair Alejandro, Eduardo, Jesús, Daira Griselda, José Guadalupe, Emilce del Rosario, Emanuel, Xochiátl, Griselda, Manuel, José María, y Esmeralda Guadalupe.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 pH y Acidez Edáfica	2
2.2 Sequía terminal	3
2.3 Efecto de la sequía en el rendimiento y sus componentes	4
2.4 Selección en condiciones de sequía y acidez	4
3. MATERIALES Y MÉTODOS	6
3.1 Localización	6
3.2 Material genético	7
3.3 Diseño experimental	8
3.4 Variables registradas	8
3.5 Datos meteorológicos	9
3.6 Contenido hídrico del suelo	10
3.7 Análisis estadístico	11
4. RESULTADOS	12
4.1 Análisis estadístico	12
4.2 Rendimiento de semilla y sus componentes	12
4.3 Etapas fenológicas	14
5. DISCUSIÓN	16
6. CONCLUSIONES	18
7. BIBLIOGRAFÍA	19

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo utilizado en el experimento de campo.	7
Cuadro 2. Variedades comerciales y criollas de frijol utilizadas en el experimento de campo.	7
Cuadro 3. Grados de libertad y significancia de los cuadrados medios para los factores de variación del diseño experimental y media, rangos máximo y mínimo, y coeficiente de variación, para el rendimiento de semilla y sus componentes, altura de planta y etapas fenológicas, determinadas en el experimento en condiciones de secano. CBTa 85, Municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013.	12
Cuadro 4. Rendimiento de semilla (RS), biomasa aérea final (BM), número de vainas normales m⁻² (VN), peso de 200 semillas (P200S) y altura de planta (AP) en frijol en condiciones de secano. CBTa 85, Municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013.	13
Cuadro 5. Días al inicio de la floración (DIF), 50 % de floración o antesis (DF), madurez fisiológica (DMF) e intervalo floración-madurez fisiológica (F-MF) en frijol en condiciones de secano. CBTa 85, Municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013.	15

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Temperaturas máximas y mínimas del aire en promedio semanal y precipitación semanal acumulada durante el experimento en condiciones de secano. CBTa 85, Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013. (S=Fecha de siembra; IF=Inicio de floración; F=Floración; MF=Madurez fisiológica).	10
Figura 2. Contenido de humedad edáfica en 0-20 cm (a), 20-40 cm (b), 40-60 (c) y 60-80 cm (d) durante el experimento en condiciones de secano. CBTa 85, Municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013.	11
Figura 3. Relación entre altura de planta y número de vainas normales m⁻² (a), y número de vainas normales m⁻² y rendimiento de semilla (b), para las variedades con color de testa negro y tipo “Flor de Mayo” en condiciones de secano. CBTa 85, Municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013.	14

RENDIMIENTO DE SEMILLA Y SUS COMPONENTES EN FRIJOL BAJO CONDICIONES DE ACIDEZ Y SEQUÍA TERMINAL EN EL SUR DE VERACRUZ

1. INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es el segundo cultivo de temporal o secano más importante en México, después del maíz, con una superficie promedio anual sembrada de 2.2 millones de has (SAGARPA, 2010). La producción de frijol, en condiciones de temporal, está sujeta a amplias variaciones en la cantidad y distribución de la lluvia durante la estación de crecimiento. Con el cambio climático, las irregularidades en los patrones de precipitación se agudizan, al causar efectos más severos que la sequía, reduciendo significativamente el rendimiento y la calidad de la semilla. En las regiones tropicales, la siembra más importante de frijol se realiza al final de la temporada de lluvias, y el cultivo con frecuencia experimenta efectos de sequía terminal, que se presenta durante la etapa de formación de la semilla, sobre todo en suelos someros con baja capacidad de retención de humedad.

En el Estado de Veracruz, el frijol negro tiene importancia socio-económica por su enorme contribución a la dieta alimenticia humana, la generación de empleo y la superficie sembrada que en promedio es de 33,000 has (SAGARPA, 2010). El 60 % de esta superficie se cultiva en el ciclo de otoño-invierno, que depende de la humedad residual almacenada en el perfil del suelo durante el periodo de lluvias. Se estima que aproximadamente una tercera parte de esta superficie (6,600 has), se establece en suelos con problemas de acidez, que disminuyen significativamente el rendimiento (Zetina-Lezama *et al.*, 2002). La reducción del rendimiento es más severa, cuando la cantidad de humedad almacenada en el perfil del suelo durante el ciclo primavera-verano y la cantidad de lluvia registrada en el periodo de septiembre-noviembre es baja, al causar severas deficiencias hídricas y estrés hídrico terminal en el cultivo. Las altas temperaturas del aire durante la formación de la semilla representan otro factor ambiental que viene a acentuar los efectos del estrés hídrico y la acidez del suelo en el rendimiento.

Una tercera parte de la superficie sembrada en el ciclo de otoño-invierno (6,600 ha), se cultiva en suelos ácidos con pH de la capa arable inferior a 5.0, caracterizados por presentar un bajo contenido de materia orgánica, que favorece una baja capacidad de intercambio catiónico del suelo, estas condiciones reducen el crecimiento, el desarrollo fenológico y el rendimiento del frijol (Zetina-Lezama *et al.*, 2005). En estos agrosistemas es común, la siembra de variedades criollas de bajo potencial de rendimiento y susceptibles a

enfermedades (López-Salinas *et al.*, 1999; Ugalde *et al.*, 2004). El problema de la baja productividad del frijol en condiciones de acidez del suelo y sequía terminal, se podría resolver al seleccionar variedades con alta capacidad de adaptación al pH ácido del suelo y sequía terminal durante la formación del rendimiento.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo estudiar la variabilidad genética en la producción de biomasa, rendimiento y sus componentes en un grupo de variedades de frijol de color negro, nativos de la región sur del Estado de Veracruz y un grupo de variedades del tipo “Flor de Mayo”, introducidas del Altiplano y la región central del país, en condiciones de acidez y sequía terminal en ciclo otoño-invierno.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 pH y Acidez Edáfica

La mayoría de las plantas cultivadas se pueden desarrollar satisfactoriamente con altos rendimientos en suelos con pH que varía entre 5.5 y 7.5 (Cadahia, 1998). El frijol cultivado en suelos tropicales con pH inferior a 5.0, bajo contenido de materia orgánica y baja capacidad de intercambio catiónico produce bajos rendimientos ($<500 \text{ kg ha}^{-1}$) (Tosquy *et al.*, 2008). Estos bajos rendimientos se deben a una disminución significativa en la emergencia de plántulas, al reducido crecimiento del sistema radical y de la parte aérea, al desarrollo de plantas adultas con pocas vainas y éstas, generadoras de semillas de baja calidad (Zetina-Lezama *et al.*, 2002).

Los suelos ácidos son desfavorables para el crecimiento y rendimiento de los cultivos en general, porque al disminuir el pH se inhibe el desarrollo de muchos microorganismos, se disminuyen las cantidades de elementos nutritivos asimilables por las plantas y se incrementa la presencia de elementos tóxicos que son absorbidos por las raíces, los cuales causan toxicidad en la planta (Rodríguez, 1996). En este tipo de suelos las plantas pueden presentar problemas de intoxicación por la alta concentración de aluminio intercambiable, mismo que afecta las raíces al inhibir la división celular y el desarrollo del sistema radical, también interfiere con la movilidad de calcio en la planta (Thung *et al.*, 1985). Un pH muy bajo puede volver insolubles a algunos nutrimentos y movilizar al aluminio, el cual con frecuencia es tóxico. Estas reacciones de la planta en suelos ácidos, hacen que el frijol sea considerado como un cultivo sensitivo a la acidez del suelo (Zetina-Lezama *et al.*, 2002).

Los bajos rendimientos de frijol en suelos ácidos se deben a deficiencias nutrimentales de las plantas, ocasionadas por la lixiviación y arrastre de calcio, magnesio y potasio; la baja disponibilidad de fósforo y la alta concentración de aluminio intercambiable presente en algunos suelos (Brady y Weil, 1999; López-Bucio *et al.*, 2000; Fragoso *et al.*, 2005); estos problemas químicos del suelo se acentúan, sobre todo después de la floración, cuando la cantidad de lluvia y la disponibilidad de humedad en el suelo disminuyen considerablemente.

En estudios en los que se ha aplicado cal dolomítica al suelo para aumentar el pH, se ha observado que el rendimiento de semilla fue 37 % mayor que en el testigo sin cal; los genotipos con mayor rendimiento también tuvieron mayores índices de eficiencia, para producir rendimiento; se determinó que las variedades que tuvieron índices de eficiencia menores a la unidad fueron los que tuvieron menor adaptación a suelos ácidos, sequía terminal y antracnosis (López-Salinas *et al.*, 2002).

La acidez del suelo también afecta los procesos de crecimiento y acumulación de materia seca en la planta; los efectos de la acidez edáfica se ven reflejados en la actividad fisiológica, modificando la producción y distribución de la biomasa en la planta (Zetina-Lezama *et al.*, 2002).

2.2 Sequía terminal

La sequía terminal se caracteriza por presentar deficiencias hídricas considerables en la parte final del ciclo biológico del cultivo, causando estrés hídrico severo a la planta durante el llenado de grano o en la formación de la semilla; la disminución en la cantidad de lluvia se refleja en una disminución considerable en el contenido hídrico edáfico, sobre todo en el estrato del suelo más próximo a la superficie, donde se acumula hasta el 50 % de la materia seca del sistema radical (Halterlein, 1983).

Las regiones tropicales, a pesar de recibir un promedio de precipitación alto, con frecuencia experimentan deficiencias hídricas, al reducirse la disponibilidad de humedad en el suelo durante el periodo de formación de la semilla. En frijol se ha determinado que las deficiencias hídricas reducen el peso seco del vástago y el área foliar (Al-Karaki *et al.*, 1995); también disminuye el peso seco y volumen de la raíz, así como, el peso seco de las partes del vástago y de la planta completa, sobre todo cuando el déficit hídrico se presenta en las etapas de primera y tercera hoja trifoliar (Galván-Tovar *et al.*, 2003). La sequía, durante la emergencia y el crecimiento vegetativo, reduce la población y acumulación de biomasa en los órganos aéreos de la planta; en la etapa reproductiva (10-12 días antes de la floración), la

sequía ocasiona el aborto de flores, vainas jóvenes y semillas (Lizana *et al.*, 2006), y las altas temperaturas (>30 °C), durante el día y la noche (>20 °C), reducen significativamente el rendimiento (Rayney y Griffiths, 2005). La etapa reproductiva es la más sensitiva al estrés hídrico, ya que afecta al rendimiento de semilla (Acosta Díaz *et al.*, 2000; Niesel y Nelson, 1998). En general se considera que la acumulación de biomasa, particularmente en las hojas, es más sensible al déficit hídrico que la raíz (Hopkins, 1999).

2.3 Efecto de la sequía en el rendimiento y sus componentes

El rendimiento de semilla es severamente reducido por efecto de la sequía terminal en el ciclo otoño-invierno en el sur de Veracruz; las pérdidas de rendimiento pueden variar de 20 a 100 %, dependiendo de la severidad y la duración de la sequía, durante la etapa reproductiva y de llenado de la semilla (López-Salinas *et al.*, 2011), siendo la reducción en el número de vainas m^{-2} , semillas por vaina, semillas m^{-2} , los componentes más afectados por el estrés hídrico (Yañez-Jiménez y Kohashi-Shibata, 1987). Muñoz-Perea *et al.* (2006) determinaron que la sequía intermitente o terminal tuvo su mayor efecto en el peso de la semilla con una reducción de hasta 22 % en condiciones severas de estrés hídrico. En frijol del tipo “Flor de Mayo” en las regiones de Valles Altos y el Bajío, se ha determinado que la sequía durante la floración disminuyó el rendimiento de semilla, semillas m^{-2} , biomasa del aérea final, semillas vaina⁻¹, vainas normales m^{-2} y peso de 200 semillas en 40, 33, 30 25, 17 y 9 %, respectivamente (Barrios-Gómez *et al.*, 2010), mientras que las temperaturas del aire, arriba de 30 °C durante la sequía disminuyeron; el rendimiento de semilla, la biomasa aérea final, las vainas normales m^{-2} y el peso de 200 semillas en 12.5, 10.7, 10.2 y 3.4 % (Barrios-Gómez *et al.*, 2011).

2.4 Selección en condiciones de sequía y acidez

El desarrollo de cultivares resistentes a sequía es una alternativa viable en los programas de mejoramiento genético del rendimiento, en condiciones de secano con deficiencias hídricas, calor y acidez. En ambientes con sequía terminal, especial énfasis se deberá poner en caracteres genéticos que se expresen en forma favorable, para el rendimiento entre la floración y la madurez fisiológica; menor pérdida de estructuras reproductoras como son botones, flores y vainas jóvenes que generalmente presentan abscisión durante periodos de estrés hídrico severo; una mayor capacidad de removilización de reservas del tallo y ramas hacia la semilla, y una rápida tasa de crecimiento de la semilla, podrían constituir criterios de

selección eficaces en el mejoramiento del rendimiento y sus componentes. Otras características agronómicas que están positivamente asociadas con el rendimiento de frijol del tipo “Flor de Mayo”, bajo condiciones de sequía y altas temperaturas, y que podrían utilizarse para mejorar el rendimiento en condiciones de estrés son la biomasa aérea final, el número de vainas, de semillas normales m^{-2} y el peso de 200 semillas (Barrios-Gómez *et al.*, 2010). También, se ha determinado que el diferencial de temperatura (T) del dosel del cultivo ($TDC\ ^\circ C = T\ \text{del aire} - T\ \text{del dosel del cultivo}$), se relacionó positiva y significativamente con el rendimiento de semilla, biomasa aérea final y número de vainas y semillas normales m^{-2} bajo condiciones de sequía y altas temperaturas (Barrios-Gómez *et al.*, 2011).

Un programa de selección en condiciones de sequía y acidez del suelo, deberá integrar también caracteres genéticos del sistema radical, que permitan mantener el crecimiento o expansión de las raíces y la absorción de nutrientes; estos factores pueden ayudar a mantener la demanda evaporativa o transpiración y el intercambio gaseoso en los órganos aéreos de las plantas. Tanimoto *et al.* (2000) determinaron en plántulas de chícharo (*Pisum sativum* L.), que pHs en el sistema hidropónico que variaron entre 3.0 y 4.5, indujeron la extensibilidad de la pared celular en las raíces, que es uno de los factores limitantes del crecimiento o elongación del sistema radical. Al parecer el aumento en la viscosidad de algunas moléculas de gel-proteínas y otros materiales biológicos, ayudan a mantener la extensión de la pared celular en condiciones de pH bajos (Katsuta *et al.*, 1990). Las auxinas, junto con los mecanismos de extrusión (producción) de protones, están implicadas en el proceso de crecimiento según la hipótesis del crecimiento por ácido (Taiz y Zeiger, 2010).

El crecimiento de la raíz puede ocurrir a través del llamado “crecimiento ácido *in vivo* e *in vitro*”; este fenómeno fue observado en coleóptilos de *Avena sativa* (Hager *et al.*, 1971) y el proceso de elongación fue analizado en raíces de *Zea mays* (Edwards y Scott, 1974; 1976; Tanimoto *et al.*, 1989) y *Lactuca sativa* (Tanimoto y Watanabe, 1986). En estos estudios, la extensibilidad de la pared celular fue el factor que presumiblemente jugó un papel mayor en el “crecimiento ácido” de la raíz, debido a que el bajo pH incrementó la extensibilidad de la pared celular *in vivo* (Rayle y Cleland, 1970; Yamagata *et al.*, 1974; Yamamoto *et al.*, 1974; Cleland *et al.*, 1987), pero no modificó la presión osmótica de las células de la raíz (Winch y Prichard, 1999).

Los criterios de selección para mejorar el rendimiento de frijol en suelos ácidos con deficiencias hídricas, deberán considerar entonces, la posibilidad de incluir características morfológicas y fisiológicas de las raíces, que favorezcan una mayor densidad radical y mayor

elasticidad de la pared celular, que a su vez permitan una mayor expansión de las raíces, para mantener la absorción de agua y nutrientes, y el intercambio de moléculas de CO₂ por moléculas de H₂O en la parte aérea, que se reflejen en una mayor acumulación de materia seca y rendimiento.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

Se realizó un experimento en condiciones de campo en el ciclo de otoño-invierno 2012-13, en el Campo Experimental del CBTa 85 (Centro Bachillerato Tecnológico Agropecuario Número 85), Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria, Secretaría de Educación Pública, localizado en el Municipio de Juan Rodríguez Clara, Estado de Veracruz (18° 00' N, 95° 24' O y 140 msnm) (García, 1988). El clima de la región se clasifica como 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 de textura franco-arenosa con una densidad aparente de 1.42 g cm⁻³; contenido hídrico de 8.3 %; pH de 4.5; conductividad eléctrica de 0.075 dS m⁻¹; 2.2 % de materia orgánica; 0.11 % de nitrógeno; 6.5 ppm de fósforo; 0.06 ppm de potasio y capacidad de intercambio catiónico de 8.7 en promedio de las cuatro profundidades del perfil de suelo (Cuadro 1). Otros estudios realizados en la región han reportado que el suelo predominante en el Municipio de Juan Rodríguez Clara es de textura franco-arenosa con 59-84 % de arena y 7-19 % de arcilla en la profundidad de 0-20 cm; es notorio que un pH ácido domina en todas las profundidades muestreadas del suelo, por lo que éste ha sido clasificado como un suelo ácido del tipo cambisol districo desarrollado en llanura, con pendiente de 4 % y relieve ondulado (Zetina-Lezama *et al.*, 2005).

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

Profundidad del suelo (cm)	Características										
	Físicas					Químicas					
	Textura	DA	CC	PMP	pH	CE	M.O	N	P	K	CIC
0-20	Franco-arenoso	1.39	15.0	6.0	4.69	0.07	2.1	0.12	33	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	.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

D.A.=Densidad aparente (g cm^{-3}); CC=Capacidad de campo (%); PMP=Porcentaje de marchitamiento permanente (%); C.E.=Conductividad eléctrica (mmhos cm^{-1}); MO=Materia orgánica (%); N=Nitrógeno (%); P=Fósforo Olsen (ppm); K=Potasio Olsen (ppm) y CIC=Capacidad de intercambio catiónico ($\text{meq}/100 \text{ g}$).

3.2 Material genético

Se evaluaron seis variedades comerciales del tipo “Flor de Mayo” de hábito indeterminado, liberadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), que se utilizan en siembras bajo riego y secano con buena precipitación de la región templada sub-húmeda (Rosales *et al.*, 2004) y tres variedades de frijol negro también liberadas por el INIFAP y que se utilizan para siembras en condiciones de secano y humedad residual en el ciclo invierno-primavera (López-Salinas *et al.*, 2011). Adicionalmente, se incluyó la variedad criolla Michoacán 128 de hábito indeterminado procedente del Estado de Michoacán y un grupo de variedades criollas colectadas en la región sur del Estado de Veracruz (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variedades comerciales y criollas de frijol utilizadas en el experimento de campo.

Variedad	Año de liberación	Hábito de crecimiento	Días a floración
Flor de Mayo M38	1994	III	50-57
Flor de Mayo Sol	1996	III	45-51
Flor de Mayo RMC	1981	III	44-55
Flor de Mayo de Bajío	1989	III	45-47
Flor de Mayo Noura	2006	III	47-50
Flor de Junio Marcela	1997	III	55-61
Negro Michigan		III	40-45
Negro Veracruz	1980	III	50-55
Negro Cotaxtla 91	1991	III	46-50
Michoacán 128 (Criollo) ^{&}	1974	III	32
Bola (Criollo, negro) [§]	2012	III	37
Tesechoacán (Criollo, negro) [§]	2012	III	35
San Andrés(Criollo, negro) [§]	2012	III	36

[&]= Material criollo proveniente del Estado de Michoacán, proporcionado por el Dr. Salvador Miranda Colín, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México; [§]=Germoplasma criollo colectado con agricultores de las localidades de Tesechoacán y Solerilla de los Municipio de Juan Rodríguez Clara y Cd Isla, Estado de Veracruz.

3.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño 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 días después de la siembra (dds), colocando el fertilizante a 5 cm de la hilera de plantas, cubriéndolo inmediatamente con un azadón. El control de malezas de hoja ancha y gramíneas, se realizó con la aplicación de herbicidas selectivos Fomesafén® y Fluazifop-butil® a una dosis 0.75 L a los 30 dds. En las etapas de crecimiento vegetativo se detectó la presencia de doradilla (*Diabrotica balteata*), plaga que se controló con la aplicación de Cipermetrina® a una dosis de 0.2 L ha^{-1} a los 30, 44, 51 y 58 dds.

3.4 Variables registradas

Inicio de floración; se determinó como el número de días transcurridos desde la siembra hasta la aparición del primer botón floral o el primer racimo de botones florales en el 50 % de las plantas presentes en cada unidad experimental (CIAT, 1983).

Floración; se determinó como el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas presentes en cada unidad experimental, mostraba la primera flor abierta o racimo con flores abiertas.

Madurez fisiológica; se determinó como el número de días transcurridos desde la siembra hasta que las plantas presentes en cada unidad experimental, perdieron el color verde en el 80 % de sus órganos aéreos.

Altura de planta (cm); se determinó al medir la longitud del tallo principal desde la superficie del suelo hasta el ápice, en cinco plantas al azar en cada unidad experimental.

Biomasa aérea final (BMF, g m^{-2}); se determinó al cortar al ras de suelo, las plantas presentes en un área 2.4 m^2 en los tres surcos centrales cada unidad experimental y secarlas al sol hasta peso constante.

Vainas normales (VN M^{-2}); se determinó al separar y contar las vainas de las plantas utilizadas para la determinación de la BMF.

Rendimiento de semilla (RS, g m^{-2}); se determinó al pesar la semilla obtenida de las vainas normales de la muestra utilizada, para determinar la BMF

Peso de 200 semillas (g); se hizo al pesar 200 semillas elegidas al azar de la muestra obtenida, para la determinación de la BMF y el RS.

3.5 Datos meteorológicos

Los datos de temperatura máxima y mínima (°C) diaria del aire, y la precipitación (mm) semanal acumulada, se obtuvieron con un registrador de datos de temperatura (Marca Measurement Computing Corporation, Modelo USB-500 Data logger) y un pluviómetro de acumulación semanal (Marca Honeywell, Modelo TC152), colocados en el sitio en el que se realizó el experimento, respectivamente. Las temperaturas máxima y mínima promedio durante el experimento fueron 32 y 20 °C; las temperaturas máximas presentaron sus valores más altos entre la siembra y el inicio de la floración, y en la parte terminal de la formación de la semilla, mientras que las temperaturas mínimas presentaron menor variación que las temperaturas máximas, tendiendo a disminuir ligeramente hacia el final del ciclo del cultivo (Figura 1). La precipitación acumulada entre la siembra y la madurez fisiológica de las plantas fue de 513 mm; el 65 % de la precipitación se concentró en la fase vegetativa y el restante 35 % de lluvia, se distribuyó entre el inicio de la floración y la primera mitad del periodo de formación de la semilla (Figura 1).

La radiación fotosintéticamente activa (RFA, $\mu\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) se determinó con un medidor portátil de RFA (Spectrum Technologies Inc., modelo BQM) en días completamente soleados en el sitio en el que se estableció el experimento, a una altura de 1.7 m sobre el nivel del suelo y aproximadamente 1.2 m sobre el nivel del dosel del cultivo; esta medición se realizó a los 34, 48 y 71 dds con un promedio de $1527\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$.

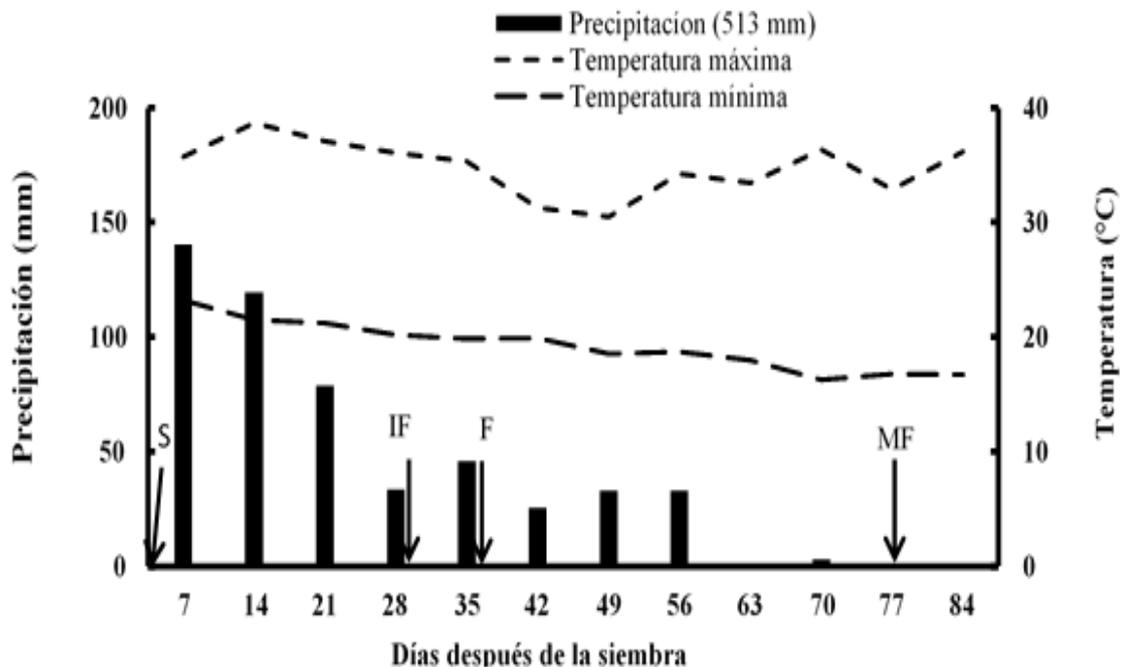


Figura 1. Temperaturas máximas y mínimas del aire en promedio semanal y precipitación semanal acumulada durante el experimento en condiciones de secano. CBTa 85, Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013. (S=Fecha de siembra; IF=Inicio de floración; F=Floración; MF=Madurez fisiológica).

3.6 Contenido hídrico del suelo

Se determinó el contenido hídrico edáfico semanalmente, al obtener muestras de suelo en las profundidades de 0- 20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm, en cuatro sitios representativos del terreno utilizado, para establecer el experimento. Las muestras se obtuvieron con una barrena del tipo Veihmeyer y se colocaron en botes de aluminio. Inmediatamente después del muestreo, los botes con las muestras de suelo se llevaron al laboratorio, para determinar el peso húmedo del suelo (PHS, g) y el peso seco del suelo (PSS, g), después de mantener las muestras en una estufa (Marca GCA Corporation, modelo 17) a una temperatura de 110 °C durante 48 horas. El contenido de humedad aprovechable se determinó con base en el peso seco del suelo, al utilizar el método gravimétrico [% humedad aprovechable = ((PHS-PSS)/PSS) 100].

Se observó que el contenido hídrico del suelo alcanzó el nivel de capacidad de campo al momento de la siembra en todas las profundidades del suelo; posteriormente dicho contenido fue disminuyendo conforme transcurrió el ciclo biológico de las plantas, siendo más notoria ésta disminución al inicio de la floración (28 dds) y durante la formación de la semilla (desde

los 40 dds hasta la madurez fisiológica), donde el contenido de humedad edáfica alcanzó niveles cercanos al porcentaje de marchitamiento permanente (PMP), al coincidir con una disminución considerable en la cantidad de lluvia registrada en esas etapas fenológicas; el contenido hídrico del suelo registrado en el último tercio del periodo de formación de la semilla, incluso se mantuvo por debajo del PMP, causando estrés hídrico terminal, abscisión de vainas en crecimiento y senescencia acelerada en hojas de las plantas de frijol (Figuras 2a, b, c y d).

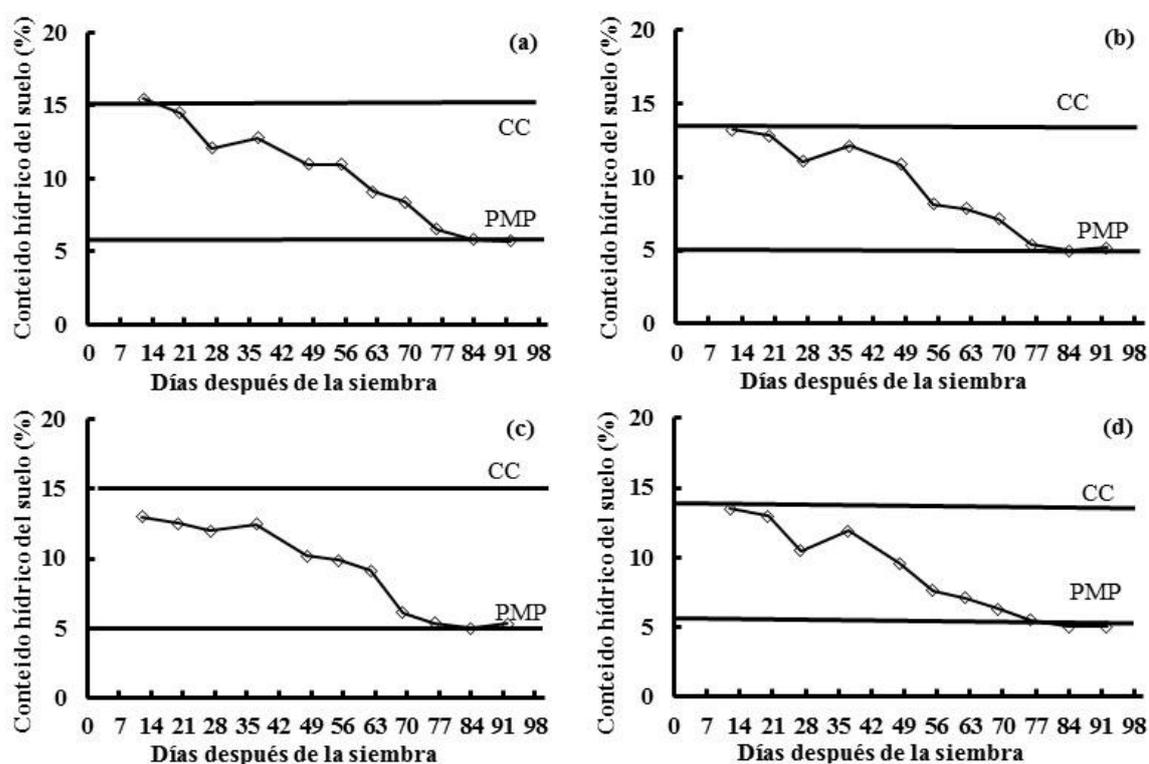


Figura 2. Contenido de humedad edáfica en 0-20 cm (a), 20-40 cm (b), 40-60 (c) y 60-80 cm (d) durante el experimento en condiciones de secano. CBTa 85, Municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013.

3.7 Análisis estadístico

Los datos obtenidos del experimento se analizaron estadísticamente, al utilizar el programa SAS, versión 9.0, para Windows (SAS, 2002). Se calculó la diferencia mínima significativa de Tukey (DSH, $P \leq 0.05$), para la comparación de medias.

4. RESULTADOS

4.1 Análisis estadístico

La variación en rendimiento de semilla (RS), biomasa aérea final (BM), peso de 200 semillas (P200S) y altura de planta (AP) entre genotipos fue significativa; el RS, BM, P200S y AP variaron de 69 a 115 g m⁻², 281 a 632 g m⁻², 35 a 59 g y 25 a 50 cm (Cuadro 3). También, el número de días al inicio de la floración (IF), floración (F) y madurez fisiológica (MF) varió significativamente entre genotipos; la variación observada fue de 25 a 35, 30 a 38 y 69 a 85 días, para el IF, F y MF, respectivamente (Cuadro 3). El número de vainas normales m⁻² no presentó diferencias significativas entre variedades. El coeficiente de variación más alto se registró en la biomasa aérea final y el número de vainas normales m⁻² (Cuadro 3).

Cuadro 3. Grados de libertad y significancia de los cuadrados medios para los factores de variación del diseño experimental y media, rangos máximo y mínimo, y coeficiente de variación, para el rendimiento de semilla y sus componentes, altura de planta y etapas fenológicas, determinadas en el experimento en condiciones de secano. CBTa 85, Municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013.

Factor de variación	G.L.	RS	BM	V M ²	P200S	AP	IF	F	MF	IF-MF
Bloques	3	20.0n.s.	2.62n.s.	8.4**	64.68.0*	22.3**	8.8n.s.	4.1n.s.	17.4*	28.8*
					*					
Variedades	12	1012.7**	37872.7*	19448.7n.s.	242.3**	254.1**	40.3**	27.8**	168.4**	102.8**
Error	36	41.2	14569.9	1882.5	0.037	9.7	3.8	4.9	8.0	10.4
Media		90.9	428.6	386.3	46.8	35.4	29.8	34.5	76.5	42.1
Máximo		115.5	632.3	527.7	59.0	50.2	35.3	38.0	85.8	48.5
Mínimo		69.0	281.6	286.9	35.0	24.7	25.0	30.3	69.0	33.0
Coeficiente de variación (%)		7.0	28.2	11.23	0.41	8.8	6.6	6.4	3.7	7.6

G.L.=Grados de libertad; RS=Rendimiento de semilla (g m⁻²); BM=Biomasa aérea final (g m⁻²); V M²=Número de vainas normales por m²; P200S=Peso de 200 semillas (g); AP=Altura de planta (cm); número de días al inicio de la floración (IF); floración o antesis (F); madurez fisiológica (MF) e IF-MF=Intervalo floración-Madurez fisiológica. N.S.=No significativo; *(P<0.05); **(P<0.01).

4.2 Rendimiento de semilla y sus componentes

Las variedades que produjeron el más alto rendimiento de semilla fueron Negro Veracruz, San Andrés, Negro Cotaxtla y Flor de Junio Marcela; Flor de Mayo RMC produjo la más alta biomasa aérea final; San Andrés y Negro Cotaxtla produjeron el mayor número de vainas m⁻²; Negro Michigan y Flor de Junio Marcela tuvieron el más alto peso de 200 semillas, y Negro Veracruz, San Andrés y Negro Cotaxtla tuvieron la mayor altura de planta entre todos los genotipos del experimento (Cuadro 4). El alto rendimiento de semilla de la variedad Negro Veracruz se puede atribuir a una mayor acumulación de biomasa aérea final, mayor peso de

200 semillas y mayor altura de planta, mientras que el alto rendimiento de semilla en las variedades San Andrés y Negro Cotaxtla, se debió a un mayor número de vainas normales m^{-2} y mayor longitud del tallo principal (Cuadro 4). El alto rendimiento de la variedad Flor de Junio Marcela estuvo determinado en gran medida por un alto número de vainas normales m^{-2} y mayor peso de 200 semillas (Cuadro 4).

La comparación entre variedades con testa de color negro procedentes de Veracruz y las variedades del tipo “Flor de Mayo” procedentes del altiplano, mostró que las variedades con color de testa negro solamente superaron a las variedades del tipo “Flor de Mayo” en el peso de 200 semillas y la altura de planta (Cuadro 4).

Cuadro 4. Rendimiento de semilla (RS), biomasa aérea final (BM), número de vainas normales m^{-2} (VN), peso de 200 semillas (P200S) y altura de planta (AP) en frijol en condiciones de secano. CBTa 85, Municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013.

Cultivar	RS (g m^{-2})	BM (g m^{-2})	VN M^{-2}	P200S (g)	AP (cm)
Negro Veracruz	116	535	372	54	42
San Andrés (Criollo, negro)	113	341	514	40	45
Negro Cotaxtla	110	393	528	41	50
Tesechoacán (Criollo, negro)	82	395	351	48	37
Negro Michigan	77	282	344	58	41
Bola (Criollo, negro)	69	504	358	44	40
Media de las variedades con testa de color negro	95	408	411	48	43
Flor de Junio Marcela	105	381	430	59	34
Flor de Mayo M38	97	528	421	47	36
Michoacán 128	95	415	329	54	25
Flor de Mayo Sol	87	362	287	49	29
Flor de Mayo Bajío	83	455	360	42	26
Flor de Mayo Noura	76	351	358	37	31
Flor de Mayo RMC	75	632	372	35	25
Media de las variedades del tipo “Flor de Mayo”	88	448	365	46	29
Media general	91	429	386	47	35
Tukey ($P \leq 0.05$) ^a	16	302	108	1	8
Tukey ($P \leq 0.05$) ^b	9	166	59	1	4

^aValor de Tukey para la comparación entre genotipos; ^bValor de Tukey para la comparación entre variedades con testa de color negro y variedades del tipo “Flor de Mayo”.

La altura de planta o longitud del tallo principal estuvo positiva y significativamente asociada con el número de vainas normales m^{-2} ($VN M^{-2} = 5.8(AP) + 180$, $r = 0.67$, $P \leq 0.05$; Figura 2.3a); las variedades con mayor longitud del tallo produjeron mayor número de vainas

normales m^{-2} . Las variedades con testa de color negro San Andrés y Negro Cotaxtla tuvieron la mayor longitud del tallo principal y produjeron el mayor número de vainas normales m^{-2} (Figura 3a).

Por otro lado, el número de vainas normales m^{-2} también estuvo positiva y significativamente relacionado con el rendimiento de semilla ($RS=0.17(VN M^{-2})+26$, $r=0.63$, $P\leq 0.05$; Figura 3b); las variedades con mayor número de vainas m^{-2} produjeron mayor rendimiento de semilla. Las variedades con testa de color negro San Andrés y Negro Cotaxtla produjeron un alto número de vainas normales m^{-2} y tuvieron alto rendimiento de semilla (Figura 3b).

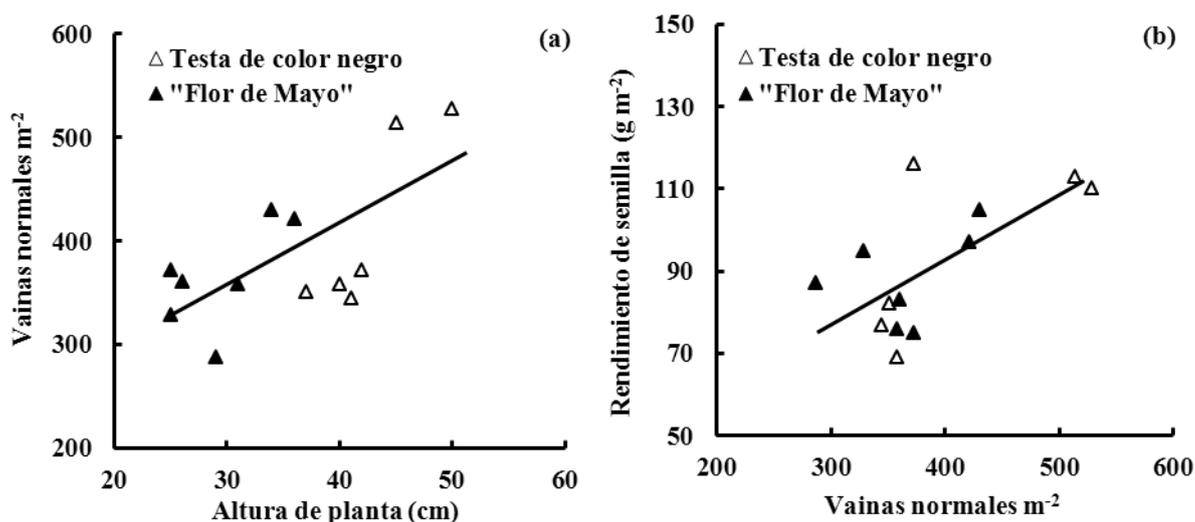


Figura 3. Relación entre altura de planta y número de vainas normales m^{-2} (a), y número de vainas normales m^{-2} y rendimiento de semilla (b), para las variedades con color de testa negro y tipo “Flor de Mayo” en condiciones de secano. CBTa 85, Municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013.

4.3 Etapas fenológicas

La variación en el número de días a diferentes etapas de desarrollo fue significativa entre variedades; los cultivares con más alto rendimiento de semilla, Negro Veracruz, San Andrés y Negro Cotaxtla estuvieron entre las variedades con mayor número de días al inicio de la floración, floración y madurez fisiológica; los cultivares con menor rendimiento de semilla, Michoacán 128, FM Sol, FM Bajío y FM RMC iniciaron la floración, alcanzaron el 50 % de

la floración o antesis y completaron su ciclo biológico en menor número de días que las variedades de alto rendimiento de semilla Negro Veracruz, San Andrés y Negro Cotaxtla (Cuadro 5).

Al comparar las variedades con testa de color negro con las variedades del tipo “Flor de Mayo”, en el número de días a inicio de la floración, floración o antesis y madurez fisiológica, se observó que las variedades con testa de color negro, alcanzaron las diferentes etapas de desarrollo con mayor número de días que las variedades del tipo “Flor de Mayo” (Cuadro 5)

Cuadro 5. Días al inicio de la floración (DIF), 50 % de floración o antesis (DF), madurez fisiológica (DMF) e intervalo floración-madurez fisiológica (F-MF) en frijol en condiciones de secano. CBTa 85, Municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2012-2013.

Cultivar	DIF	DAF	DMF	F-MF
Negro Veracruz	31	37	83	47
San Andrés (Criollo, negro)	30	36	80	44
Negro Cotaxtla	34	37	85	48
Tesechoacán (Criollo, negro)	31	35	71	36
Negro Michigan	34	38	86	48
Bola (Criollo, negro)	33	37	86	49
Media de las variedades con testa de color negro	32	37	82	45
Flor de Junio Marcela	30	32	78	46
Flor de Mayo M38	31	36	69	33
Michoacán 128	25	32	71	39
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
Media de las variedades del tipo “Flor de Mayo”	28	33	72	40
Media general	30	35	77	42
Tukey ($P \leq 0.05$) ^a	6	4	10	8
Tukey ($P \leq 0.05$) ^b	3	2	6	3

^aValor de Tukey para la comparación entre genotipos; ^bValor de Tukey para la comparación entre variedades con testa de color negro y variedades del tipo “Flor de Mayo”.

5. DISCUSIÓN

La producción de frijol en las áreas de secano o temporal en México, es altamente vulnerable al estrés causado por la sequía y las altas temperaturas o calor durante la estación de crecimiento. Con el cambio climático, los cultivos están sujetos a mayores niveles de estrés hídrico y calor que reducen drásticamente el rendimiento y la calidad de la producción. En el sur de Veracruz, además del estrés causado por la sequía terminal y las altas temperaturas, el frijol produce bajos rendimientos debido a la acidez del suelo; se considera que pH del suelo < 5.0 tiene efectos adversos en la absorción de nutrientes, crecimiento y desarrollo del sistema radical y los órganos aéreos de la planta, lo que se ve reflejado en bajos rendimientos y calidad de la semilla.

En el presente estudio, la lluvia se concentró en la fase vegetativa del cultivo, proporcionando condiciones favorables de humedad, para el crecimiento desde la emergencia hasta el inicio de la floración; posteriormente la precipitación disminuyó considerablemente, reduciendo la disponibilidad de humedad en el suelo, sobre todo en el estrato más próximo a la superficie. Por lo tanto, alcanzó un contenido de humedad edáfica similar al porcentaje de marchitamiento permanente, causando deficiencias hídricas a las plantas durante la floración y sobre todo en la parte final del periodo de formación de la semilla. Las temperaturas máximas del aire registradas en el día, excedieron los $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el periodo de floración y formación de la semilla; en estas condiciones las plantas experimentaron un severo estrés terminal causado por las deficiencias hídricas del suelo y las altas temperaturas del aire durante el día. Es importante considerar que además del estrés causado por la sequía y las altas temperaturas en el periodo terminal del ciclo del cultivo, las plantas crecieron en un suelo con pH que varió entre 4.7 y 4.3 entre las profundidades de 0-20 y 60-90 cm.

El rendimiento de semilla promedio obtenido para todas las variedades utilizadas en la presente investigación fue 910 kg ha^{-1} , rendimiento superior al obtenido por López-Salinas *et al.*, (2006) en Isla, Veracruz con 16 genotipos de frijol negro en condiciones de humedad residual y pH del suelo de 4.4 (sin cal, con rendimiento promedio de 407 kg ha^{-1}) y 5.5 (con cal, con rendimiento promedio de 514 kg ha^{-1}). El alto rendimiento producido en el presente estudio se debió, posiblemente al mayor grado de adaptación de las variedades criollas de frijol negro nativas del sur de Veracruz; las variedades Negro Veracruz, San Andrés y Negro Cotaxtla, produjeron rendimientos superiores a 1.0 t ha^{-1} , lo que contrasta ampliamente con el rendimiento de las variedades de frijol negro utilizadas en el trabajo de investigación de López-Salinas *et al.* (2006). Es importante señalar que la variedad de frijol Flor de Junio

Marcela, comúnmente utilizada en siembras de temporal en la región del centro de México, haya tenido también un rendimiento superior a 1.0 t ha^{-1} .

Las variedades San Andrés y Negro Cotaxtla produjeron su mayor rendimiento debido a un mayor número de vainas normales m^{-2} y mayor altura de planta, mientras que la variedad Negro Veracruz, debió su mayor rendimiento de semilla a un mayor peso de 200 semillas y altura de planta, y la variedad Flor de Junio Marcela al mayor número de vainas m^{-2} , peso de 200 semillas y altura de planta. Es evidente que los componentes del rendimiento número de vainas normales m^{-2} , peso de 200 semillas y altura de planta, son los factores más importantes, para el alto rendimiento de los cultivares sobresalientes en condiciones de sequía, calor terminal y acidez del suelo; la altura de planta estuvo positivamente asociada con el número de vainas normales m^{-2} y el número de vainas normales m^{-2} se relacionó positivamente con el rendimiento de semilla. El número de nudos productivos en la planta (nudos con capacidad para la diferenciación y crecimiento de vainas normales), puede considerarse también como un componente del rendimiento, al representar los sitios potenciales para la producción de vainas con semillas normales que contribuyan al rendimiento de semilla; se ha determinado que al podar ápices del tallo principal y ramas laterales de frijol de hábito indeterminado, el rendimiento aumentó significativamente, al aumentar el número de nudos y vainas (Tanaka y Fujita, 1979; Binnie y Clifford, 1980; López-Castañeda y Kohashi, 1985), debido probablemente a un aumento en la disponibilidad de fotosintatos para la formación de los órganos reproductivos de la planta (Binnie y Clifford, 1980).

Las variedades con alto rendimiento Negro Veracruz, San Andrés, Negro Cotaxtla y Flor de Junio Marcela, requirieron un mayor número de días después siembra para el inicio de la floración y para alcanzar la madurez fisiológica que las variedades con bajo rendimiento de semilla; también el intervalo entre la floración y la madurez fisiológica fue más largo, para las variedades sobresalientes en rendimiento Negro Veracruz, Negro Cotaxtla y Flor de Junio Marcela que para las de bajo rendimiento, lo que posiblemente favoreció una mayor producción y retención de vainas normales en la planta, que finalmente se reflejó en un más alto rendimiento de semilla.

El mejoramiento genético del 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 criollos nativos de la región; al parecer las variedades criollas han desarrollado 1). Mecanismos de tolerancia a sequía

terminal y altas temperaturas durante la floración y formación del rendimiento, y 2). Mecanismos de tolerancia a la acidez del suelo, que les permiten producir altos rendimientos a pesar de estar sometidas a estrés ambiental severo. En la porción aérea, será importante reducir las pérdidas de órganos reproductivos durante la floración, crecimiento de las vainas y la expresión del rendimiento. Los mecanismos de plasticidad en el desarrollo de la planta durante el estrés, pueden ayudar a promover la producción de nudos productivos y la duración del área foliar fotosintéticamente activa durante la formación de la semilla. La acumulación de biomasa y una mayor asignación de materia seca a las vainas y la semilla son características fisiológicas que también, podrían ayudar a incrementar significativamente el rendimiento.

6. CONCLUSIONES

Las variedades de frijol negro nativas del sur de Veracruz y las variedades de frijol del tipo “Flor de Mayo” procedentes del centro de México, presentaron una amplia variabilidad genética en el rendimiento de semilla y sus componentes biomasa aérea final, peso de 200 semillas y altura de planta; también la variabilidad en el número de días al inicio de la floración, antesis y madurez fisiológica e intervalo floración-madurez fisiológica fue significativa.

Las variedades sobresalientes por su alto rendimiento fueron Negro Veracruz, San Andrés, Negro Cotaxtla y Flor de Junio Marcela; el alto rendimiento de la variedad Negro Veracruz se atribuyó a una mayor biomasa aérea final, peso de 200 semillas y altura de planta, y en las variedades San Andrés y Negro Cotaxtla, a un mayor número de vainas normales m^{-2} y longitud del tallo principal; el alto rendimiento en la variedad Flor de Junio Marcela, se debió a un alto número de vainas normales m^{-2} y mayor peso de 200 semillas. Las variedades de alto rendimiento tuvieron un ciclo biológico más largo que las variedades de bajo rendimiento de semilla.

La altura de planta se relacionó positiva y significativamente con el número de vainas normales m^{-2} ; las variedades con mayor altura de planta produjeron mayor número de vainas m^{-2} . Asimismo, el número de vainas normales m^{-2} estuvo relacionado positiva y significativamente con el rendimiento de semillas; los cultivares con mayor número de vainas normales produjeron mayor rendimiento de semilla.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Díaz, E., C Trejo-López, L. Ruiz-Posadas, S. Padilla- Ramírez, J. A. Acosta-Gallegos. 2000: Adaptación del frijol en sequía en la etapa reproductiva. *Terra* 22: 49-58.
- Acosta G., J.A., S.H. Guzmán M., G. Esquivel E. y R. Rosales S. 2002. Mejoramiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: Avances y Perspectivas. *In: Martínez R.J., F. Rincón S. y G. Martínez Z. (eds). El fitomejoramiento ante los avances científicos y tecnológicos. Memoria del XIX Congreso Nacional de Fitogenética, SOMEFI. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Pp. 20-27.*
- Al-Karaki, G. N, B.R. Clark and V. C. Sullivan. 1995. Effect of phosphorus and water stress levels on growth and phosphorus uptake of bean and sorghum cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 18: 563-578.
- 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. 2011. Avances en el mejoramiento genético del frijol en México por tolerancia a temperatura alta y sequía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(4): 247-255.
- Binnie, R.C. and P.E. Clifford. 1980. Efectos of some defoliation and decapitation treatments on the productivity of French beans. *Annals of Botany* 46: 811-813.
- Brady, C.N. and R.R. Weil. 1999. *The nature and properties of soils*. 12th Ed. Simon & Schuster. New Jersey, U. S. A. 881 p.
- Cadahia, C. 1998. *Fertirrigación, cultivo hortícola y ornamentales*. Ediciones Mundi Prens. Madrid-Barcelona-México. 475p.
- CIAT, 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*. Fernández, F.; Gepts, P.; López, M. (eds.). Cali, Colombia, CIAT. 26 p.
- Cleland, R.E., D. Cosgrove and M. Tepfer. 1987. Long-term acid-induced wall extension in an in vitro system. *Planta* 179: 379-385.
- Edwards, K.L. and T.K. Scott. 1974. Rapid growth responses of corn root segments: Effect of pH on elongation. *Planta* 119: 27-37.

- Edwards, K.L. and T.K. Scott. 1974. Rapid growth responses of corn root segments: Effect of citrate-phosphate buffer on elongation. *Planta* 129: 229-233.
- 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.
- Galván-Tovar M., J. Kohashi-Shibata, A. García-Esteva, P. Yáñez-Jiménez y L. Ruíz-Posadas. 2003. Déficit hídrico en planta, acumulación de biomasa y área foliar en tres etapas vegetativas en frijol común. *Agricultura Técnica en México* 29(2): 101-111.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 217 p.
- Hager A, H. Menzel and A. Krauss. 1971. Versuche und hypothese zur primawirkung des Auxin beim streckungswechstum. *Planta* 100: 47-75.
- Halterlein, A. J. 1983. Bean. In Teare I.D. and M.M. Peet (eds.), *Crop water relations*. Wiley Pub., New York. Pp. 157-185.
- Hopkins, W.G. 1999. *Introduction to plant physiology*. 2nd. Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A. 512 p.
- Katsuta, K., D. Rector and J.E. Kinsella J E. 1990. Viscoelastic properties of whey protein gels: Mechanical model and effects of protein concentration on creep. *Journal of Food Science* 55: 516-521.
- Lizana, C., M. Wentworth, J.P. Martinez, D. Villegas, R. Meneses, E.H. Murchie, C. Pastenes, B. Lercari, P. Vernier, P. Horton and M. Pinto. 2006. Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress. I. Effects of drought on yield and photosynthesis.
- López-Bucio, J., O. Martínez-de la Vega, A. Guevara-García y L. Herrera-Estrella. 2000. Enhanced phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate. *Nature Biotechnology* 18 (4): 450-453.
- López-Castañeda, C. y J. Kohashi-Shibata. 1985. Efecto de la poda en la producción de semilla de un frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de hábito indeterminado y guía larga. *Agrociencia* 60: 37-60.
- López Salinas, E., J.A. Acosta Gallegos, O. Cano Reyes, G. Fraire V., J. Cumpián Gutiérrez, E.N. Becerra Leor, B. Villar Sánchez y F. J. Ugalde. 1999. Estabilidad de rendimiento de la línea de frijol negro DOR-500 en el trópico húmedo de México. *Agronomía Mesoamericana* 10(2): 69-74.

- López-Salinas, E., J. A. Acosta-Gallegos, J. Cumpián-Gutiérrez, O. Cano-Reyes, B. Villar-Sánchez y E. N. Becerra Leor. 2002. Adaptación de genotipos de frijol común en la región tropical húmeda de México. *Agricultura Técnica en México* 28 (1): 35-42.
- 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. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29 (1): 33-39.
- López-Salinas, E., O.H. Tosquy-Valle; J.A. Acosta-Gallegos, B. Villar-Sanchez y F. J. Ugalde-Acosta. 2011. Resistencia a sequía de líneas y variedades de frijol negro tropical. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 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 Science* 46: 2111-2120.
- Nielsen, D.C. and N.O. Nelson. 1998. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. *Crop Science* 38 (2): 422-427.
- Rainey, K.M. and P.D. Griffiths. 2005. Inheritance of heat tolerance during reproductive development in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130: 700-706.
- Rayle, D.L. and R.E. Cleland. 1970. Enhancement of wall loosening and elongation by acid solution. *Plant Physiology* 46: 250-253.
- Rodríguez, S. F. 1996. Fertilizantes. *Nutrición Vegetal*. AGT Editor México. 157 p.
- Rosales Serna, R., J.A. Acosta Gallegos, J.S. Muruaga Martínez, J.M. Hernández Casillas, G. Esquivel Esquivel y P. Pérez Herrera. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 6, Dirección Agrícola, INIFAP, Centro de Investigación Regional del Centro, Campo Experimental Valle de México. Chapingo, México. 148 p.
- SAGARPA. 2010. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera, Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (<http://www.sagarpa.gob.mx>) (Consulta de datos estadísticos para el año 2010; 9 de abril, 2012).
- SAS (SAS Institute, Inc.) 2002. The SAS System release 9.0 for Windows. Cary, NC, USA.
- Tanimoto, E., S. Fujii, R. Yamamoto and S. Inanaga. 2000. Measurement of viscoelastic properties of root cell walls affected by low pH in lateral roots of *Pisum sativum* L. *Plant and Soil* 226: 21-28.

- Tanimoto E., T.K. Scott and Y. Masuda. 1989. Inhibition of acid-enhanced elongation of *Zea mays* root segments by galactose. *Plant Physiology* 90: 440-444.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2010. *Plant Physiology*. Sinauer Associates Inc., Publishers. U:S.A. 782 p.
- Tanimoto, E. and J. Watanabe. 1986. Automated recording of lettuce root elongation as affected by auxin and acid pH in a new rhizometer with minimum mechanical contact to roots. *Plant Cell Physiology* 27: 1475-1487.
- Thung, M., J. Ortega y O. Erazo. 1985. Tamizado para identificar frijoles adaptados a suelos ácidos. *In: Frijol: Investigación y Producción*. M. López, F. Fernández, A van Schoonhoven (eds.). CIAT, Cali, Colombia. Pp. 313-346.
- 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 (3): 227-233.
- Ugalde Acosta, F.J., E. López Salinas, O.H. Tosquy Valle. y J.A. Acosta Gallegos. 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; Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, México, 21 p.
- Winch, S. and J. Pichard. 1999. Acid-induced wall loosening is confined to the accelerating region of the root growing zone. *Journal of Experimental Botany* 50 (338): 1481-1487.
- Yamagata, Y., R. Yamamoto and Y. Masuda. 1974. Auxin and hydrogen ion actions on light-grown pea epicotyl segments II. Effect of hydrogen ions on extension of the isolated epidermis. *Plant Cell Physiology* 15: 833-841.
- Yamamoto, R., K. Maki, Y. Yamagata and Y. Musuda. 1974. Auxin and hydrogen ion actions on light-grown pea epicotyl segments. I. Tissue specificity of auxin and hydrogen ion actions. *Plant Cell Physiology* 15: 823-831.
- Yañez-Jiménez, P. and J. Kohasshi-Shibata. 1987. Effect of water stress on the ovules of *Phaseolus vulgaris* L. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative* 30: 16-17.
- 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 Núm. 10, División Agrícola, INIFAP, Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campos Experimentales Papaloapan y Huimanguillo. Veracruz, México. 170 p.

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 dístico con labranza, encalado y abono verde. *Terra Latinoamericana* 23: 389-398.