

Ambiente y genotipo: Efectos en el rendimiento y sus componentes, y fenología en frijol común

Environment and genotype: Effects on yield and its components, and phenology in common beans

Recibido: 22 de enero del 2017
Aceptado: 24 de abril del 2018
Publicado: 06 de febrero del 2019

Celia Selene Romero-Félix*, Cándido López-Castañeda^o, Josué Kohashi-Shibata*, Carlos Gustavo Martínez-Rueda**, Salvador Miranda-Colín*, Víctor Heber Aguilar-Rincón*

Cómo citar:

Romero-Félix, C. S., López-Castañeda, C., Kohashi-Shibata, J., Martínez-Rueda, C. G., Miranda-Colín, S., Aguilar-Rincón, V. H. (2018). Ambiente y genotipo: Efectos en el rendimiento y sus componentes, y fenología en frijol común. *Acta Universitaria*, 28(6), 20-32. doi: 10.15174/au.2018.1760

* Colegio de Postgraduados, km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56230. Teléfono: (595) 9520200. Correo electrónico: clc@colpos.mx

** Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México.

^o Autor de correspondencia.

Palabras Clave:

Phaseolus vulgaris L; biomasa aérea; estabilidad del rendimiento; interacción ambiente x genotipo.

Keywords:

Phaseolus vulgaris L; aerial biomass; environment x genotype interaction; yield stability.

RESUMEN

Se estudió el efecto del ciclo de cultivo y contenido de humedad edáfica en el genotipo y su interacción, en rendimiento de semilla (RS), sus componentes y fenología en primavera-verano 2013 (PV2013) y verano-otoño 2014 (VO2014) con riego (R) y secano (S) en Montecillo, Texcoco, México. Se utilizaron 12 genotipos en un diseño de bloques completos con tres repeticiones en R y S, parcelas de cuatro surcos de largo-ancho 5 m x 0.8 m y fertilización 80-40-00. El RS, biomasa aérea, vainas m⁻², semillas m⁻², peso de 100 semillas y semillas por vaina y altura de planta fueron 65%, 49%, 50%, 63%, 10% y 17%, 35 cm mayores en PV2013 que en VO2014, y en R fueron 17, 16%, 19%, 19%, 6% y 4%, y 7 cm mayores que en S, mientras el inicio de floración, antesis y madurez fisiológica ocurrieron 5 d, 6 d y 7 d antes en PV2013 que en VO2014, y en S, 2 d, 2 d y 4 d antes que en R, respectivamente. La interacción ambiente x genotipo mostró que el ciclo tuvo mayor efecto en el genotipo que déficit hídrico edáfico.

ABSTRACT

The effect of seasonal crop cycle and soil water content on the genotype and its interaction, in seed yield (SY) and its components, and phenology was determined in the spring-summer cycle 2013 (SS13) and summer-fall cycle 2014 (SF14) under irrigation (I) and rainfed (RF) conditions at Montecillo, Texcoco, Mexico. Twelve genotypes were grown in a complete block design with three replicates in I and RF; plots consisted of four furrows 0.8 m x 5 m. A fertilizer rate of 80-40-00 was used. SY, aerial biomass, pods m⁻², seeds m⁻², weight of 100 seeds, seeds per pod and plant height in SS13 and I were 65%, 49%, 50%, 63%, 10% y 17%, and 35 cm higher than in SF14 and 17%, 16%, 19%, 19%, 6% and 4%, and 7 cm greater than in RF, whereas the beginning of flowering, anthesis and physiological maturity in SS13 and I occurred 5 d, 6 d and 7 d and 2 d, 2d and 4 d earlier than in SF14 and RF, respectively. The environment x genotype interaction showed seasonal crop cycle had a greater effect on the genotype than soil water deficit.

INTRODUCCIÓN

En México el frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.) es uno de los cultivos con mayor superficie sembrada, principalmente en secano; por lo que sus rendimientos son bajos: 670 kg ha⁻¹ en contraste con 1560 kg ha⁻¹ bajo riego (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [Sagarpa], 2014). La disminución del rendimiento en condiciones de secano se debe principalmente a la sequía (López-Salinas *et al.*, 2011; Rosales *et al.*, 2012), y tiene efecto mayor cuando el déficit de la precipitación pluvial coincide con la fase reproductiva del cultivo, en la que la demanda de fotoasimilados por las estructuras reproductivas es alta (Acosta-Díaz, Trejo-López, Ruiz-Posadas, Padilla-Ramírez & Acosta-Gallegos, 2004; Manjeru, Madanzi, Maeredza, Nciizah & Sithole, 2007).

La sequía se presenta acompañada de calor y reduce drásticamente el rendimiento del cultivo, sin embargo, las temperaturas altas en frijol más estrés hídrico pueden disminuir el rendimiento de semilla, biomasa aérea, número de vainas normales m⁻² y peso de 100 semillas en 12%, 11%, 10% y 3% por cada °C (-1 °C) de aumento en la temperatura de la planta (Barrios-Gómez, López-Castañeda & Kohashi-Shibata, 2011). Las temperaturas altas del aire también tienen un efecto fuerte en el desarrollo fenológico del frijol; la temperatura mínima alta durante la noche tiene una función mayor en la fenología del frijol, al reducir el número de días a inicio de floración, floración y madurez fisiológica, y la duración del intervalo entre la floración y la madurez fisiológica (Morales-Rivera, López-Castañeda, Kohashi-Shibata, Miranda-Colín & García-Esteve, 2015).

La sequía mediante diversos fenómenos fisiológicos disminuye el valor de algunos componentes del rendimiento, por ejemplo, a través de la abscisión de vainas jóvenes (generalmente <3 cm), la formación de vainas vanas y el aborto de semilla. Aunada a otras condiciones ambientales extremas origina un estrés en la planta, el cual se refleja en los procesos fisiológicos, y estos a su vez en la morfología y el rendimiento. Dicho rendimiento puede desglosarse en sus componentes, cuyo análisis permite saber, en una situación dada, cuáles de ellos limitan en mayor grado el rendimiento, para ser utilizados en el mejoramiento genético (Kohashi-Shibata, 1996).

La información sobre el rendimiento de semilla y sus componentes y la fenología de las plantas de frijol común en México, en diferentes años y ciclos de cultivo es muy limitada, por lo cual, el objetivo de este estudio fue comparar en un mismo ambiente (clima y humedad del suelo) en dos años y ciclos diferentes (primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014) el rendimiento y sus componentes, así como la fenología en genotipos de dos grupos de frijol. Dichos genotipos son las variedades tipo 'Flor de Mayo' (FM) y Michoacán 128, incluidos en otras investigaciones (Barrios-Gómez *et al.*, 2010; 2011) y, además, genotipos de

las variedades Negro Veracruz, Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés (Morales-Rivera *et al.*, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

En el ciclo primavera-verano 2013 (PV2013) y verano-otoño 2014 (VO2014) se establecieron experimentos en campo en el mismo lote experimental en ambos años, en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 21'N, 98°55'O y 2250 m s.n.m.). El clima de la región es templado subhúmedo del tipo Cb (wo) (w) (i)g con lluvias en verano, temperatura de 15.2 °C y precipitación media anual de 637 mm (García, 1987). El suelo en el área experimental tiene textura arcillosa, capacidad de campo (CC) 50.3%, porcentaje de marchitamiento permanente (PMP) 38.5%, pH 8.2, materia orgánica 2.1% (Walkey-Black), conductividad eléctrica 0.50 dSm⁻¹ (método del puente de conductividad eléctrica), 0.2% N (MicroKjeldhal), 9.5 mg kg⁻¹ P₂O₅ (Olsen) y 1,7 cmol kg⁻¹ K (Olsen), en promedio de los estratos de suelo de 0 cm - 20 cm, 20 cm - 40 cm, 40 cm - 60 cm y 60 cm - 80 cm.

Material genético

Los dos experimentos incluyeron ocho variedades comerciales de frijol del tipo 'Flor de Mayo', dos variedades con semilla de color negro (Negro Cotaxtla 91 y Negro Veracruz) y dos variedades criollas: Michoacán 128 (con características similares a las variedades del tipo 'Flor de Mayo') y Criollo San Andrés (con semilla de color negro). Todos los materiales con hábito de crecimiento III (tabla 1).

Tabla 1 Material genético utilizado en los experimentos de campo

Variedad	Año de liberación o colecta	Días a floración	Rendimiento de semilla (g m ⁻²)
FM Anita ^a	2002	44-62	301 ⁱ
FM Corregidora ^a	2000	56	210 ⁱ
FM 2000 ^a	2001	45-50	210 ⁱ
Negro Veracruz ^b	2012	37	116 ^y
Criollo San Andrés ^b	2012	36	113 ^y
Negro Cotaxtla 91 ^b	2012	37	110 ^y
FM M38 ^c	1994	50-57	97 ^y
Michoacán 128 ^c	1974	47-53	95 ^y
FM Sol ^c	1996	45-51	87 ^y
FM Bajío ^c	1989	45-47	83 ^y
FM Noura ^c	2006	47-50	76 ^y
FM RMC ^c	1981	44-55	75 ^y

^aVariedades mejoradas de frijol, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Rosales-Serna *et al.*, 2004) para áreas de temporal y humedad favorable en el Altiplano Mexicano (tipo 'Flor de Mayo') y el ^bEstado de Veracruz; ^cMaterial criollo del estado de Michoacán proporcionado por el Dr. Salvador Miranda Colín, Profesor Investigador, Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Colegio de Postgraduados; ^dVariedad criolla procedente del sur de Veracruz, colectada por el Ing. Aurelio Morales Rivera. ^eRendimiento de semilla en condiciones de secano, en Rodríguez Clara, Veracruz (Morales-Rivera *et al.*, 2015), ^fRendimiento de semilla en promedio de riego y temporal en Montecillo, Texcoco, Estado de México (Barrios-Gómez *et al.*, 2010).

Fuente: Elaboración propia.

Diseño experimental y manejo del cultivo

En cada año y ciclo las variedades se dispusieron bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en riego (R) y tres en seco (S). La unidad experimental consistió de cuatro surcos de 5 m de longitud y 0.8 m de separación. La siembra se realizó el 24 de abril (ciclo PV2013) y el 11 de junio de 2014 (ciclo VO2014). Se utilizó una dosis de fertilización de 80-40-00, con urea como fuente de nitrógeno y superfosfato de calcio triple como fuente de fósforo, aplicando la mitad del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y la segunda mitad de nitrógeno a los 50 días después de la siembra (dds) en el ciclo PV2013 y a los 49 dds en VO2014. La densidad de población aproximada fue de 14.8 plantas m⁻² en ambos experimentos. Se realizaron labores de cultivo a los 40 dds y 50 dds en PV2013 y a los 37 dds y 49 dds en VO2014, respectivamente. Las parcelas se regaron en el ciclo PV2013 a los dos dds y ocho dds; después, se regó cada semana en cuatro ocasiones sólo en R, al dejar ambos tratamientos de humedad edáfica a merced de la precipitación hasta la madurez fisiológica; en el ciclo VO2014 se regó dos dds en R y S y después a los 25 dds, 33 dds, 44 dds y 60 dds solo en R, posteriormente ambos tratamientos de humedad edáfica quedaron a merced de la lluvia hasta la madurez fisiológica. El control de malezas y plagas se realizó con la aplicación de productos químicos comerciales. No se presentaron enfermedades foliares durante el ciclo de cultivo.

Datos meteorológicos

Los datos de temperatura (°C) máxima y mínima del aire, y precipitación pluvial (mm) en PV2013 se obtuvieron de la estación meteorológica de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, aproximadamente a 4 km del sitio de estudio; en el experimento de VO2014 los datos de temperatura máxima y mínima se registraron diariamente en el sitio de estudio, con un termómetro de máxima y mínima de columna de mercurio marca Taylor, y un pluviómetro portátil diseñado en el Colegio de Postgraduados.

Contenido de humedad edáfica

El contenido de humedad aprovechable en diferentes estratos del suelo (0 cm - 20 cm, 20 cm - 40 cm, 40 cm - 60 cm y de 60 cm - 80 cm) se determinó cada semana, mediante el método gravimétrico [% HA = ((Peso del suelo húmedo - Peso del suelo seco) / Peso del suelo seco) 100] en PV2013 y VO2014.

Variables medidas

Las variables medidas desde la fecha de siembra fueron: días a inicio de floración (IF) cuando el 50% de las plantas

en cada unidad experimental presentaron al menos una flor abierta; días a floración (F) o antesis (A) cuando el 50% de las plantas de cada unidad experimental presentaron flores abiertas; días a madurez fisiológica (MF) se registró cuando el 90% de las vainas de las plantas perdieron su pigmentación verde (Acosta-Díaz, Acosta-Gallegos, Trejo-López, Padilla-Ramírez & Amador-Ramírez, 2009). En las plantas en madurez fisiológica se midió la altura de planta desde la superficie del suelo al ápice, en cinco plantas tomadas al azar en los dos surcos centrales de cada unidad experimental.

Las plantas en competencia completa, en los dos surcos centrales, se cosecharon después de eliminar 50 cm de los extremos para determinar la biomasa aérea que comprende la biomasa aérea a la cosecha, el pericarpio y la semilla en el ciclo PV2013. En el ciclo VO2014, además se incluyeron los órganos vegetativos y reproductivos que sufrieron abscisión, número de vainas normales m⁻², rendimiento de semilla, semillas normales m⁻², semillas normales por vaina y peso de 100 semillas.

Análisis estadístico

El análisis de varianza se realizó para los datos de PV2013 y VO2014 en forma individual y combinada, utilizando el programa *Statistical Analysis System (SAS, 2012)* versión 9.4 para Windows. El modelo en serie de experimentos fue: $Y_{ijkl} = \mu + C_i + E_j + V_k + CE_{ij} + CV_{ik} + EV_{jk} + CEV_{ijk} + E_{ijkl}$ para el análisis combinado que incluyó los ciclos de cultivo (C, PV2013 y VO2014), niveles de humedad del suelo (E, riego y seco), variedades (V), y las interacciones CE, CV, EV y CEV como fuentes de variación. Las medias se compararon con DMS ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

Temperatura, precipitación y humedad edáfica

En PV2013 la temperatura máxima alcanzó sus valores más altos al inicio del ciclo de cultivo y disminuyó conforme las plantas se acercaron a la madurez fisiológica; la temperatura mínima fue más baja al inicio del ciclo del cultivo y aumentó a medida que transcurrió el ciclo biológico de las plantas (figura 1a). En VO2014 las temperaturas máximas y mínimas más altas se presentaron al inicio del ciclo y disminuyeron conforme las plantas se aproximaron a la madurez (figura 1b). No obstante, las diferencias

en el patrón térmico entre experimentos, la temperatura máxima promedio en PV2013 (26 °C) fue igual que en VO2014 (26 °C), mientras que la temperatura mínima promedio en PV2013 (7 °C) fue menor que en VO2014 (10 °C).

La precipitación total registrada en el ciclo PV2013 (448 mm) fue menor que la registrada en VO2014 (712 mm); sin embargo, la distribución de la precipitación fue diferente en cada etapa; en PV2013 el 17% de la precipitación total correspondió a la etapa vegetativa y 83% a la reproductiva, mientras en VO2014 los valores fueron 47% y 53%, respectivamente. Aunque la precipitación en VO2014 fue mayor que en PV2013, la distribución de la precipitación fue más irregular durante la floración y el periodo de formación de la semilla en VO2014 que en PV2013, lo que se tradujo en una disminución más severa en el contenido hídrico del suelo, sobre todo en el periodo de floración y formación de la semilla (figura 1a y 1b).

El contenido de humedad edáfica en R se mantuvo cerca de CC en todos los estratos del suelo en ambos experimentos (datos no mostrados), mientras que en S en PV2013, el contenido de humedad disminuyó, alcanzando el PMP en los estratos de 0 cm - 20 cm y 20 cm - 40 cm a los 18 dds y durante el periodo de floración-madurez fisiológica, desde los 68 dds hasta 98 dds; en los estratos de 40 cm - 60 cm y 60 cm - 80 cm, el contenido de humedad edáfica se mantuvo cercano a CC durante el ciclo de cultivo (figura 2a). En S en VO2014, el contenido de humedad edáfica disminuyó conforme avanzó el ciclo del cultivo en todos los estratos del suelo y mantuvo un nivel inferior al PMP durante el periodo de floración-madurez fisiológica, con una reducción más severa en los estratos de 0 cm - 20 cm, 20 cm - 40 cm y 40 cm - 60 cm que en el estrato de 60 cm - 80 cm (figura 2b). El PMP en los estratos superficiales pudo afectar negativamente el rendimiento y sus componentes debido a que en esas profundidades es donde mayormente se acumulan las raíces en frijol.

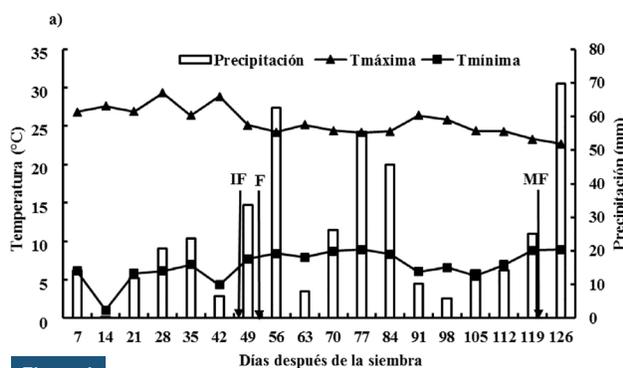


Figura 1

Temperatura promedio semanal máxima y mínima del aire, y precipitación semanal acumulada en el ciclo PV2013 a) y VO2014 b). Montecillo, Texcoco, Edo. de México. IF: inicio de floración; F: floración; MF: madurez fisiológica.

Fuente: Elaboración propia.

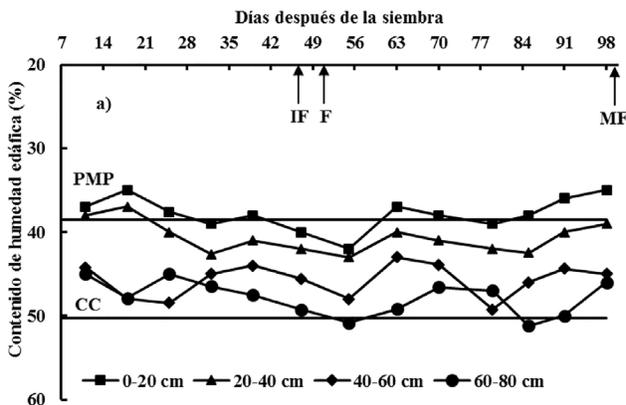
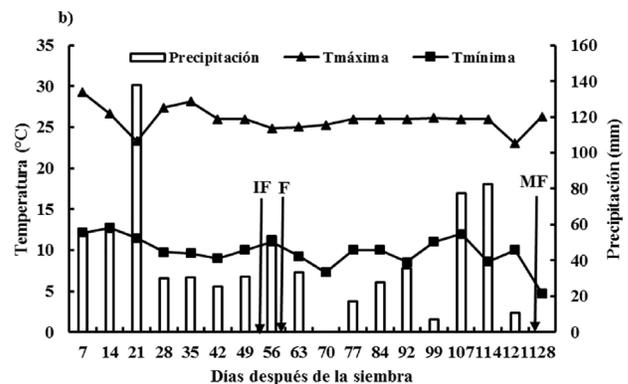


Figura 2

Contenido hídrico edáfico en los estratos de 0 cm - 20cm, 20 cm - 40 cm, 40 cm - 60 cm y 60 cm - 80 cm en seco del ciclo PV2013 a) y VO2014 b). Montecillo, Texcoco, Edo. de México. CC: capacidad de campo; PMP: porcentaje de marchitamiento permanente; IF: inicio de floración; F: floración; MF: madurez fisiológica.

Fuente: Elaboración propia.

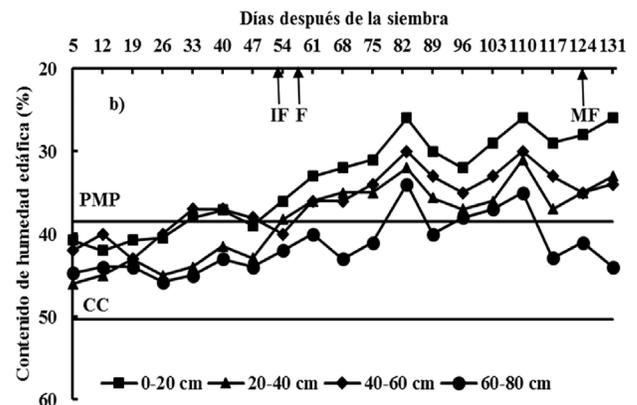


Tabla 2 Cuadrados medios del análisis de varianza bajo un modelo estadístico en serie de cuatro experimentos, para el rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Ciclo primavera-verano 2013 y ciclo verano-otoño 2014 en riego y seco

Fuente de variación	gl	RS	BMA	VN M ⁻²	SN M ⁻²	P100S	S V	AP	IF	A	MF
Ciclos	1	2828283.1**	4723015.6**	1334159.8**	78719186.0**	850.7**	92.0**	43890.2**	1116.7**	1534.0**	1681.0**
Ambientes (riego y temporal)	1	112840.0**	340666.8**	127514.5**	4179435.0**	53.8*	0.89*	1456.7*	119.2**	87.1**	210.3*
Variedades	11	20928.2**	75614.0**	7671.3*	538217.3**	896.1**	1.59**	2070.5**	129.1**	95.7**	194.3**
Ciclos x ambientes	1	11.7Sns	5007.9ns	2610.4ns	13892.6ns	110.3*	0.98**	380.3ns	1.2ns	1.0ns	87.1*
Reps (ciclos x ambientes)	8	7313.2*	20568.1*	5056.1ns	138771.6ns	5.7ns	0.15ns	179.5ns	14.2*	9.8*	49.1*
Ciclos x variedades	11	7706.0*	16927.2*	5823.8ns	224056.5*	53.2**	0.12ns	254.8*	9.9*	10.5*	55.7*
Ambientes x variedades	11	3476.2ns	8335.6ns	2965.9ns	55607.7ns	83.2**	0.05ns	106.3ns	7.6ns	5.4ns	24.5ns
Ciclos x ambientes x variedades	11	4930.5ns	13718.5ns	3602.9ns	104796.9ns	61.8**	0.066ns	125.1ns	7.5ns	4.3ns	5.1ns
Media general		293	561	285	1605	47	5	67.4	51	55	123
CV (%)		18.1	16.4	19.4	19.7	6.6	5.3	16.1	4	4	4

RS = Rendimiento de semilla (g m⁻²); BMA = biomasa aérea (g m⁻²); VN M⁻² = Vainas normales m⁻²; SN M⁻² = Semillas normales m⁻²; P100S = Peso de 100 semillas (g); S V = Número de semillas por vaina; AP = Altura de planta (cm); IF = Número de días a inicio de floración; A = Número de días a antesis; MF = Número de días a madurez fisiológica. ** ($p \leq 0.01$), * ($p \leq 0.05$), ns = No significativo.
Fuente: Elaboración propia.

Efecto del ciclo de cultivo

En el ciclo PV2013 se obtuvo mayor rendimiento de semilla y mayores valores de los componentes del rendimiento y de altura de planta que en VO2014; las etapas fenológicas en PV2013 ocurrieron varios días antes que en VO2014 (tabla 2 y tabla 3). El rendimiento de semilla y sus componentes en todos los genotipos en PV2013 fueron mayores que en el VO2014, a pesar de tener menor precipitación durante el ciclo de crecimiento de las plantas, mantuvo mayor disponibilidad de humedad en el perfil del suelo, condiciones de humedad edáfica que coincidieron con bajas temperaturas mínimas del aire durante el ciclo biológico de las plantas. Las variedades FM 2000, FM RMC, FM M38, FM Sol y Michoacán 128, mostraron mayor rendimiento de semilla que los demás genotipos en PV2013 y solo la variedad FM 2000 mostró un comportamiento sobresaliente en VO2014; el alto rendimiento de las variedades sobresalientes en PV2013 estuvo acompañado de alta biomasa aérea; mayor número de vainas normales m⁻² en Michoacán 128; mayor peso de 100 semillas en FM 2000; mayor número de semillas por vaina en FM RMC y FM Sol; mayor altura de planta en FM 2000, FM RMC y FM Sol; mayor número de días al inicio de floración y floración en FM M38 y Michoacán 128; y mayor número de días a madurez fisiológica en FM 2000, FM M38, FM Sol y Michoacán 128, mientras el alto rendimiento de FM 2000 en VO2014 estuvo acompañado de alta biomasa aérea, y vainas y semillas normales m⁻², peso de 100 semillas, semillas por vaina y altura de planta y mayor número de días a madurez fisiológica (tabla 3).

Las siembras tardías de frijol reducen significativamente el rendimiento y sus componentes número de vainas planta⁻¹, peso de la semilla, índice de cosecha y acumulación de materia seca, en tanto que las plantas de siembras más tempranas están expuestas a condiciones más favorables de humedad, radiación y temperatura (Getachew, Mohammed, Tesfaye & Nebiyu, 2014; Nwadike & Vange, 2015), lo que se traduce en mayor desarrollo vegetativo y producción de fotoasimilados para un óptimo rendimiento de vainas y semillas (Yoldas & Esiyok, 2007). El menor número de días a floración y madurez fisiológica en PV2013 que en VO2014 podría deberse a la mayor disminución de la precipitación y consiguiente disponibilidad de humedad edáfica hacia el final del ciclo de las plantas, sobre todo en los estratos de suelo de 0 cm - 20 cm y 20 cm - 40 cm, donde se concentra la mayor proporción de raíces en frijol (Haterlein, 1983). El intervalo entre la floración y la madurez fisiológica (I = MF-F) en PV2013 (67 días) y VO2014 (68 días) presentó una diferencia de un día, indicando que el efecto de las temperaturas máxima (26 °C y 26 °C) y mínima (7 °C y 10 °C) en la duración del periodo de formación de la semilla fue similar en los dos ciclos de cultivo: sin embargo, cuando las temperaturas máxima y mínima del aire durante el ciclo del cultivo muestran mayor variación, el intervalo entre el inicio de la floración y la madurez fisiológica (I = MF-IF) puede ser diferente; por ejemplo, las temperaturas máxima y mínima promedio en condiciones de riego en el ciclo primavera-verano en Celaya, Guanajuato, México fueron 28.1 °C y 11.9 °C y en Montecillo, Texcoco, Estado de México fueron 31.7 °C y 5.3 °C, lo que se tradujo en un I de 48 días en Celaya y 58 días en riego y 56 días en seco en Montecillo (Barrios-Gómez et al., 2010).

Tabla 3

Efecto del ciclo de cultivo en el rendimiento de semilla, sus componentes y fenología. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Ciclo primavera-verano 2013 y ciclo verano-otoño 2014

Variedad	RS (g m ⁻²)	BMA (g m ⁻²)	VN M ⁻²	SN M ⁻²	P100S (g)	S V	AP (cm)	IF	F	MF
Ciclo primavera-verano 2013										
FM 2000	513a	901a	370bcde	2296cde	66a	6bc	101a	44cd	48ef	120abc
FM RMC	515a	841ab	379abcde	2447bc	56b	7ab	96ab	45c	50de	116cd
FM M38	463ab	832ab	380abcde	2262cde	51bcd	6cde	87bc	50ab	54abc	124a
FM Sol	522a	820abc	358cde	2348bcde	55b	7a	98ab	42d	47f	120abc
Michoacán 128	448abc	785abcd	404abcd	2402bcd	46d	6de	82c	51ab	56a	125a
FM Noura	403bc	713bcde	343de	1975e	54bc	6ef	88bc	52ab	56a	123ab
FM Anita	407bc	656def	362cde	2056cde	53bc	6f	77cd	44cd	48ef	114d
FM Corregidora	410bc	731bcde	334e	1986e	52bc	6de	89abc	49b	52cd	118bcd
FM Bajío	366c	578f	359cde	2017de	49cd	6f	82c	44cd	48ef	114d
Criollo San Andrés	378bc	718bcde	432ab	2881a	34e	7a	65de	53a	56a	118bcd
Negro Cotaxtla 91	390bc	643ef	441a	2720ab	37e	6cd	59e	51ab	55ab	125a
Negro Veracruz	390bc	693cdef	416abc	2745ab	39e	7a	96ab	49b	53bcd	122ab
Media	434	742	382	2344	49	6	85	48	52	119
DMS ($p \leq 0.05$) ^a	83	135	65	402	6	0.2	13	3	3	5
Ciclo verano-otoño 2014										
FM 2000	238a	543a	245a	1167a	52ab	5abcd	63ab	52de	56de	130ab
FM RMC	196b	482ab	222ab	1043ab	54a	5bcde	77a	50ef	56de	122def
FM M38	196b	444bc	233ab	1027ab	48bc	4def	51bc	55bc	59bc	131ab
FM Sol	115d	309ef	149c	751bc	48bc	5abc	59b	49f	54f	120f
Michoacán 128	136cd	358def	193abc	844bc	51abc	4ef	36de	57a	61a	125cd
FM Noura	166bc	433bcd	183abc	784bc	51abc	4f	57b	57a	61ab	134a
FM Anita	137cd	307ef	145c	607c	46cd	4f	57b	50ef	56ef	121ef
FM Corregidora	130cd	365def	190abc	782bc	48bcd	4f	43cd	55ab	60ab	133a
FM Bajío	162bc	379cde	150c	627c	43d	4f	54bc	53cd	58cd	119f
Criollo San Andrés	139cd	352ef	200abc	1036ab	29e	5a	27e	54bc	59bc	125cde
Negro Cotaxtla 91	114d	296f	176bc	887abc	30e	5ab	26e	56ab	61ab	130ab
Negro Veracruz	110d	294f	180bc	834bc	34e	5cde	51bc	54bc	59bc	127bc
Media	154	380	189	866	44	5	50	53	58	126
DMS ($p \leq 0.05$) ^b	37	77	64	309	5	0.4	14	2	2	4
DMS ($p \leq 0.05$) ^c	33	55	27	143	1	0.1	5	1	1	3

RS: rendimiento de semilla; BMA: biomasa aérea; VN M⁻²: vainas normales m⁻²; SN M⁻²: semillas normales m⁻²; P100S: peso de 100 semillas; S V: semillas por vaina; AP: altura de planta; IF: inicio de floración; F: floración; MF: madurez fisiológica ^{a,b,c}DMS: Diferencia mínima significativa para la comparación de medias entre genotipos en PV2013; comparación entre genotipos en VO2014, y comparación entre ciclos de cultivo, respectivamente. Medias con letra distinta en una columna son estadísticamente diferentes (DMS, $p \leq 0.05$). Fuente: Elaboración propia.

La variación en rendimiento en promedio de PV2013 estuvo positiva y significativamente relacionada con la variación en rendimiento de semilla en promedio de variedades (V) ($PV2013 = 0.67(V) + 1.5$, $r = 0.91$, $p \leq 0.01$, figura 3), al igual que el rendimiento en promedio de VO2014 ($VO2014 = 0.85(V) + 163.5$, $r = 0.81$, $p \leq 0.01$, figura 3); no obstante, que el rendimiento de semilla del ciclo de cultivo se asoció positivamente con el rendimiento de variedades, es evidente que el rendimiento de semilla en VO2014 fue mucho menor que PV2013, y que en ambos casos las variedades del tipo 'Flor de Mayo' tuvieron mayor rendimiento que las variedades de frijol 'Negro', siendo la variedad FM 2000 la que produjo el mayor rendimiento en los dos ciclos de cultivo (figura 3).

Efecto del contenido de humedad edáfica

El contenido de humedad edáfica afectó al rendimiento de semilla y sus componentes; las deficiencias hídricas en S redujeron significativamente el rendimiento de semilla, biomasa aérea, número de vainas normales m^{-2} , número de semillas normales m^{-2} , peso de 100 semillas, semillas por vaina y altura de planta con respecto a R (tabla 2 y tabla 4); el déficit hídrico edáfico también disminuyó el número de días el inicio de floración, floración y madurez fisiológica en PV2013 y VO2014, respectivamente (tabla 4).

Las variedades FM 2000, FM RMC, FM M38, FM Sol y Michoacán 128 exhibieron el más alto rendimiento de semilla en R y solo las variedades FM 2000 y FM M38 mostraron alto rendimiento de semilla en S; el alto rendimiento de las variedades sobresalientes en R estuvo acompañado de alta biomasa aérea, vainas y semillas normales m^{-2} ; alto peso de 100 semillas en FM 2000; mayor número de semillas por vaina en FM Sol; mayor altura de planta en FM 2000, FM RMC y FM Sol; mayor número de días al inicio de floración y floración en Michoacán 128; y mayor número de días a madurez fisiológica en FM 2000; FM M38 y Michoacán 128, mientras en S el alto rendimiento de semilla de las variedades sobresalientes estuvo acompañado de alta biomasa aérea en FM 2000; alto número de vainas normales m^{-2} en FM 2000 y FM RMC; alto número de semillas normales m^{-2} en FM 2000; y mayor peso de 100 semillas, número de semillas por vaina y altura de planta en FM 2000 y FM RMC (tabla 4).

La reducción en el rendimiento y sus componentes en secano con respecto a riego, se debió a la severa disminución en la disponibilidad de humedad en los estratos de suelo más cercanos a la superficie (0 cm - 20 cm y 20 cm - 40 cm) durante el periodo de formación de la semilla,

periodo considerado como el más sensitivo al déficit hídrico (Rainey & Griffiths, 2005). Otros estudios en frijol común en condiciones de riego y sequía, mostraron que las deficiencias hídricas durante el periodo de floración disminuyeron 28% y 25%, el rendimiento de semilla y la biomasa área en un grupo de variedades de frijol del tipo Flor de Mayo (Barrios-Gómez et al., 2010) y que la sequía al inicio de la floración en diferentes variedades de frijol común con hábitos de crecimiento y respuesta diferencial al estrés hídrico, disminuyó 51% y 41% la biomasa aérea y el rendimiento de semilla con respecto a R, las plantas presentaron una tendencia a escapar al efecto de la sequía al reducir su periodo de llenado de grano (Acosta-Díaz et al., 2009). El acortamiento en el número de días a floración y madurez fisiológica también se ha observado en otros estudios; la sequía al inicio de la floración acortó la fase reproductiva en dos localidades de prueba, debido a la presencia de temperaturas más altas durante el periodo de formación de la semilla (Acosta-Díaz, Kohashi-Shibata & Acosta-Gallegos, 1997); las diferencias fenológicas entre distintos ambientes de cultivo están determinadas por el régimen de temperaturas máxima y mínima del aire, siendo la temperatura mínima durante la noche la que tiene un efecto mayor en el desarrollo fenológico del frijol, al reducir la duración de las etapas de desarrollo (Morales-Rivera et al., 2015).

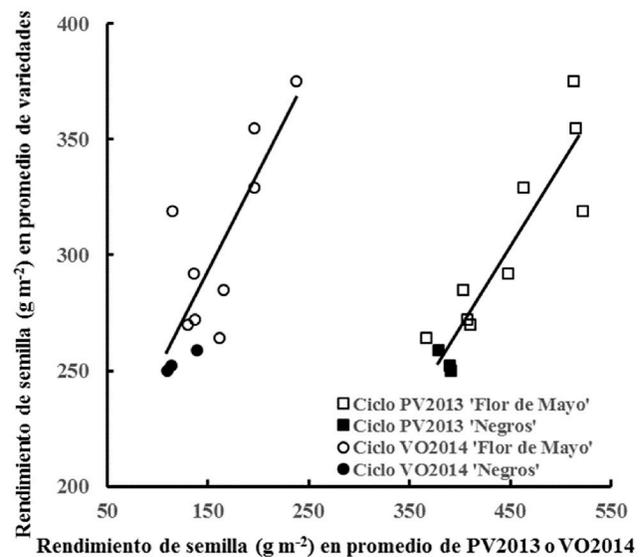


Figura 3

Relación entre el rendimiento de semilla en promedio del ciclo PV2013 o VO2014 y el rendimiento de semilla en promedio de variedades, para los cultivares del tipo Flor de Mayo y Negros. Montecillo, Texcoco, Estado de México.
 Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4

Efecto del contenido de humedad edáfica en el rendimiento de semilla, sus componentes y fenología. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Riego y secano

Variedad	RS (g m ⁻²)	BMA (g m ⁻²)	VN M ⁻²	SN M ⁻²	P100S (g)	S V	AP (cm)	IF	F	MF
Riego										
FM 2000	387a	724a	327abc	1850abcde	65a	6cd	91a	50de	54de	128a
FM RMC	393a	731a	343ab	1962abc	56b	6c	88ab	48e	54cde	120d
FM M38	356abc	720ab	344ab	1835abcde	50cd	5de	70cde	54bc	57bc	128a
FM Sol	367ab	624abcd	270bc	1697abcde	52bc	6ab	83abc	45f	51e	121cd
Michoacán 128	357abc	645abc	353a	1884abcd	54bc	5e	62ef	57a	60a	126ab
FM Noura	302bcd	613abcd	316abc	1621bcde	57b	5e	81abcd	55ab	59ab	129a
FM Anita	284cd	497d	262c	1392e	51cd	5e	68cde	48e	53e	119d
FM Corregidora	287cd	593bcd	271bc	1444de	50cd	5e	68de	54abc	56bcd	129a
FM Bajío	283cd	514d	287abc	1498cde	46d	5e	68de	50de	54de	118d
Criollo San Andrés	275d	554cd	335abc	2103a	32e	6a	49fg	54abc	57ab	122bcd
Negro Cotaxtla 91	272d	540cd	335abc	1978ab	33e	6bc	44g	55abc	59ab	130a
Negro Veracruz	294bcd	562cd	336abc	2042ab	36e	6c	76bcde	52cd	56bcd	125abc
Media	321	610	315	1775	48	5.4	71	52	56	125
DMS ($p \leq 0.05$) ^a	76	130	79	477	5	0.3	14	3	3	5
Secano										
FM 2000	363a	720a	289ab	1612ab	53ab	5ab	73ab	46c	50de	122bc
FM RMC	317ab	592b	259abcd	1527bc	54a	6a	84a	47c	52d	118cd
FM M38	301bc	556bc	269abc	1455bc	49bcd	5bcd	69bc	51ab	56bc	125ab
FM Sol	270bcd	503bcde	236bcd	1401bcd	51abc	6a	73ab	45c	50e	119cd
Michoacán 128	227de	497bcde	243bcd	1362bcd	43e	5bc	57c	52ab	57abc	123abc
FM Noura	267bcd	533bcd	210d	1137d	48cd	5de	64bc	54a	58a	128a
FM Anita	260bcde	466cdef	245abcd	1272cd	49bcd	5cde	66bc	46c	51de	115d
FM Corregidora	254cde	503bcde	252abcd	1324cd	50abcd	5cde	64bc	51b	55c	122abc
FM Bajío	246cde	442def	223cd	1147d	45de	5e	68bc	47c	52de	115d
Criollo San Andrés	243cde	516bcde	297a	1815a	31g	6a	43d	53a	57ab	120bcd
Negro Cotaxtla 91	231de	398f	282ab	1629ab	33fg	6a	42d	53ab	57abc	125ab
Negro Veracruz	206e	424ef	260abcd	1536bc	37f	6a	71b	52ab	56bc	123abc
Media	265	513	255	1435	45	5.2	64	50	54	121
DMS ($p \leq 0.05$) ^b	60	97	53	272	5	0.3	13	3	2	6
DMS ($P \leq 0.05$) ^c	33	55	27	143	1	0.1	5	1	1	3

RS: rendimiento de semilla; BMA: biomasa aérea; VN M⁻²: vainas normales m⁻²; SN M⁻²: semillas normales m⁻²; P100S: peso de 100 semillas; S V: semillas por vaina; AP: altura de planta; IF: inicio de floración; F: floración; MF: madurez fisiológica ^{ab}; DMS: Diferencia mínima significativa para la comparación de medias entre genotipos en R; comparación entre genotipos en S, y comparación entre tratamientos de humedad edáfica, respectivamente. Medias con letra distinta en una columna son estadísticamente diferentes (DMS, $p \leq 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

El déficit hídrico edáfico fue sin duda el principal factor limitante del crecimiento, desarrollo y rendimiento del frijol; la variación en intensidad y severidad de la sequía de año en año y localidad en localidad, requiere el uso de variedades con diferente nivel de tolerancia en diferentes regiones; la evaluación de distintos genotipos en diferentes ambientes permite la identificación de los genotipos apropiados para áreas expuestas a niveles similares de estrés hídrico; en condiciones de secano con frecuencia la sequía es variable y en estos casos, la selección debe enfocarse a genotipos que tengan un buen comportamiento en rendimiento en todas las situaciones con estrés hídrico (Raman *et al.*, 2012).

La variación en rendimiento en promedio de R se relacionó positiva y significativa con la variación en rendimiento en promedio de variedades (V) ($R = 0.84(V) + 25$, $r = 0.93$, $p \leq 0.01$, figura 4), y la variación en rendimiento en promedio de S se asoció positiva y significativa con la variación en rendimiento en promedio de variedades ($S = 0.88(V) + 59$, $r = 0.92$, $p \leq 0.01$, figura 4). Se observó que el rendimiento en S con déficit hídrico durante la formación de la semilla fue menor que en R; sin embargo, las variedades del tipo Flor de Mayo produjeron mayor rendimiento de semilla que las variedades de color negro en R y S, siendo las variedades del tipo Flor de Mayo FM 2000 y FM RMC las que exhibieron el más alto rendimiento de semilla tanto en R como en S (figura 4).

Efecto del genotipo

La comparación del rendimiento de semilla y sus componentes entre las variedades en promedio de ciclos de cultivo (PV2013 y VO2014) y contenido de humedad del suelo (R y S), mostró que las variedades FM 2000 y FM RMC exhibieron mayor rendimiento de semilla que las otras variedades, y que el alto rendimiento en estas variedades estuvo acompañado de alta biomasa aérea. Adicionalmente estas variedades mostraron mayor número de vainas y semillas normales m^{-2} , y mayor peso de 100 semillas en FM 2000, altura de planta en FM RMC y número de días a madurez fisiológica en FM 2000 (tabla 2 y tabla 5). Las variedades de frijol del tipo 'Flor de Mayo' con un mejor comportamiento del rendimiento y sus componentes biomasa aérea, vainas normales m^{-2} , semillas normales m^{-2} , semillas por vaina y peso de 100 semillas en condiciones de estrés hídrico en floración y en el periodo de formación de la semilla en Montecillo, Texcoco, México, fueron FM Noura y FM Anita, y FM M38 (excepto, para semillas por vaina) (Barrios-Gómez *et al.*, 2010). El comportamiento diferencial del genotipo ha sido observado también en condiciones de

humedad residual con sequía terminal y acidez del suelo en el sur de Veracruz, donde las variedades Negro Veracruz, Criollo San Andrés y Negro Cotaxtla 91 tuvieron mayor rendimiento de semilla, biomasa área y altura de planta; 'Flor de Junio' Marcela mostró alto rendimiento de semilla, biomasa aérea y vainas normales m^{-2} , y Criollo San Andrés el más alto índice de cosecha entre todas variedades incluidas en el estudio (Morales-Rivera *et al.*, 2015).

Efecto de la interacción ambiente x genotipo

El ambiente representado por el ciclo del cultivo y año (PV2013 y VO2014) (tabla 3), y el contenido de humedad edáfica (R y S) (tabla 4), y el genotipo representado por las diferentes variedades (tabla 5) fueron los factores con mayor influencia en el rendimiento de semilla y sus componentes, y la fenología de la planta. No obstante, se observó que la interacción entre el genotipo y el ambiente en sus diferentes modalidades tuvo efectos significativos en el rendimiento y algunos de sus componentes, siendo las interacciones ciclo de cultivo x variedad (tabla 3) y contenido de humedad del suelo x variedad (tabla 4), las más significativas.

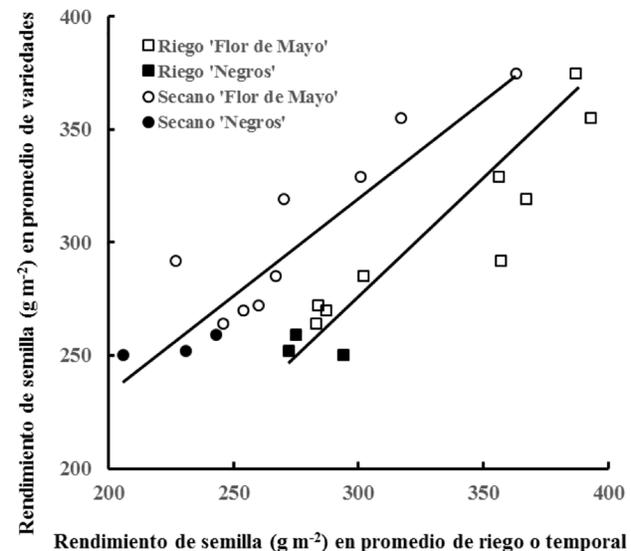


Figura 4

Relación entre el rendimiento de semilla en promedio de riego o secano y el rendimiento de semilla en promedio de variedades, para los cultivares del tipo Flor de Mayo y Negros. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
 Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5

Efecto del genotipo en el rendimiento, sus componentes y fenología de frijol. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Ciclo primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014 en riego y seco. Promedio de Años

Variedad	RS (g m ⁻²)	BMA (g m ⁻²)	VNM ⁻²	SNM ⁻²	P100S (g)	S V	AP (cm)	IF	F	MF
FM 2000	375a	722a	308ab	1731ab	59a	5c	82ab	48d	52de	125ab
FM RMC	355ab	661ab	301abc	1745ab	55b	6bc	86a	48d	53d	119de
FM M38	329bc	638bc	306ab	1645b	50de	5d	69d	52bc	56bc	127ab
FM Sol	319bcd	564cde	253d	1549bcd	52cd	6ab	78abc	45e	51e	120de
Michoacán 128	292cde	571cd	298abcd	1623bc	48e	5d	59e	54a	59a	125b
FM Noura	285de	573cd	263bcd	1379cd	52bc	5e	72cd	54a	58a	128a
FM Anita	272e	481fg	253d	1332d	50de	5e	67de	47d	52de	117e
FM Corregidora	270e	548def	261cd	1384cd	50cde	5de	66de	52bc	56c	125ab
FM Bajío	264e	478fg	255d	1322d	46f	5e	68de	48d	53d	117e
Criollo San Andrés	259e	535defg	316a	1959a	32h	6a	46f	54ab	57ab	121cd
Negro Cotaxtla 91	252e	469g	309a	1803ab	33h	6bc	43f	54ab	58ab	127ab
Negro Veracruz	250e	493efg	298abcd	1789ab	36g	6bc	73bcd	52c	56c	124bc
Media	293	561	285	1605	47	5	67	51	55	123
DMS ($p \leq 0.05$) ^a	43	75	45	256	3	0.2	9	2	2	3

RS: rendimiento de semilla; BMA: biomasa aérea; VN M⁻²: vainas normales m⁻²; SN M⁻²: semillas normales m⁻²; P100S: peso de 100 semillas; S V: semillas por vaina; AP: altura de planta; IF: inicio de floración; F: floración; MF: madurez fisiológica. ^aDMS = Diferencia mínima significativa para la comparación de medias entre genotipos. Medias con letra distinta en una columna son estadísticamente diferentes (DMS, $p \leq 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

En el comportamiento de los genotipos en forma individual dentro de los ciclos de cultivo (interacción ciclo de cultivo \times variedad), se determinó que las variedades FM 2000, FM RMC, FM M38, FM Sol y Michoacán 128, produjeron mayor rendimiento de semilla que las demás variedades en PV2013 y únicamente FM 2000, tuvo mayor rendimiento de semilla que las otras variedades en VO2014; las variedades FM 2000, FM RMC, FM M38, FM Sol y Michoacán 128, además de alto rendimiento también tuvieron alta biomasa aérea, peso de 100 semillas y mayor número de días a madurez fisiológica, mientras la variedad FM 2000, además de alto rendimiento tuvo alta biomasa aérea, número de vainas y semillas normales m⁻², peso de 100 semillas, semillas por vaina, altura de planta y mayor número de días a madurez fisiológica (tabla 3). El cultivar FM 2000 exhibió el más alto rendimiento de semilla y mayor estabilidad del rendimiento entre todos los genotipos incluidos en el presente estudio; la estabilidad del rendimiento es una de las características más deseables en el mejoramiento del rendimiento en ambientes con diferencias en régimen térmico, distribución de la lluvia y tipos de suelo, al considerar que la estabilidad en el comportamiento o la aptitud para mostrar un mínimo de interacción con el ambiente es una característica genética útil en la evaluación preliminar, para identificar genotipos estables que pueden ser de gran ayuda en la selección de cultivares superiores (Eberhart & Russell, 1966). No obstante, siendo la búsqueda de genes de tolerancia a sequía el principal objetivo de la selección para ambientes con estrés abiótico, hay que considerar la utilidad de

aquellos genotipos con buen comportamiento agronómico en condiciones favorables de humedad; las variedades FM RMC, FM M38, FM Sol y Michoacán 128 tuvieron alto rendimiento y biomasa aérea en PV2013, y pueden ser genotipos deseables para ambientes con menor intensidad y severidad del estrés hídrico; al respecto, en otro estudio, se observó que al menos 20% de las líneas (F_{3,5}) derivadas de una cruce triple de frijol común y seleccionadas bajo sequía en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia, tuvieron efectos genéticos positivos en el rendimiento de semilla bajo condiciones de riego en Melkassa, Etiopía (Assefa et al., 2015).

En la interacción del contenido de humedad edáfica \times variedad se determinó que las variedades FM 2000, FM RMC, FM M38, FM Sol y Michoacán 128 tuvieron mayor rendimiento de semilla que las demás variedades en R y solo la variedad FM 2000 tuvo mayor rendimiento de semilla que las otras variedades en S en promedio de PV2013 y VO2014. El alto rendimiento de semilla de las variedades FM 2000, FM RMC, FM M38, FM Sol y Michoacán 128 en R estuvo acompañado de alta biomasa aérea y número de vainas y semillas normales m⁻², mientras el alto rendimiento de semilla de la variedad FM 2000 en S estuvo acompañado de alta biomasa aérea, número de vainas normales m⁻² y peso de 100 semillas (tabla 4). Sin duda, la interacción genotipo \times ambiente es importante en el desarrollo de variedades mejoradas y está presente comúnmente, al utilizar líneas puras, híbridos de cruce simple o doble, cruces élite, líneas S1 o cualquier otro material genético

(Eberhart & Russell, 1966); cuando la interacción genotipo \times ambiente es alta, reduce el avance genético en la selección (Comstock & Moll, 1963).

El efecto conjunto del ciclo de cultivo y el contenido de humedad del suelo (interacción ciclo de cultivo \times contenido de humedad del suelo), solo afectó de forma significativa al número de semillas por vaina, peso de 100 semillas y días a madurez fisiológica (datos no mostrados); el número de semillas por vaina en R fue similar a S en PV2013 y mayor que en R y S en VO2014; el peso de 100 semillas en R en PV2013 fue mayor que en S en PV2013 y R y S en VO2014; y el número de días a madurez fisiológica en R en PV2013 fue un día mayor que en S en PV2013, y ocho y cuatro días menor que en R y S en VO2014.

La interacción ciclo de cultivo \times contenido de humedad del suelo \times variedad fue significativa, únicamente para el peso de 100 semillas; la variedad FM 2000 tuvo mayor peso de 100 semillas que las demás variedades en R y S en PV2013, y R y S en VO2014 (datos no mostrados).

Relación entre el rendimiento de semilla, sus componentes y fenología

El análisis del coeficiente de correlación entre el rendimiento de semilla y sus componentes en promedio de todas las variedades del tipo 'Flor de Mayo' y frijol de color negro, en PV2013 y VO2014, y R y S mostró una relación positiva y significativa con la biomasa aérea, peso de 100 semillas y altura de planta; el componente biomasa aérea a su vez, estuvo relacionado positiva y significativamente con

el peso de 100 semillas y altura de planta; por el contrario la altura de planta se relacionó negativa y significativamente con el número de días a inicio de floración y días a floración (tabla 6).

El peso de 100 semillas, además de relacionarse positivamente con la altura de planta, se relacionó negativa y significativamente con el número de semillas por vaina y número de días a inicio de floración y días a floración; la altura de planta, además de haberse relacionado positivamente con el rendimiento de semilla, biomasa aérea y el peso de 100 semillas, se relacionó negativamente con el número de días a inicio de floración y días a floración (tabla 6).

Las correlaciones positivas entre el rendimiento de semilla y la biomasa aérea, peso de 100 semillas y altura de planta en promedio de ciclos de cultivo, años y contenido de humedad en el suelo confirmaron reportes previos (Barrios-Gómez *et al.*, 2010; Morales-Rivera *et al.*, 2015).

Estos resultados indican que los genotipos que produjeron alto rendimiento de semilla, también tuvieron alta biomasa aérea, semilla de mayor peso y produjeron plantas altas, caracteres relacionados con el rendimiento tanto en condiciones favorables de humedad como en condiciones de déficit hídrico (Beebe, Rao, Cajiao & Grajales, 2008; Klaedtke *et al.*, 2012); mayor altura de planta implica mayor biomasa en la planta y esta mayor biomasa, puede significar mayor disponibilidad de fotoasimilados para una mayor capacidad de removilización y asignación de reservas de los tallos y ramas a la semilla, y al rendimiento económico del cultivo en condiciones de humedad y estrés hídrico (Klaedtke *et al.*, 2012).

Tabla 6 Coeficientes de correlación entre el rendimiento de semilla y sus componentes, y la fenología en las variedades de frijol del tipo 'Flor de Mayo' y frijol negro, en promedio de PV2013 y VO2014, y riego y seco. Montecillo, Texcoco, Estado de México

Característica de la planta	RS (g m ⁻²)	BMA (g m ⁻²)	VNM ⁻²	SNM ⁻²	P100S (g)	S V	AP (cm)	IF (Días)	F (Días)	MF (Días)
RS (g m ⁻²)	-	0.94**	0.21ns	0.12ns	0.79**	-0.14ns	0.70**	-0.47ns	-0.48ns	0.03ns
BMFV (g m ⁻²)	-	-	0.37ns	0.23ns	0.70**	-0.19ns	0.60*	-0.18ns	-0.23ns	0.25ns
VNM ⁻²	-	-	-	0.91**	-0.36ns	0.36ns	-0.28ns	0.48ns	0.41ns	0.41ns
SNM ⁻²	-	-	-	-	-0.49*	0.68**	-0.28ns	0.33ns	0.26ns	0.23ns
P200S (g)	-	-	-	-	-	-0.54*	0.80**	-0.56*	-0.52*	-0.07ns
SV ¹	-	-	-	-	-	-	-0.15ns	-0.02ns	-0.03ns	-0.16ns
AP (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-0.66**	-0.65**	-0.21ns
IF (Días)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.98**	0.71**
A (Días)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.69**
MF (Días)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

RS: rendimiento de semilla; BMA: biomasa aérea; VN M⁻²: vainas normales m⁻²; SN M⁻²: semillas normales m⁻²; P100S: peso de 100 semillas; S V: semillas por vaina; AP: altura de planta; IF: inicio de floración; F: floración; MF: madurez fisiológica, en variedades de frijol del tipo 'Flor de Mayo' y frijol negro en promedio de primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014, y riego y seco, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. *($p \leq 0.05$); **($p \leq 0.01$); ns = no significativo.

Fuente: Elaboración propia.

En el presente estudio, el rendimiento y sus componentes disminuyeron por efecto del ciclo de cultivo y el déficit hídrico en temporal. Sin embargo, los resultados tienen implicaciones en la selección para resistencia a sequía; se identificó al menos un genotipo con estabilidad en el rendimiento y sus componentes en condiciones de riego y temporal con déficit hídrico y también se identificaron algunos caracteres de la planta altamente correlacionados con el rendimiento de semilla, que al parecer se podrían utilizar en la selección exitosa de genotipos resistentes a sequía, asumiendo su alta heredabilidad, baja interacción genotipo \times ambiente y facilidad para la selección.

CONCLUSIONES

El ambiente integrado por el ciclo de cultivo y el contenido de humedad edáfica redujo el rendimiento de semilla y sus componentes y modificó la fenología en todos los genotipos de frijol.

La menor proporción de lluvia registrada durante la etapa reproductiva en el ciclo VO2014 redujo la disponibilidad de humedad en el suelo y causó una severa reducción en el rendimiento y sus componentes con respecto al ciclo PV2013; el rendimiento de semilla, biomasa aérea, y número de vainas y semillas normales m^{-2} , disminuyeron 35%, 51%, 50% y 63%, y el inicio de floración, floración y madurez fisiológica en VO2014 ocurrieron 5 d, 6 d y 7 d después que en PV2013.

El déficit hídrico del suelo durante la etapa reproductiva tuvo menor efecto que el déficit hídrico en todo ciclo de cultivo; las deficiencias hídricas del suelo en secano disminuyeron el rendimiento de semilla, biomasa aérea, y el número de vainas y semillas normales m^{-2} en 17%, 16%, 19% y 19% con respecto a riego; en secano el inicio de floración, floración y madurez fisiológica se presentaron 10 d, 2 d y 2 d antes que en riego.

Las variedades FM 2000 y FM RMC exhibieron el más alto rendimiento de semilla y biomasa aérea en promedio de los dos ciclos de cultivo y niveles de humedad en el suelo, debido a un mayor número de vainas y semillas normales m^{-2} , peso de 100 semillas, altura de planta y menor número de días al inicio de floración y floración.

El ciclo de cultivo, el contenido hídrico del suelo y la variedad influyeron en la interacción ambiente \times genotipo; las variedades FM 2000 y FM RMC, exhibieron mayor rendimiento de semilla que los demás genotipos del tipo 'Flor de Mayo', criollos y negros en promedio de PV2013, VO2014, riego y secano; la variedad FM 2000 mostró el

más alto rendimiento de semilla y la mayor estabilidad del rendimiento en promedio de los ciclos de cultivo y tratamientos de humedad del suelo.

REFERENCIAS

- Acosta-Díaz, E., Kohashi-Shibata, J., & Acosta-Gallegos, J. A. (1997). Rendimiento y sus componentes en frijol bajo condiciones de sequía. *Agricultura Técnica en México*, 23(2), 139-150.
- Acosta-Díaz, E., Trejo-López, C., Ruiz-Posadas, L., Padilla-Ramírez, J. S., & Acosta-Gallegos, J. A. (2004). Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. *Terra Latinoamericana*, 22(1), 49-58.
- Acosta-Díaz, E., Acosta-Gallegos, J. A., Trejo-López, C., Padilla-Ramírez, J. S., & Amador-Ramírez, M. D. (2009). Adaptation traits in dry bean cultivars grown under drought stress. *Agricultura Técnica en México*, 35(4), 419-428.
- Assefa, T., Wu, J., Beebe, S. E., Rao, I. M., Marcomin D., & Claude R. J. (2015). Improving adaptation to drought stress in small red common bean: phenotypic differences and predicted genotypic effects on grain yield, yield components and harvest index. *Euphytica*, 203(3), 477-489.
- Barrios-Gómez, E. J., López-Castañeda, C., Kohashi-Shibata, J., Acosta-Gallegos, J. A., Miranda-Colín, S., & Mayek-Pérez, N. (2010). Rendimiento de semilla y sus componentes en frijol Flor de Mayo en el centro de México. *Agronomía*, 44(4), 481-489.
- Barrios-Gómez, E. J., López-Castañeda, C., & Kohashi-Shibata, J. (2011). Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo "Flor de Mayo". *Agronomía Costarricense*, 35(1), 131-145.
- Beebe, S. E., Rao, I. M., Cajiao, C., & Grajales, M. (2008). Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. *Crop Science*, 48(2), 582-592. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.07.0404>
- Comstock, R. E., & Moll, R. H. (1963). *Genotype-environment interactions*. Symposium on statistical genetics and plant breeding. National Academy of Science-National Research Council (164-196). Washington, D.C., USA. Publication 982.
- Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability Parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36-40. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
- García, E. (1987). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. 4a. ed. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F.
- Getachew, E., Mohammed, A., Tesfaye, A., & Nebiyu, A. (2014). Growth and yield response of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in relation to time of sowing and plant spacing in the humid tropics of Jimma, southwest Ethiopia. *International Journal of Soil and Crop Sciences*, 2(7), 61-67.
- Haterlein, A. J. (1983). Bean. En: T. P. Tearce, M. M. Peet. (Eds.). *Crop Water Relations*. (Pps. 157-185) New York: Wiley.
- Kohashi-Shibata, J. (1996). *Aspectos de la morfología y fisiología del frijol, Phaseolus vulgaris L. y su relación con el rendimiento*. Montecillo, Edo. de México: Colegio de Postgraduados.

- Klaedtke, S. M., Cajiao, C., Grajales, M., Polanía, J., Borrero, G., Guerrero, A., Rivera, M., Rao, I., Beebe, S. E., & León, J. (2012). Photosynthetic remobilization capacity from drought-adapted common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines can improve yield potential of interspecific populations within the secondary gene pool. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 4(4), 49-61. doi: <https://doi.org/10.5897/JPBBS11.087>
- López-Salinas, E., Acosta-Gallegos, J. A., Tosquy-Valle, O. H., Salinas-Pérez, R. A., Sánchez-García, B. M., Rosales-Serna, R., González-Rivas, C., Moreno-Gallegos, T., Villar-Sánchez, B., Cortinas-Escobar, H. M., & Zandate-Hernández, R. (2011). Estabilidad de rendimiento en genotipos mesoamericanos de frijol de grano negro en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(1), 29-40.
- Manjeru, P., Madanzi, T., Makeredza, B., Nciizah, A., & Sithole, M. (October, 2007). Effects of water stress at different growth stages on components and grain yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). 8th African Crop Science Society Conference held at the Minia University, El-Minia, Egypt, 27-31 October 2007.
- Morales-Rivera, A., López-Castañeda, C., Kohashi-Shibata, J., Miranda-Colín, S., & García-Esteva, A. (2015). Comparación de los componentes del rendimiento en variedades de frijol en condiciones de acidez y humedad residual del suelo en el sur de Veracruz. *Terra Latinoamericana*, 33(4), 309-319.
- Nwadike, C., & Vange, T. (2015). Effects of planting date on performance of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces of the Jos plateau: A preliminary studies. *International Journal of Current Research and Academic Review*, 3(8), 309-324.
- Raman, A., Verulkar, S., Mandal, N., Variar, M., Shukla, V., Dwivedi, J., Singh, B., Singh, O., Swain, P., Mall, A., Robin, S., Chandrababu, R., Jain, A., Ram, T., Hittalmani, S., Haefele, S., Piepho, H.P., & Kumar, A. (2012). Drought yield index to select high yielding rice lines under different drought stress severities. *Rice*, 5(1), 31-42. doi: <https://doi.org/10.1186/1939-8433-5-31>
- Rainey, K. M., & Griffiths, P. D. (2005). Differential response of common bean genotypes to high temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(1), 18-23.
- Rosales-Serna, R., Acosta-Gallegos, J. A., Muruaga-Martínez, J. S., Hernández-Casillas, J. M., Esquivel-Esquivel, G., & Pérez-Herrera, P. (2004). *Varietades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Edo. de México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Rosales, M. A., Ocampo, E., Rodríguez-Valentín, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J., & Covarrubias, A. A. (2012). Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 56, 24-34. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.04.007>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). (2014). Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera, Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Recuperado el 20 de noviembre de 2016 de <http://www.sagarpa.gob.mx>
- SAS (Statistical Analysis System). *Versión 9.4 para Windows*. (2012). SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Yoldas, F., & Esiyok, D. (2007). Effects of sowing dates and cultural treatments on growth, quality and yield of processing beans. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(15), 2470-2474. doi: <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.2470.2474>