

# RENDIMIENTO DE SEMILLA, Y SUS COMPONENTES EN FRIJOL FLOR DE MAYO EN EL CENTRO DE MÉXICO

## SEED YIELD AND ITS COMPONENTS IN FLOR DE MAYO BEAN IN CENTRAL MÉXICO

Edwin J. Barrios-Gómez<sup>1\*</sup>, Cándido López-Castañeda<sup>1</sup>, Josué Kohashi-Shibata<sup>2</sup>,  
Jorge A. Acosta-Gallegos<sup>3</sup>, Salvador Miranda-Colín<sup>1</sup>, Netzahualcoyotl Mayek-Pérez<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Genética, <sup>2</sup>Botánica, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Estado de México. (edwinb78@colpos.mx). <sup>3</sup>Programa de Frijol, Campo Experimental Bajío, INIFAP, Apartado Postal Número 112. 8000. Celaya, Guanajuato, México. <sup>4</sup>Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional. 77810. Boulevard del Maestro, s/n esquina Elías Piña, Colonia Narciso Mendoza, Reynosa, Tamaulipas, México.

### RESUMEN

En el Centro de México el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo Flor de Mayo (FM) es uno de los tipos comerciales de mayor demanda. El objetivo del presente estudio fue caracterizar variedades de frijol del tipo FM por su rendimiento de semilla y componentes de rendimiento en condiciones de riego y seco. Durante el ciclo primavera-verano de 2007 se diseñaron tres experimentos en bloques completos al azar: uno en Celaya con riegos de auxilio (punta de riego), estado de Guanajuato, y uno en riego y otro en seco en Montecillo, Estado de México. Se evaluaron ocho variedades del tipo FM y la variedad Michoacán 128, del estado de Michoacán, México; todas de hábito indeterminado tipo III. Hubo diferencias altamente significativas para ambientes, variedades, pero no para la interacción ambiente×variedad. En promedio de ambientes Celaya presentó los rendimientos de semilla más altos, seguido por Montecillo en riego. En promedio de variedades por ambientes, FM Noura, Anita y M38 produjeron mayor rendimiento de semilla, biomasa aérea final, vainas y semillas normales y peso de 100 semillas ( $p \leq 0.01$ ). Michoacán 128 presentó los más bajos valores para rendimiento de semilla y sus componentes. El rendimiento de semilla se asoció con biomasa aérea final ( $R^2=0.99^{**}$ ), vainas normales ( $R^2=0.76^{**}$ ), semillas normales ( $R^2=0.71^*$ ) y peso de 100 semillas ( $R^2=0.6^*$ ). Las variedades de más reciente liberación presentaron mayor rendimiento de semilla y de sus componentes, y biomasa aérea final ( $p \leq 0.01$ ).

**Palabras clave:** *Phaseolus vulgaris* L., hábito de crecimiento tipo III, rendimiento de semilla, riego, seco.

\*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: Septiembre, 2009. Aprobado: Abril, 2010.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 44: 481-489. 2010.

### ABSTRACT

In central México, Flor de Mayo (FM) bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most highly demanded commercial types. The objective of this study was to characterize FM type bean varieties for their seed yield and yield components under irrigation and rainfed conditions. During the spring-summer cycle of 2007, three experiments were designed in completely randomized blocks: one in Celaya, state of Guanajuato, with supplementary irrigation (single early irrigation), and one in Montecillo, Estado de México, under rainfed conditions. Eight FM varieties and the variety Michoacán 128 from the state of Michoacán, México, were evaluated. All varieties were of type III indeterminate growth habit. There were highly significant differences for environments and varieties, but not for the environment×variety interaction. On average, the environments of Celaya resulted in higher seed yields, followed by Montecillo under irrigation. On average, environment×variety (FM Noura, Anita and M38) produced higher seed yield, final aerial biomass, normal pods and seeds, and weight of 100 seeds ( $p \leq 0.01$ ). Michoacán 128 showed the lowest values for seed yield and its components. Seed yield was associated with final aerial biomass ( $R^2=0.99^{**}$ ), normal pods ( $R^2=0.75^{**}$ ), normal seeds ( $R^2=0.71$ ) and weight of 100 seeds ( $R^2=0.6^*$ ). The most recently released varieties showed higher seed yield and values of its components, as well as final aerial biomass ( $p \leq 0.01$ ).

**Key words:** *Phaseolus vulgaris* L., type III growth habit, seed yield, irrigation, rainfed.

### INTRODUCTION

In México beans (*Phaseolus vulgaris* L.) is cultivated on an average of 2.3 million ha, with an annual production of 1.12 million t.

## INTRODUCCIÓN

En México, el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se cultiva en promedio en 2.3 millones ha, con una producción anual de 1.12 millones t. El 20 % de la superficie se siembra en riego con rendimientos de 1442 kg ha<sup>-1</sup> y 80 % en seco (S) con promedios de 500 kg ha<sup>-1</sup>. Los bajos rendimientos en S se deben principalmente a periodos de sequía intermitente en el ciclo primavera-verano (PV) (SAGARPA, 2008). Este problema se agudiza en áreas con suelos pobres (Acosta-Gallegos *et al.*, 2000) y altas temperaturas. Más de las tres cuartas partes de la superficie sembrada en S se establece en PV en el Altiplano Mexicano, donde la sequía intermitente es el principal factor limitante del rendimiento. La respuesta de las plantas a la sequía depende de la etapa fenológica en la que ocurra. La fenología es una de las características más importantes para la adaptación del frijol a las zonas de S donde se requiere un rápido desarrollo del cultivo (Turner, 1979; Acosta-Gallegos *et al.*, 2000). Otras características favorables de la planta para la adaptación del frijol a la sequía o temporal errático son el tamaño de la semilla, el hábito de crecimiento y el sistema radical (Terán y Singh, 2002), así como la acumulación de biomasa y la tasa de movilización de fotoasimilados de ramas y tallo hacia la semilla (Rosales-Serna *et al.*, 2004). Además, la selección de plantas con resistencia a plagas y a enfermedades foliares y radicales debe integrarse en los programas de mejoramiento (Singh *et al.*, 2007). Las variedades de frijol tipo Flor de Mayo (FM) usadas en el presente estudio se han incluido en muchas investigaciones; sin embargo, no se ha determinado el avance de su mejoramiento en conjunto, y la hipótesis es que las variedades de más reciente liberación tienen mayor rendimiento. El objetivo del presente estudio fue caracterizar un grupo de variedades de frijol del tipo FM, por su rendimiento de semilla en condiciones de riego y seco.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización de los experimentos

Se establecieron tres experimentos en el ciclo PV 2007; uno en punta de riego en el Campo Agrícola Experimental del Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Celaya, estado de Guanajuato,

Twenty percent of the cultivated area is irrigated with yields of 1442 kg ha<sup>-1</sup>, and the remaining 80 % is rainfed (S) averaging 500 kg ha<sup>-1</sup>. The low yields in S are due mainly to intermittent periods of drought during the spring-summer growing cycle (PV) (SAGARPA, 2008). This problem is acute in areas where soil is poor (Acosta-Gallegos *et al.*, 2000) and temperatures are high. More than three fourths of the rainfed area on the Mexican high plateau is planted in PV. Here, intermittent drought is the principal limiting factor for yield. Plant response to drought depends on the phenological stage in which it occurs. Phenology is one of the most important aspects for adaptation of beans to the S zones where rapid crop development is required (Turner, 1979; Acosta-Gallegos *et al.*, 2000). Other plant traits that favor adaptation of beans to drought or erratic rainfall are seed size, growth habit and the root system (Terán and Singh, 2002), as well as biomass accumulation and the rate at which photoassimilates are mobilized from branches and stem to the seed (Rosales-Serna *et al.*, 2004). Besides, selecting plants that are resistant to pests and leaf and root diseases should be included in breeding programs (Singh *et al.*, 2007). Bean varieties of the Flor de Mayo (FM) type used in this study have been widely included in research; however, the advances in its overall improvement have not been determined, though it is hypothesized that the most recently released varieties are higher yielding. The objective of this study was to characterize a group of bean varieties of the FM type by their seed yield under irrigation and rainfed conditions.

## MATERIALS AND METHODS

### Location of the experiments

Three experiments were established in the 2007 spring-summer cycle: one with auxiliary irrigation in the El Bajío Experimental Agriculture Station, of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Celaya, state of Guanajuato, México (20° 34' N and 100° 50' W; 1765 m altitude); the other two, irrigation (R) and rainfed (S) were set up in the experimental agriculture station of the Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México (19° 21' N and 98° 55' W; 2250 m altitude). These will be referred to here as Celaya, Montecillo R and Montecillo S.

México (20° 34' N y 100° 50' O y 1765 m, altitud); y otros dos riego (R) y seco (S) en el Campo Agrícola Experimental del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México, México (19° 21' N y 98° 55' O y 2250 m). En adelante dichos ambientes serán referidos como Celaya, Montecillo R y Montecillo S.

**Material genético**

Se usaron ocho variedades de frijol tipo FM utilizadas en siembras de R y S en la región templada subhúmeda; además se incluyó el material criollo Michoacán 128 (Cuadro 1).

**Diseño experimental**

Para los tres experimentos el diseño fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones; la unidad experimental consistió de dos surcos de 0.80 m de separación y 4 m de longitud. En Celaya se aplicó un riego antes de la siembra (3 de abril de 2007) en hileras en el fondo del surco; 15 d después de la siembra (dds) se aclaró para ajustar la población a 150 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Por la falta de lluvia en Celaya, se aplicaron tres riegos complementarios a los 20 (etapa vegetativa), 55 y 65 dds (plena y final de la floración), por lo que se consideraría como punta de riego. Los experimentos en Montecillo se sembraron el 12 de abril de 2007; en el de R se aplicó agua según las necesidades del cultivo y en S se aplicó un riego hasta los 24 dds (25 d antes del inicio de la floración). El desarrollo posterior de las plantas dependió de la lluvia.

**VARIABLES REGISTRADAS**

Las variables fenológicas registradas fueron días a inicio de floración (IF) y días a madurez fisiológica (MF). Una vez alcanzada la madurez fisiológica se cosecharon todas las plantas en un 1.0 m lineal (0.8 m<sup>2</sup>) en cada unidad experimental para determinar el rendimiento de semilla (g m<sup>-2</sup>) y sus componentes [vainas normales m<sup>-2</sup>, semillas normales m<sup>-2</sup>, semillas vaina<sup>-1</sup> y peso de 100 semillas (g)] y la biomasa aérea final (g m<sup>-2</sup>).

**Contenido hídrico edáfico**

El contenido hídrico edáfico en Celaya alcanzó un nivel cercano al porcentaje de punto de marchitez permanente (PMP) en las profundidades de 0-20 y 20-40 cm entre los 40 y 55 dds, periodo en el que ocurrió la floración. Después del segundo y tercer riego de auxilio (55 y 65 dds), el contenido de humedad en el suelo aumentó y se mantuvo cercano a la capacidad de

**Genetic material**

The eight bean varieties of the FM type included in the experiments were used in R and S in the temperate subhumid region. Also included was the local material classified as Michoacán 128 (Table 1).

**Experimental design**

For the three experiments, complete randomized blocks were used with four replications. The experimental unit consisted of two 4-m rows 0.80 m apart. In Celaya, irrigation was applied once before sowing (April 3, 2007), which was done at the bottom of the furrow. Fifteen days after sowing (das), plants were thinned to adjust the population to 150 000 plants ha<sup>-1</sup>. Because of the lack of rainfall in Celaya, complementary irrigation was applied three times, 20 (vegetative stage), 55 and 65 das (full and end of flowering); it was thus considered auxiliary irrigation. The experiments in Montecillo were sown on April 12, 2007. In the R experiment, water was applied depending on the needs of the crop, and in S the crop was irrigated only once 24 das (25 d before initial flowering). Later development of the plants depended on rainfall.

**Recorded variables**

The phenological variables recorded were days to initial flowering (IF) and days to physiological maturity (MF). Once physiological maturity was reached, all the plants in 1.0 linear meter (0.8 m<sup>2</sup>) were harvested in each experimental unit to

**Cuadro 1. Variedades de frijol utilizadas en el estudio, 2007. Table 1. Bean varieties used in the study, 2007.**

Variedad <sup>†</sup>	Año de liberación	Días a floración
Flor de Mayo M38	1994	50-57
Flor de Mayo Corregidora	2000	48-56
Flor de Mayo Sol	1996	45-51
Flor de Mayo RMC	1981	44-55
Flor de Mayo Bajío	1989	45-47
Flor de Mayo Noura	2006	47-50
Flor de Mayo Anita	2002	44-62
Flor de Mayo 2000	2001	45-50
Michoacán 128 <sup>‡</sup>	1974 <sup>§</sup>	47-53

<sup>†</sup>Variedades proporcionadas por el INIFAP, Celaya, Guanajuato  
<sup>‡</sup> Varieties provided by INIFAP, Celaya, Guanajuato. <sup>§</sup>Material de Michoacán, proporcionado por el Dr. Salvador Miranda Colín, Colegio de Postgraduados, Montecillo  
<sup>¶</sup> Material from Michoacán, provided by Dr. Salvador Miranda Colín, Colegio de Postgraduados, Montecillo. <sup>§</sup>Año en que se recolectó  
<sup>∗</sup> Year material was collected.

campo (CC) hasta la madurez, dentro de los límites de la humedad aprovechable, debido a la gran cantidad de lluvia al final del ciclo. En Montecillo R el contenido hídrico edáfico a las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm se mantuvo cercano a la CC durante el ciclo del cultivo. En Montecillo S el contenido de humedad fue menor al PMP en la profundidad de 0-20 cm entre 35 y 70 dds, y en la profundidad de 20-40 cm entre 56 y 70 dds. La floración coincidió con el periodo de más bajo contenido hídrico edáfico en la profundidad de 0-20 cm (datos no mostrados).

**Datos meteorológicos**

Las temperaturas máximas y mínimas promedio del aire y la precipitación mensual acumulada se obtuvieron de las estaciones meteorológicas del INIFAP y del Colegio de Postgraduados, ubicadas a 200 m de los sitios experimentales (Figura 1).

**Análisis estadístico**

El análisis de varianza se hizo para todas las variables medidas individualmente con SAS (2000) como bloques completamente al azar ( $Y_{ij}=\mu+T_i+B_j+E_{ij}$ ) y en forma combinada como serie de experimentos ( $Y_{ijk}=\mu+L_i+T_i+LT_{ij}+B_{(i)j}+E_{ijk}$ ); para determinar las diferencias entre ambientes (L), variedades (T), y la interacción ambiente×variedad (L\*T). La prueba de diferencia mínima significativa honesta, Tukey (DSH,  $p\leq 0.05$ ) se usó para comparar medias de tratamientos.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La temperatura óptima para el crecimiento del frijol es 25 °C (Masaya y White, 1991) y la

determine seed yield ( $g\ m^{-2}$ ) and its components [normal pods  $m^{-2}$ , normal seeds  $m^{-2}$ , seeds  $pod^{-1}$ , and weight of 100 seeds (g)] and final aerial biomass ( $g\ m^{-2}$ ).

**Soil moisture content**

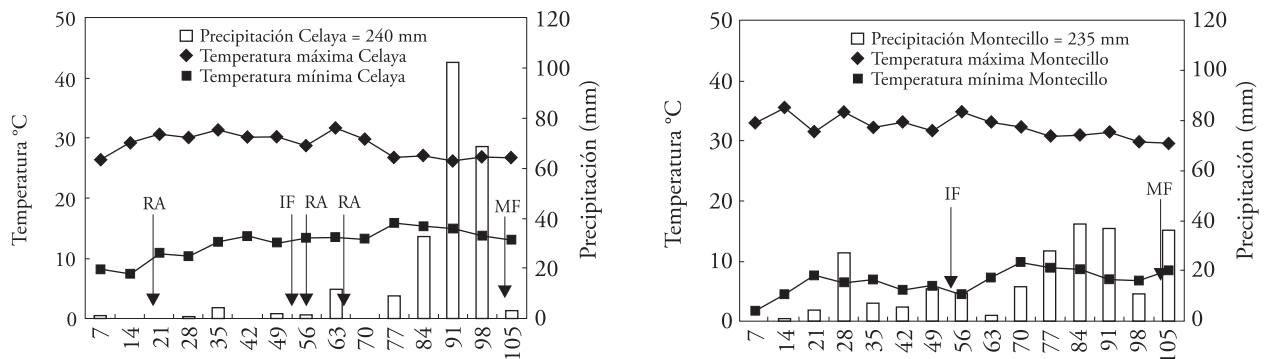
Soil moisture content in Celaya reached a percentage close to permanent wilting point (PWP) at depths of 0-20 and 20-40 cm between 40 and 55 das, the period in which flowering occurred. After the second and third auxiliary irrigation (55 and 65 das), the soil moisture content increased and remained close to field capacity (CC), within the limits of usable moisture, until maturity because of heavy rainfall at the end of the cycle. In Montecillo R, soil moisture content at the depths of 0-20, 20-40 and 40-60 cm remained close to CC during the crop cycle. In Montecillo S, the moisture content fell below PWP in the 0-20 cm layer between 35 and 70 das and in the 20-40 cm layer between 56 and 70 das. Flowering coincided with the period of lowest soil moisture content in the 0-20 cm layer (data not shown).

**Meteorological data**

Average maximum and minimum air temperatures and accumulated monthly precipitation were obtained from the INIFAP and the Colegio de Postgraduados meteorological stations located at 200 m from the experimental sites (Figure 1).

**Statistical analysis**

An analysis of variance was performed for all of the measured variables individually using SAS software (2000) as completely randomized blocks ( $Y_{ij}=\mu+T_i+B_j+E_{ij}$ ) and in combined form as experiment series ( $Y_{ijk}=\mu+L_i+T_i+LT_{ij}+B_{(i)j}+E_{ijk}$ ); to determine differences among environments (L), varieties (T),



**Figura 1. Temperaturas máximas y mínimas promedio, y precipitación pluvial mensual acumulada, en los experimentos de Celaya y Montecillo, 2007. RA: riegos de auxilio; IF: inicio de la floración; MF: madurez fisiológica.**

**Figure 1. Average maximum and minimum temperatures and monthly accumulated rainfall during the experiments conducted in Celaya and Montecillo. 2007. RA: auxiliary irrigation; IF: initial flowering; MF: physiological maturity.**

temperatura base 8 °C (Barrios-Gómez y López-Castañeda, 2009). Para los ambientes, la temperatura máxima promedio 31.7 °C en Montecillo y en Celaya 28.1 °C (Figura 1) fueron mayores que la óptima para el crecimiento del frijol. Las altas temperaturas máximas en el período de mayor deficiencia hídrica edáfica favorecieron un alto grado de estrés en las plantas, lo cual concuerda con lo indicado por White y Singh (1991) y Wang *et al.* (2006).

La temperatura mínima promedio para Montecillo de 5.3 °C (Figura 1) fue menor que la temperatura base de frijol; sin embargo, no se observaron daños en las láminas foliares de las plántulas. Estos resultados coinciden con los publicados por Machado *et al.* (2006) y Barrios-Gómez y López-Castañeda, (2009) de que todavía hay crecimiento sin daño a temperaturas entre 4 y 10 °C. En Celaya, la temperatura mínima promedio (11.9 °C) fue mayor que la temperatura base, lo que favoreció un rápido desarrollo de la planta. La distribución irregular de la lluvia se reflejó en un bajo contenido hídrico edáfico en el ambiente de Montecillo S, con niveles de humedad inferiores al PMP de 0-20 y 20-40 cm; y en Celaya muy próxima al PMP en la profundidad de 0 a 20 cm. Según Halterlein (1983), aproximadamente el 50 % de la densidad radical y la acumulación de materia seca en las raíces del frijol se localizan hasta una profundidad de 30 cm.

### Inicio de floración y madurez fisiológica

En el análisis combinado en serie de experimentos se detectó diferencias ( $p \leq 0.01$ ) entre ambientes, entre variedades, variedades dentro de ambientes y en la interacción ambientes  $\times$  variedades. Los ambientes de Celaya y Montecillo S presentaron menos días a inicio de la floración y madurez fisiológica que el de Montecillo R (Cuadro 2), porque la duración de las fases vegetativa y reproductiva se acortó por la menor disponibilidad de humedad en el suelo (Rosales-Serna *et al.*, 2004b; Muñoz-Perea *et al.*, 2007) y mayor temperatura (Singh, 2006). En los tres ambientes, FM Bajío y Corregidora mostraron la floración más temprana mientras que FM Anita y Michoacán 128 fueron las más tardías. FM Bajío, RMC y Corregidora fueron las primeras y FM Anita y M38 fueron las últimas en alcanzar la madurez (Cuadro 2). Las variedades antiguas y de reciente liberación mantienen el

and interaction environment  $\times$  variety ( $L^*T$ ). The minimum honest significant difference test, Tukey (DSH,  $p \leq 0.05$ ) was used to compare treatment means.

## RESULTS AND DISCUSSION

The optimal temperature for bean growth is 25 °C (Masaya and White, 1991), and the base temperature is 8 °C (Barrios-Gómez and López-Castañeda, 2009). For environments, the average maximum temperature of 31.7 °C in Montecillo and 28.1 °C in Celaya (Figure 1) were higher than optimal for bean growth. The high maximum temperatures in the period of greatest soil moisture deficit caused plants to undergo a high degree of stress, coinciding with White and Singh (1991) and Wang *et al.* (2006).

The average minimum temperature of 5.3 °C (Figure 1) for Montecillo was lower than the base temperature for beans. However, no damage was observed in the seedling leaf laminae. These results coincide with those published by Machado *et al.* (2006) and Barrios-Gómez and López-Castañeda (2009) in that growth without damage still occurs at temperatures between 4 and 10 °C. In Celaya, the average minimum temperature (11.9 °C) was above the base temperature, thus favoring rapid plant growth. The irregular distribution of rainfall was reflected in low soil moisture content in the Montecillo S environment, with moisture levels below PWP in the 0-20 and 20-40 cm layers, while in Celaya it was very close to PWP in the 0-20 cm layer. According to Halterlein (1983), approximately 50 % of the root density and the accumulation of dry matter in the bean roots are found at a depth of up to 30 cm.

### Beginning of flowering and physiological maturity

In the combined experiment series analysis, differences ( $p \leq 0.01$ ) were detected among environments, among varieties, varieties within environments, and environment  $\times$  variety interaction. The Celaya and Montecillo S environments showed less days to initial flowering and physiological maturity than Montecillo R (Table 2) because the duration of the vegetative and reproductive phases shortened due to the lower soil moisture availability (Rosales-Serna *et al.*, 2004b; Muñoz Perea *et al.*,

**Cuadro 2. Días a inicio de floración y madurez fisiológica en Celaya y Montecillo R y S, 2007.****Table 2. Days to initial flowering and physiological maturity in Celaya, Montecillo R and Montecillo S. 2007.**

Variedades	Celaya (S)		Montecillo (R)		Montecillo (S)		MGV	
	IF	MF	IF	MF	IF	MF	IF	MF
FM M38	46	104	59	116	57	111	54	110
FM Corregidora	47	95	53	115	50	109	50	106
FM Sol	48	97	54	113	51	110	51	107
FM RMC	50	97	54	111	51	108	51	105
FM Bajío	46	87	49	105	47	101	48	98
Michoacán 128	51	98	61	118	57	111	56	109
FM Noura	47	102	61	113	58	107	55	107
FM Anita	50	100	63	117	59	113	57	110
FM 2000	47	99	53	115	49	113	50	107
DHS ( $p \leq 0.05$ )	6	8	6	5	7	6	4	4
MGE	48	97	56	114	53	109	52	106

IF: inicio de floración; MF: madurez fisiológica; MGV: media general para variedades; MGE: media general para ambientes ❖ IF: initial flowering; MF: physiological maturity; MGV: general mean for varieties; MGE: general mean for environments.

número de días a floración y madurez fisiológica en un intervalo de 50 a 57 d, y 105 a 110 d, pero FM Bajío fue una variedad muy precoz (Acosta-Díaz *et al.*, 2004).

En Celaya se presentaron las variedades más precoces ( $p \leq 0.01$ ) en inicio de floración (FM M38 y Bajío), y las variedades tardías estuvieron en Montecillo R (Michoacán 128 y FM Anita). Las variedades más precoces para madurez fisiológica se observaron en Celaya (FM Bajío y Corregidora); en Montecillo R crecieron las variedades más tardías (Michoacán 128 y FM Anita) (Cuadro 2).

#### **Rendimiento de semilla y sus componentes entre experimentos y genotipos**

La interacción ambiente  $\times$  variedad no fue significativa para rendimiento de semilla y sus componentes, y biomasa aérea final por lo que las variedades tuvieron un comportamiento similar en los diferentes ambientes. El análisis combinado de los tres ambientes mostró con más detalle el comportamiento de cada variedad. Hubo diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre ambientes para la mayoría de las variables, a excepción del número de vainas  $m^{-2}$  que sólo fue significativo ( $p \leq 0.05$ ). En variedades hubo diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) para todas las variables medidas; pero no hubo interacción entre ambiente  $\times$  variedad. El análisis por ambientes mostró que en Celaya hubo ( $p \leq 0.01$ ) mayor rendimiento de semilla, biomasa aérea final,

2007) and higher temperatures (Singh, 2006). In the three environments, the FM Bajío and Corregidora were the earliest to flower, whereas FM Anita and Michoacán 128 were the latest. FM Bajío, RMC and Corregidora were those that reached maturity first, and FM Anita and M38 were the last (Table 2). The number of days to flowering and physiological maturity of the older varieties and those recently released remained within intervals of 50 to 57 d and 105 to 110 d, but FM Bajío was a very early variety (Acosta-Díaz *et al.*, 2004).

In Celaya the earliest varieties ( $p \leq 0.01$ ), in initial flowering (FM, M38 and Bajío) were observed, while Montecillo R produced the latest varieties (Michoacán 128 and FM Anita). The earliest varieties in terms of physiological maturity were grown in Celaya (FM Bajío and Corregidora), while those grown in Montecillo R (Michoacán 128 and FM Anita) were the latest (Table 2).

#### **Seed yield and its components among experiments and genotypes**

The interaction environment  $\times$  variety was not significant for seed yield and its components and for final aerial biomass, so that the varieties showed a similar performance in different environments. The combined analysis of the three environments showed a detailed observation of the performance of each variety. Highly significant differences ( $p \leq 0.01$ ) were observed among environments for most of the

semillas normales  $m^{-2}$ , semillas vaina $^{-1}$  y peso de 100 semillas que en Montecillo S, así como mayor rendimiento de semilla, semillas normales  $m^{-2}$  y semillas vaina $^{-1}$  que en Montecillo R (Cuadro 3).

El mayor rendimiento de semilla producido en Celaya respecto a Montecillo R y S, se debió a que las plantas se recuperaron del estrés hídrico edáfico en el periodo de inicio de floración después de la aplicación de tres riegos de auxilio, además de las lluvias de temporal. La disponibilidad de humedad durante la floración y el llenado de la semilla contribuyó a la formación de más semillas normales y más grandes (Singh, 2006; Muñoz-Perea *et al.*, 2007). Las variedades FM Noura, Anita y M38 produjeron mayor rendimiento de semilla que las otras variedades. Su alto rendimiento de semilla estuvo asociado con la producción de biomasa aérea final, vainas normales  $m^{-2}$ , semillas normales  $m^{-2}$ , semillas vaina $^{-1}$  y peso de 100 semillas, excepto en la variedad FM M38 que tuvo significativamente menor número de semillas vaina $^{-1}$  que FM Noura y Anita (Cuadro 3). Nótese que las variedades de reciente liberación tuvieron mejores rendimientos de semilla, excepto FM M38, variedad relativamente

variables; an exception was number of pods  $m^{-2}$  that was only significant ( $p \leq 0.05$ ). Among the varieties, there were highly significant differences ( $p \leq 0.01$ ) in all of the measured variables, but there was no environment  $\times$  variety interaction. The analysis of environments showed that in Celaya there was a higher ( $p \leq 0.01$ ) seed yield, final aerial biomass, normal seeds  $m^{-2}$ , seeds pod $^{-1}$ , and weight of 100 seeds than in Montecillo S, as well as higher seed yield, normal seeds  $m^{-2}$  and seed pods $^{-1}$  than in Montecillo R (Table 3).

The higher seed yield produced in Celaya, relative to Montecillo R and S, was due to three applications of auxiliary irrigation and rain during the remainder of the crop cycle, which allowed plants to recover from water stress in the initial flowering stage. Availability of moisture during flowering and seed filling contributed to the formation of more normal seeds and larger (Singh, 2006; Muñoz-Perea *et al.*, 2007). The varieties FM Noura, Anita and M38 had higher seed yield than the other varieties. Their high seed yield was associated with the production of final aerial biomass, normal pods  $m^{-2}$ , normal seeds  $m^{-2}$ , seeds pod $^{-1}$  and weight of 100 seeds,

**Cuadro 3. Rendimiento de semilla (RS), biomasa aérea final (BF), vainas normales  $m^{-2}$  (VN), semillas normales  $m^{-2}$  (SN), semillas vaina $^{-1}$  (S vaina $^{-1}$ ) y peso de 100 semillas (P100S) para ambientes, variedades, y en promedio de tres ambientes, 2007.**

**Table 3. Seed yield (RS), final aerial biomass (BF), normal pods  $m^{-2}$  (VN), normal seeds  $m^{-2}$  (SN), seeds pod $^{-1}$  (S vaina $^{-1}$ ), and weight of 100 seeds (P100S) for environments, varieties, and average of three environments. 2007.**

	RS $g\ m^{-2}$	BF $g\ m^{-2}$	VN $m^{-2}$	SN $m^{-2}$	S vaina $^{-1}$	P100S g
<b>Ambientes</b>						
Celaya Secano	282.5a	555.1a	258.0a	1019.5a	4.4a	26.9a
Montecillo Riego	244.0b	516.0a	246.1a	873.2b	3.7b	26.6a
Montecillo Secano	175.6c	384.5b	215.0a	681.8c	3.3b	24.5b
DSH ( $p \leq 0.05$ )	27.0	52.5	38.0	95.0	0.4	0.9
<b>Variedades</b>						
FM Noura	317.4a	646.6a	298.9a	1112.8a	3.9a	28.4a
FM Anita	301.0a	607.8a	300.3a	1045.6a	3.7a	28.7a
FM M38	291.8a	583.1a	327.6a	1044.0a	3.4b	27.8a
FM Sol	237.5b	488.6b	224.6b	862.5b	4.1a	25.0b
FM Bajío	217.6b	445.3b	224.3b	819.0b	3.8a	25.1b
FM Corregidora	209.9b	437.3b	194.0b	829.7b	4.4a	27.3a
FM 2000	209.5b	451.7b	192.4b	553.7c	3.1b	26.5b
FM RMC	179.1b	382.8b	186.0b	715.3b	4.1a	26.3b
Mich-128	142.6c	323.7c	209.3b	740.8b	3.7a	18.9c
DHS ( $p \leq 0.05$ )	67.1	130.7	94.5	236.4	0.9	2.1
Media general	234.0	485.2	239.7	858.2	3.8	26.0

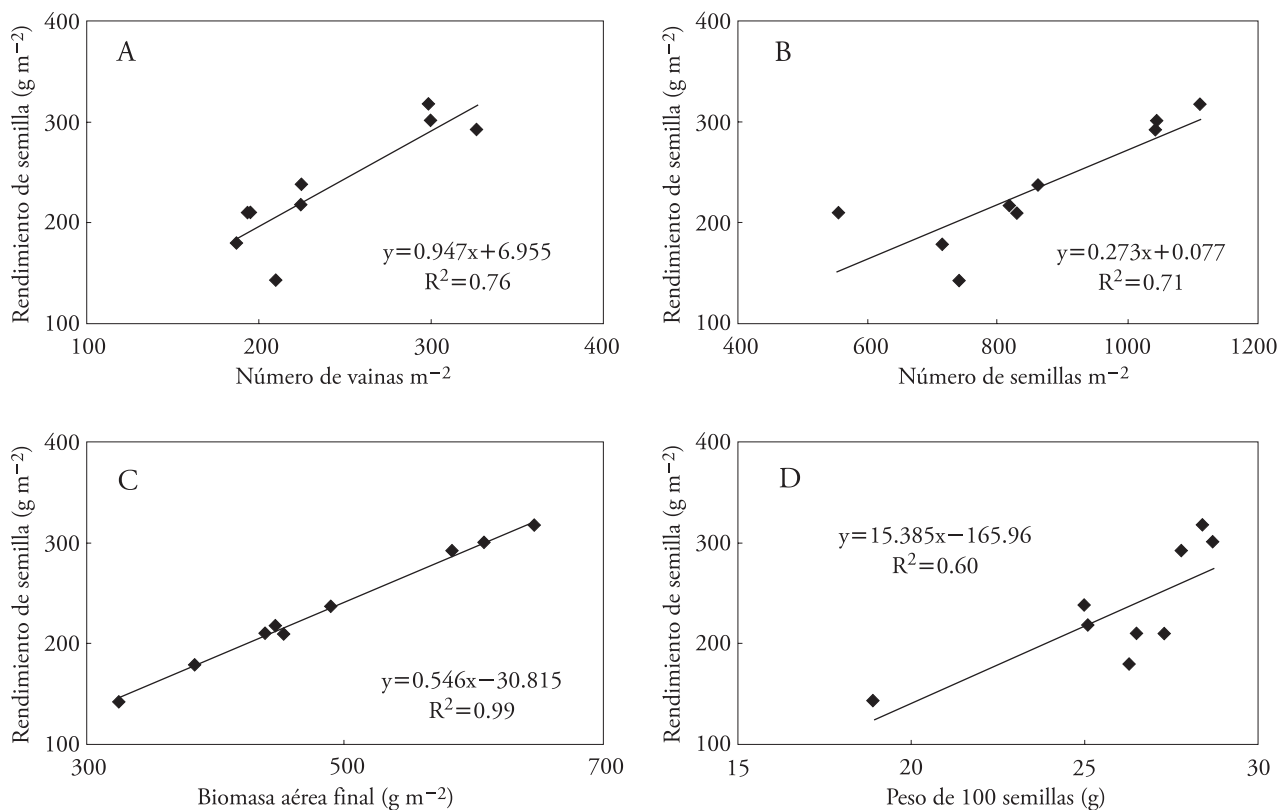
Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) ❖ Means with different letters in the same row are statistically different ( $p \leq 0.05$ ).

antigua pero con buen comportamiento en este estudio. Aparentemente, en las nuevas variedades los criterios de selección han sido biomasa aérea final y el rendimiento de semilla y sus componentes. Resultados comparables de variedades similares fueron reportados por Wang *et al.* (2006) y Singh (2006). La variedad Michoacán 128 produjo el rendimiento de semilla más bajo; así como de biomasa aérea final y peso de 100 semillas (Cuadro 3).

El rendimiento de semilla mostró una asociación positiva y significativa ( $p \leq 0.01$ ) con el número de vainas normales  $m^{-2}$  (Figura 2A) y semillas normales  $m^{-2}$  (Figura 2B), la biomasa aérea final (Figura 2C) y el peso de 100 semillas (Figura 2D); confirmando que el rendimiento, sus componentes y la biomasa aérea final pueden usarse en la selección de variedades sobresalientes de frijol (Rosales-Serna *et al.*, 2004). Ramírez-Vallejo y Kelly (1998) informan que en frijol una alta biomasa aérea está asociada con mayor producción de fotoasimilados que se translocan a las vainas y semillas incrementando el rendimiento.

with the exception of FM M38, which showed a significantly lower number of seeds  $pod^{-1}$  than FM Noura and Anita (Table 3). Note that the recently released varieties are those that had better seed yields; however, FM M38, a relatively old variety, also performed well in this study. Apparently, the selection criteria for the new varieties have been final aerial biomass and seed yield and its components. Comparable results for similar varieties have been reported by Wang *et al.* (2006) and Singh (2006). The variety Michoacán 128 produced the lowest seed yield as well as the lowest final aerial biomass and weight of 100 seeds (Table 3).

Seed yield was positively and significantly ( $p \leq 0.01$ ) associated with the number of normal pods  $m^{-2}$  (Figure 2A) and normal seeds  $m^{-2}$  (Figure 2B), final aerial biomass (Figure 2C) and weight of 100 seeds (Figure 2D), confirming that yield, its components and final aerial biomass can be used in the selection of outstanding bean varieties (Rosales-Serna *et al.*, 2004). Ramírez-Vallejo and



**Figura 2. Relación entre rendimiento de semilla y número de vainas normales  $m^{-2}$  (A), número de semillas  $m^{-2}$  (B), biomasa aérea final (C) y peso de 100 semillas (D). Promedio de los tres ambientes. 2007.**

**Figure 2. Relationship between seed yield and (A) number of normal pods  $m^{-2}$ , (B) number of seeds  $m^{-2}$ , (C) final aerial biomass, and (D) weight of 100 seeds. Averages of the three environments. 2007.**



## CONCLUSIONES

Las variedades de reciente liberación FM Noura y Anita y la variedad antigua M38 mostraron el mayor rendimiento de semilla en promedio de los tres ambientes, lo cual estuvo relacionado con alta biomasa aérea final, vainas normales  $\text{m}^{-2}$ , semillas normales  $\text{m}^{-2}$  y peso de 100 semillas. La biomasa aérea final estuvo estrechamente relacionada con el rendimiento de semilla.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los Señores Juan R. Espinoza Alvarado y Fidel Pérez Romero por su valiosa colaboración en la conducción de los experimentos realizados en Montecillo, México.

## LITERATURA CITADA

- Acosta-Díaz E., C. Trejo-López, L. Ruiz-Posadas, S. Padilla-Ramírez, y J. A. Acosta-Gallegos. 2004. Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. *Terra* 22: 49-58.
- Acosta-Gallegos J. A., R. Rosales-Serna, R. Navarrete-Maya, y E. López-Salinas. 2000. Desarrollo de variedades mejoradas de frijol para condiciones de riego y temporal en México. *Agric. Téc. Méx.* 26: 79-98.
- Barrios-Gómez E. J., y C. López-Castañeda. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar. *Agrociencia* 43: 29-35.
- Halterlein A. J. 1983. Bean. *In: Teare I. D., and M. M. Peet (eds). Crop-Water Relations.* Wiley Pub., New York. pp: 157-185.
- Machado N. N. B., P. M. Regina, A. B. Gatti, and V. J. Mendes. 2006. Temperature effects on seed germination in races of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Sci. Agron.* 28: 155-164.
- Masaya P., and J. W. White. 1991. Adaptation to photoperiod and temperature. *In: Schoonhoven A. V., and O. Voysest (eds). Common Beans: Research for Crop Improvement.* C. A. B. Intl. U. K. and CIAT, Cali, Colombia. pp: 445-500.
- Muñoz-Perea C. G., H. Terán, R. G. Allen, J. L. Wright, D. T. Westermann, and S. P. Singh. 2007. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Agron. J.* 99: 1458-1462.
- Ramírez-Vallejo P., and J. D. Kelly. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 99: 127-136.
- Rosales-Serna R., J. Kohashi-Shibata, J. A. Acosta-Gallegos, C. Trejo-López, J. Ortiz-Cereceres, and J. D. Kelly. 2004. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in

Kelly (1998) indicate that in bean a high aerial biomass is associated with greater production of photoassimilates that are translocated to pods and seeds increasing the yield.

## CONCLUSIONS

The recently released varieties FM Noura and Anita as well as the older variety M38 showed the highest yield on average of the three environments, which was associated with a greater final aerial biomass, normal pods  $\text{m}^{-2}$ , normal seeds  $\text{m}^{-2}$ , and weight of 100 seeds. Final aerial biomass was the most closely related to seed yield.

—End of the English version—



- drought-stressed bean cultivars. *Field Crops Res.* 85: 203-211.
- SAGARPA. 2008. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera, Anuario estadístico de la producción agrícola. <http://www.siap.org/Anuarios/Agricolas.DDR> (Consultado en agosto, 2008).
- Singh P. S. 2006. Drought resistance in the Race Durango dry bean landraces and cultivars. *Crop Sci.* 46: 2111-2120.
- Singh S. P., H. Terán, M. Lema, D. M. Webster, C. A. Strausbaugh, P. N. Miklas, H. F. Schwartz, and M. A. Brick. 2007. Seventy-five years of breeding dry bean of the western USA. *Crop Sci.* 47: 981-989.
- Statistical Analysis System, Versión 8 para Windows (2000). SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Terán H., and S. P. Singh. 2002. Comparison of sources and lines selected for drought resistance in common bean. *Crop Sci.* 42: 64-70.
- Turner, N. C. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficit in crop plants. *In: Mussell H., and R. C. Staples (eds). Stress Physiology in Crop Plants.* John Wiley and Sons. New York. pp: 343-372.
- Wang J., Y. T. Gan, F. Clarke, and C. L. McDonald. 2006. Response of chickpea yield to high temperature stress during reproductive development. *Crop Sci.* 46: 2171-2178.
- White J. W., and S. P. Singh 1991. Breeding for adaptation to drought. *In: Schoonhoven A. V., and O. Voysest (eds). Common Beans: Research for Crop Improvement.* C. A. B. Intl. U. K. and CIAT, Cali, Colombia. pp: 501-560.