

RENDIMIENTO E ÍNDICE DE COSECHA DE GERMOPLASMA DE FRIJOL PINTO Y FLOR DE MAYO BAJO ESTRÉS POR TEMPERATURA ALTA

SEED YIELD AND HARVEST INDEX OF PINTO AND FLOR DE MAYO DRY BEANS GERMOPLASM UNDER STRESS BY HIGH TEMPERATURE

José Luis Anaya-López¹, Luis Manuel Rojas-Tovar², Hugo César Cisneros-López², y Jorge Alberto Acosta-Gallegos^{1*}

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México. ²Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Roque, Ingeniería en Agronomía, Celaya, Guanajuato, México.

*Autor de correspondencia (acosta.jorge@inifap.gob.mx)

RESUMEN

La productividad del frijol de riego sembrado en febrero en la región de El Bajío de Guanajuato, México es afectada por temperaturas altas durante la etapa reproductiva. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la temperatura alta sobre el rendimiento e índice de cosecha en germoplasma mejorado de frijol de los tipos Pinto y Flor de Mayo e identificar materiales con rendimiento alto en riego. En 2018 se evaluaron 16 materiales de frijol Pinto y 15 de Flor de Mayo. Durante el ciclo se aplicó un riego de presiembra y tres de auxilio. Cada material se sembró en dos surcos de 30 m, y a la cosecha se tomaron al azar seis tramos de 1 m para determinar el número de vainas, número de granos, producción de biomasa, rendimiento de grano, peso de cien semillas e índice de cosecha (IC). Los grupos se analizaron por separado bajo un diseño completamente al azar y prueba de medias dentro de grupos (Tukey, $P \leq 0.05$). Durante la etapa reproductiva las temperaturas diurna y nocturna máximas superaron los 30 y 20 °C, respectivamente. En ambos grupos hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en las características evaluadas. El rendimiento mayor en los materiales de tipo Pinto lo tuvo la variedad Salinas (3.79 t ha⁻¹) y en los de tipo Flor de Mayo la línea (PS/FM Dolores)-M-9-2-9 (3.27 t ha⁻¹), ambos mostraron número alto de vainas por m² y granos por vaina. En general, en ambos grupos el IC resultó bajo. En los materiales de tipo Pinto la correlación entre IC y rendimiento fue positiva ($r = 0.75^{**}$), mientras que en el grupo Flor de Mayo la correlación del IC con la biomasa fue negativa ($r = -0.74^{**}$), lo que mostró la importancia de la capacidad de movilización de fotoasimilados hacia la semilla en condiciones de estrés por calor y la superioridad de los genotipos Pintos.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., número de semillas, número de vainas, productividad.

SUMMARY

The productivity of irrigated dry beans planted in February at the Bajío region of Guanajuato, Mexico is limited by high temperatures during the reproductive stage. The aim of this study was to determine the effect of high temperature on seed yield and harvest index of improved bean germplasm of the Pinto and Flor de Mayo types and to identify high-yielding materials under irrigation. For that, in 2018 16 Pinto and 15 Flor de Mayo bean genotypes were evaluated. During the growth cycle a pre-sowing and three supplementary irrigations were applied. Each material was planted in two 30-m rows and at harvest the plants of six 1-m sections were randomly taken to determine the number of pods, number of grains, biomass production, grain yield, the weight

of 100 seeds, and the harvest index (HI). Data from each set of genotypes were analyzed separately under a completely randomized design and within-groups test of means (Tukey, $P \leq 0.05$). During the reproductive stage, maximum day and night temperatures exceeded 30 and 20 °C, respectively. In both sets there were significant differences ($P \leq 0.05$) in the evaluated traits. The highest yielder in the Pinto type group was the cv. Salinas (3.79 t ha⁻¹), and in the Flor de Mayo type the line (PS / FM Dolores)-M-9-2-9 (3.27 t ha⁻¹), both showed a high number of pods per m² and grains per pod. In general, in both groups the HI was low. In the Pinto-type materials, the correlation between HI with seed yield was positive ($r = 0.75^{**}$), while in the Flor de Mayo group the correlation of HI with biomass was negative ($r = -0.74^{**}$), which showed the importance of mobilization capacity of photoassimilates towards the seeds under heat stress conditions and the superiority of the Pinto genotypes.

Index words: *Phaseolus vulgaris* L., number of pods, number of seeds, productivity.

INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tiene una temperatura base de 8.3 °C, con un nivel óptimo de 25 °C (Barrios-Gómez y López-Castañeda, 2009). El estrés por temperaturas altas, mayores de 30 °C durante el día o de 20 °C durante la noche es una limitante para la producción del frijol (Rainey y Griffiths, 2005). El efecto negativo principal se manifiesta en la inhibición de la fertilidad del polen, que resulta en aborto de flores y número bajo de frutos y granos, lo que en consecuencia reduce el rendimiento y calidad de la semilla (Assefa *et al.*, 2019).

Se estima que el calentamiento global incrementará la frecuencia de temperaturas extremas, y que este fenómeno es el responsable de las olas de calor que ocurren actualmente; además, existe el consenso de que habrá un incremento gradual de la temperatura media de entre 2 y 4 °C (Vadez *et al.*, 2012), que será variable a través de las diversas regiones del planeta. En regiones templadas el incremento de la temperatura favorecerá el desarrollo

de los cultivos actuales, se podrá ampliar la superficie cultivada e introducir y producir nuevas especies; por el contrario, en regiones subtropicales y tropicales, habrá aumento de efectos negativos en los cultivos sensibles a este factor, como es el caso del frijol (Beebe *et al.*, 2011).

En algunas áreas de El Bajío, ubicado en el estado de Guanajuato, México, ya se observan los efectos directos e indirectos de las temperaturas altas, donde el daño directo a las plantas de frijol provoca aborto de flores y vainas, y el daño indirecto favorece la incidencia de plagas y patógenos en el cultivo. En esta región, el frijol de riego se produce a partir de variedades de los tipos conocidos como Flor de Junio y Flor de Mayo, pertenecientes a la raza Jalisco, con siembras en enero y febrero; sin embargo, su productividad se ha visto comprometida por el efecto de temperaturas superiores a 32 °C que se presentan durante la etapa reproductiva. Este problema se puede disminuir usando riego por goteo o sembrando variedades tolerantes a temperaturas altas, por ejemplo, las de tipo rojo Centroamericano, como la variedad Granada, o de tipo negro opaco de origen tropical.

El frijol negro tiene alta demanda en el Sureste y es deficitario en México, por lo que se ha recurrido a la importación de este grano (FIRA, 2019). Además del frijol negro, en México existe demanda por otros tipos de frijol, entre ellos los de tipo Flor de Mayo, Flor de Junio, Azufrado y Pinto, aunque algunos de estos no se producen en El Bajío debido a su baja demanda en esta región y sensibilidad a temperaturas altas; sin embargo, la producción de estos tipos de frijol en la zona podría orientarse a satisfacer el mercado de otras regiones del país y el de la ciudad de México, donde existe demanda por diferentes tipos de frijol. Adicionalmente, en El Bajío se puede producir la semilla de frijol de tipo Pinto bajo condiciones de riego, la cual se usa en la región Norte-Centro para la producción de grano en condiciones de temporal; es por ello que para mantener la producción de frijol en las condiciones actuales y futuras se requiere desarrollar variedades con rendimiento estable y competitivo, tolerantes al estrés por calor para condiciones de riego o de temporal. Aunque de manera general las evaluaciones de tolerancia a temperaturas altas se realizan en condiciones controladas de invernadero y en cámaras de crecimiento, es importante realizar la selección en condiciones de campo, donde la temperatura a lo largo del día es variable y se presentan temperaturas altas durante el día y la noche (Assefa *et al.*, 2019; Porch, 2006). El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la temperatura alta sobre el rendimiento e índice de cosecha en germoplasma mejorado de frijol de los tipos Pinto y Flor de Mayo e identificar materiales con rendimiento alto en riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Germoplasma de frijol

Se estudiaron dos grupos de materiales mejorados, 16 de tipo Pinto de la raza Durango, la mayoría sensibles al fotoperiodo, y 15 de tipo Flor de Mayo de la raza Jalisco con reacción neutral al fotoperiodo. En el grupo de materiales de tipo Pinto se incluyeron las variedades mejoradas San Rafael y Rarámuri, neutrales al fotoperiodo, Pinto Saltillo, San Luis y Salinas, así como 11 líneas mejoradas ($> F_{10}$) sensibles al fotoperiodo. En el tipo Flor de Mayo se incluyó la variedad Flor de Mayo Dolores, tres selecciones derivadas de plantas individuales de la variedad Flor de Mayo Eugenia, 11 líneas mejoradas ($> F_{10}$) y la variedad Dalia de tipo Flor de Junio de la raza Jalisco, que se incluyó como testigo de reacción sensible al fotoperiodo (Cuadro 1).

Condiciones de cultivo

El experimento se realizó del 27 de febrero al 15 de junio de 2018 en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); el sitio de siembra se ubicó en Celaya, Guanajuato, México (20° 34' N, 100° 50' O y 1765 msnm). El suelo predominante es de tipo Vertisol, con una profundidad mayor a 1.0 m y un contenido de materia orgánica de 1.5 a 2.0 %. La precipitación y las temperaturas diarias durante el ciclo de cultivo se obtuvieron de la estación meteorológica del CEBAJ, ubicada a 200 m del sitio experimental.

Los materiales se sembraron en franjas apareadas de dos surcos de 30 m de longitud, separados a 76 cm. El cultivo del ciclo anterior fue sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) para obtención de grano. El suelo se preparó con un desvare, barbecho, rastra y surcado. La siembra se realizó el día 27 de febrero del 2018 en suelo húmedo, 10 días después de un riego de presiembra se aplicó 1.5 L ha⁻¹ del herbicida Linuron 50 % en forma pre-emergente en banda sobre la hilera de la siembra. El primer cultivo mecánico se realizó 13 días después de la siembra (DDS) y al mismo tiempo se fertilizó con la dosis 39-46-00-24 de (NH₄)₂SO₄-P₂O₅-K₂O-S preparada con Sulfamin (21-00-00-24S) y fosfato diamónico (DAP; 18-46-00). Se aplicaron fertilizantes foliares con elementos mayores y menores, de acuerdo con la etapa de desarrollo del cultivo a la primera hoja trifoliolada (16 DDS), formación de vainas (63 DDS) y llenado de grano (77 DDS) (Schoonhoven y Pastor-Corrales, 1987).

Se aplicó un primer riego de auxilio a los 17 DDS, para asegurar la emergencia y el aprovechamiento del

fertilizante; posteriormente, se aplicaron dos riegos de auxilio en la etapa reproductiva a los 55 y 80 DDS. La maleza se controló mediante dos cultivos mecánicos a los 13 y 35 DDS, los cuales se complementaron con dos deshierbes manuales durante la etapa reproductiva. Se aplicaron 750 mL ha⁻¹ de Imidacloprid 30.2 % y 600 mL ha⁻¹ de Metamidofos 48.3 % para el control de chicharrita (*Empoasca kraemeri*), mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), araña roja (*Tetranychus urticae*) y trips (*Caliothrips phaseoli*).

VARIABLES MEDIDAS

En la etapa de madurez fisiológica se marcaron al azar seis parcelas de 1 m de longitud dentro de los dos surcos de cada material, equivalentes a 0.76 m². Las plantas de cada parcela (12 ± 2) se cosecharon y se secaron por tres semanas a 45 ± 3 °C para llevarlas a peso constante. Se contabilizó el número de vainas por m², granos por vaina y el número total de granos por m². El peso de la vaina con el grano (PV; g m⁻²) y el peso de cien semillas (g) se obtuvieron mediante una muestra representativa tomada al azar en cada parcela. El rendimiento de grano (R) y la biomasa total (B) se estimaron dividiendo su peso (g) entre el área de la parcela (0.76 m²), para luego extrapolarlos a t ha⁻¹ multiplicándolos por 0.01. El índice de cosecha (IC) se calculó dividiendo el rendimiento del grano (g m⁻²) entre la biomasa (g m⁻²) y multiplicándolos por 100 [IC (%) = (R/B) × 100].

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los grupos de frijol tipo Pinto y tipo Flor de Mayo se analizaron por separado. Se realizaron análisis de varianza para todas las características determinadas bajo un diseño completamente al azar con seis repeticiones. Se obtuvo la comparación de medias con la prueba de Tukey (P ≤ 0.05), en ambos casos los cálculos se efectuaron con el paquete estadístico SAS v9.1 (SAS Institute, 2004). Dentro de cada grupo se obtuvieron correlaciones simples entre características evaluadas. Los cálculos y las gráficas se generaron con el paquete Excel de Microsoft Office.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONDICIONES DE TEMPERATURA

La temperatura media durante el ciclo de cultivo, entre el 27 de febrero y el 15 de junio, fue de 21.0 °C, con una mínima de 5.8 °C y una máxima de 36.0 °C. La fase reproductiva, comprendida desde la etapa R6 a la R9, se registró entre el 10 de abril y 15 de junio. En esta fase la temperatura media fue de 21.9 °C, con una mínima de 8.0 °C y una máxima de 36.0 °C. En gran parte de la etapa reproductiva

se presentaron temperaturas diurnas superiores a 30 °C con una duración aproximada de 7 h entre las 13:00 y las 19:00 horas (Figura 1A) y temperaturas nocturnas superiores a 20 °C con una duración de aproximadamente 5 h entre las 21:00 y las 2:00 horas (Figura 1C). La temperatura diurna promedio fue de 24.7 °C, con mínimas de 8.0 °C y máximas de 36.0 °C (Figura 1B), mientras que la temperatura nocturna promedio fue de 18.1 °C, con mínimas de 8.8 °C y máximas de 29.0 °C (Figura 1D). La presencia de lluvias esporádicas al inicio, mitad (entre los 66 y 77 DDS) y final de la etapa reproductiva disminuyó las temperaturas superiores a 30 °C durante el día (Figura 1B) y a 20 °C durante la noche (Figura 1D).

La floración de los materiales de tipo Pinto inició 15 días antes en comparación con los materiales de tipo Flor de Mayo; por lo tanto, su periodo reproductivo fue de 67 días, mientras en Flor de Mayo fue de 53 días (Figura 1 A). La precocidad de los materiales de tipo Pinto y la presencia de lluvias esporádicas les permitió escapar de las temperaturas diurnas y nocturnas altas al inicio de la floración (R6) y durante el llenado de vainas (R8), no así durante la maduración del grano (R9), donde los de tipo Flor de Mayo tuvieron cuatro días con temperaturas óptimas por debajo de 30 °C durante el día y 20 °C durante la noche (Figuras 1A y 1C).

Efecto de la temperatura alta en frijol Pinto

Entre materiales de frijol tipo Pinto, la variación para el número de granos por m² fue alta (Figura 2A) en comparación con el número de vainas por m² (Figura 2B). Las diferencias en el número de granos entre materiales con número similar de vainas se debieron principalmente a un número diferente de granos por vaina y un número alto de vainas con pocos granos. Con respecto al número de granos por m², el menor número fue para la línea (PS/RS110)-6-5-M y el mayor para la variedad Salinas (Figura 1A). El número más bajo de vainas por m² lo tuvo la línea (PS/RS110)-5-3-M, mientras que el mayor número fue para las variedades Salinas y Rarámuri (Figura 2B); entre las líneas, (PS/RS110)-3-3-M y [(DON 38/AzNam)//PS]-30-2-1-M tuvieron el mayor número de vainas por m² (Figura 1B).

La variedad Salinas mostró número alto de vainas, de granos y de vainas con seis granos; por el contrario, la línea (PS/RS110)-6-5-M mostró número alto de vainas con un solo grano, una proporción baja de vainas con seis granos y, en consecuencia, registró un número reducido de granos por m² (Figura 2B). Los resultados indicaron que, para obtener un número alto de granos por unidad de superficie son necesarios un número alto de vainas y de granos por vaina. La presencia de un número alto de vainas con uno y

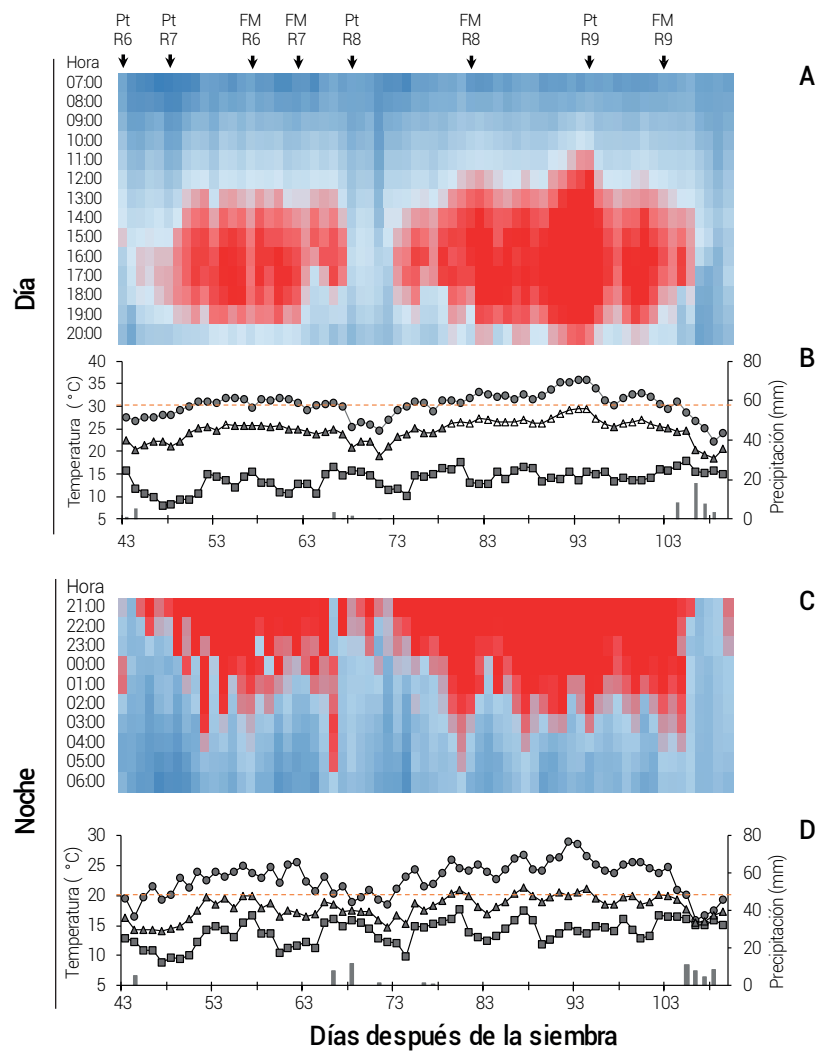


Figura 1. Precipitación acumulada y temperaturas diurnas y nocturnas diarias durante la etapa reproductiva de materiales de frijol cultivados en riego. Las flechas en la parte superior indican el inicio de las etapas R6: floración, R7: formación de vainas, R8: llenado de vainas y R9: maduración. Pt: materiales de tipo Pinto y FM: materiales de tipo Flor de Mayo. Los mapas de calor indican en rojo las temperaturas > 30 °C durante el día y > 20 °C durante la noche. Las líneas con los marcadores en forma de círculo, triángulo y cuadrado corresponden a las temperaturas máxima, media y mínima, respectivamente, durante el día y la noche; las columnas corresponden a la precipitación acumulada. Las líneas punteadas horizontales naranja indican la temperatura diurna y nocturna de 30 y 20 °C, respectivamente.

dos granos se relacionó con la presencia de temperaturas altas, que ocasionaron fallas en la polinización de los óvulos. Numerosos autores han señalado el efecto detrimental de la temperatura alta sobre la viabilidad del polen del frijol (Gross y Kigel, 1994; Porch y Jahn, 2001; Suzuki *et al.*, 2001). Además, Barrera-Lemus (Com. pers.)¹ demostró que los cultivares tolerantes a temperaturas altas superan a los sensibles en la producción de semillas por vaina y por m², debido a que bajo estrés por calor presentan capacidad alta para removilizar de forma eficiente los carbohidratos

hacia las estructuras reproductivas.

Numéricamente, la cantidad más alta de biomasa se observó en la variedad San Luis, cuyo valor fue estadísticamente similar al de otras 12 líneas, mientras que la más baja se observó en la línea (PS/RS110)-4-2-M, seguida de las líneas (PS/RS110)-3-3-M y [(DON 38/AzNam)//PS]-23-2-1-M, sin diferencias estadísticas con otras 10 accesiones (Cuadro 1). En rendimiento se observaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre variedades, las variedades Salinas y San Luis mostraron los valores más altos, similares a los de Salinas

¹Barrera-Lemus S. Y. Mejoramiento de frijol. Programa de Frijol del Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.

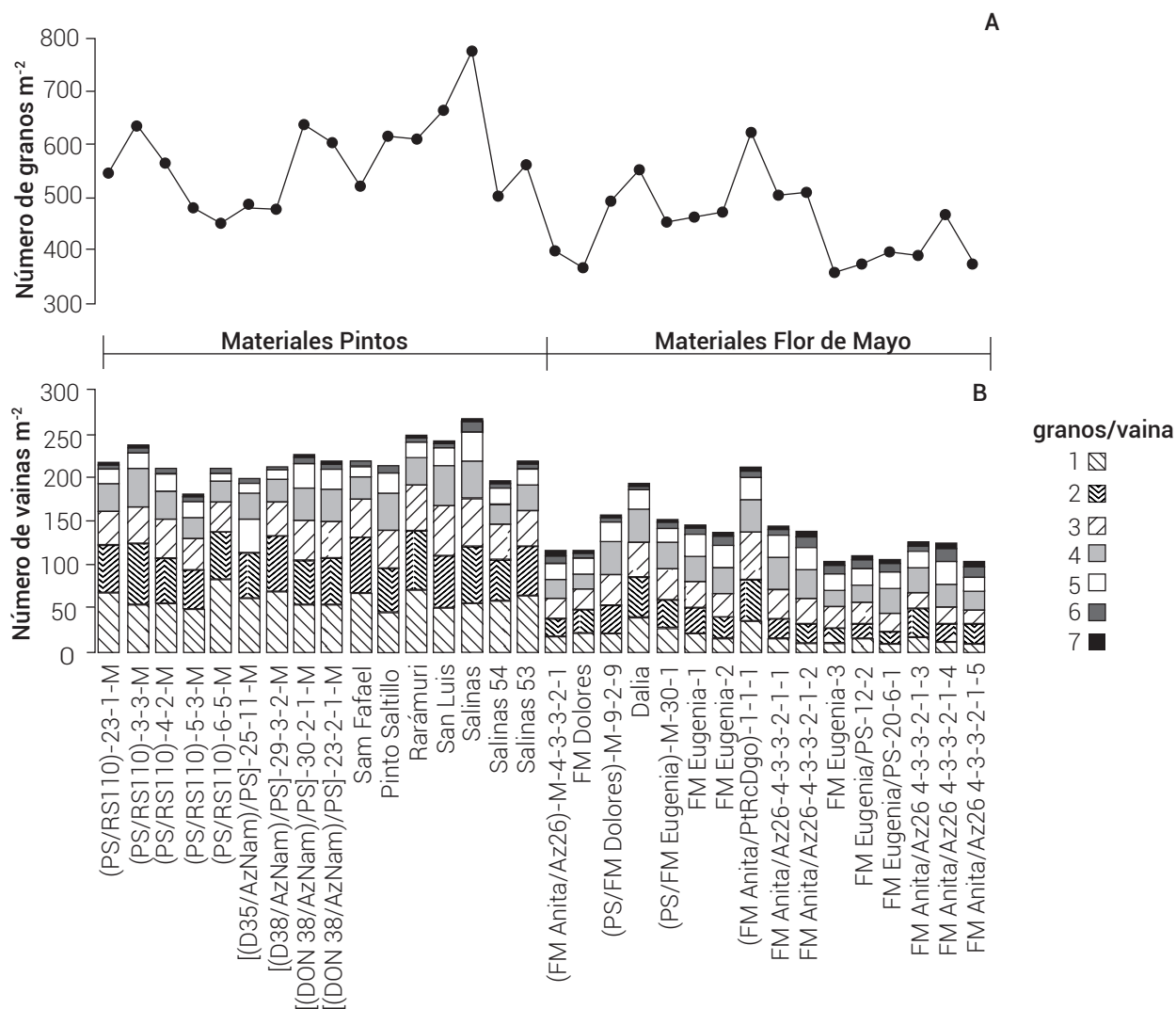


Figura 2. Variables evaluadas en materiales de frijol Pinto y Flor de Mayo cultivados en riego. A) Las líneas indican el número total de granos por m² de cada material. B) La longitud total de las barras indica el número de vainas por m² y las secciones de cada barra el número de granos por vaina (entre uno y siete granos por vaina).

53 y Rarámuri. Por otro lado, la línea (PS/RS110)-3-3-M mostró el rendimiento y producción de biomasa más bajo. Se ha observado que Rarámuri y San Rafael son de reacción neutral al fotoperiodo, mientras que San Luis y Pinto Saltillo son de día corto (sensibles); sin embargo, en este estudio todas ellas mostraron características similares en las variables cuantificadas, lo que sugiere que no hubo efecto negativo del fotoperiodo, respuesta probablemente debida a la precocidad de los materiales.

El IC se relaciona con la capacidad de la planta para removilizar fotoasimilados hacia el grano, lo cual es importante para el rendimiento bajo condiciones de estrés por calor (Suzuki et al., 2001). La mitad de las accesiones

mostró valores bajos en IC, menores al 20 %; el nivel numérico más alto lo presentó la variedad Salinas y el IC más bajo lo obtuvieron las líneas (PS/RS110)-6-5-M, (PS/RS110)-5-3-M y (PS/RS110)-3-3-M, con producción diferente de biomasa; es decir, sin considerar su producción de biomasa, fueron ineficientes en removilizar fotoasimilados hacia los granos. El número reducido de vainas y granos de (PS/RS110)-6-5-M, (PS/RS110)-5-3-M y (PS/RS110)-3-3-M (Figura 2) se relacionó con un nivel bajo de la demanda, lo que ocasionó que la distribución hacia los órganos reproductivos fuera limitada (Marcelis, 1996) y esto afectó negativamente al rendimiento.

En el grupo de frijol Pinto el análisis mostró correlación

Cuadro 1. Variables evaluadas en materiales de frijol Pinto y Flor de Mayo cultivados en condiciones de riego.

Materiales Pintos	Biomasa (t ha ⁻¹)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	IC (%)	P100S (g)	Materiales Flor de Mayo	Biomasa (t ha ⁻¹)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	IC (%)	P100S (g)
(PS/RS110)-23-1-M	10.1 ab	2.37 bcd	23 ab	31.1 ef	(FM Anita/Az26)-M-4-3-3-2-1	13.0 c	1.89 cde	15 c	36.1 cd
(PS/RS110)-3-3-M	9.0 b	1.32 d	15 b	32.2 def	FM Dolores	13.1 c	2.63 abcd	20 abc	39.5 b
(PS/RS110)-4-2-M	8.4 b	2.31 bcd	28 ab	35.0 bcdef	(PS/FM Dolores)-M-9-2-9	13.0 c	3.27 ab	26 a	42.8 a
(PS/RS110)-5-3-M	12.0 ab	1.81 bcd	15 b	32.2 def	Dalia	20.0 a	2.94 ab	15 c	38.2 bc
(PS/RS110)-6-5-M	13.3 ab	1.62 cd	12 b	30.8 f	(PS/FM Eugenia)-M-30-1	12.7 c	2.52 abcde	20 abc	35.8 cd
[(D38/AzNam)//PS]-25-11-M	13.0 ab	2.20 bcd	17 ab	30.8 f	FM Eugenia-1	13.6 c	2.37 bcde	17 bc	36.2 cd
[(D38/AzNam)//PS]-29-3-2-M	11.2 ab	2.07 bcd	18 ab	35.2 bcde	FM Eugenia-2	16.4 ab	2.27 bcde	15 c	30.0 gh
[(DON 38/AzNam)//PS]-30-2-1-M	10.1 ab	2.52 abcd	25 ab	34.1 cdef	(FM Anita/PhRcdGo)-1-1-1	11.0 c	2.66 abc	25 a	28.5 h
[(DON 38/AzNam)//PS]-23-2-1-M	9.0 b	2.37 bcd	26 ab	33.4 cdef	FM Anita/Az26 4-3-3-2-1-1	15.4 b	2.29 bcde	15 c	31.2 fgh
San Rafael	12.0 ab	2.28 bcd	19 ab	36.8 abc	FM Anita/Az26 4-3-3-2-1-2	11.1 cd	2.19 bcde	21 abc	31.3 fgh
Pinto Saltillo	12.4 ab	2.37 bcd	19 ab	31.1 ef	FM Eugenia-3	11.1 cd	1.81 e	20 abc	30.9 fgh
Rarámuri	13.0 ab	2.74 abc	21 ab	35.7 abcd	FM Eugenia/PS-12-2	9.9 dcd	1.87 de	20 abc	32.8 efg
San Luis	15.6 a	3.09 ab	20 ab	38.9 ab	FM Eugenia/PS-20-6-1	13.9 c	2.09 cde	15 c	31.9 fg
Salinas	11.9 ab	3.79 a	32 a	34.5 cdef	FM Anita/Az26 4-3-3-2-1-3	8.5 d	2.00 cde	24 ab	36.8 bc
Salinas 54	10.6 ab	1.96 bcd	19 ab	33.1 cdef	FM Anita/Az26 4-3-3-2-1-4	8.3 d	2.12 cde	25 a	33.5 def
Salinas 53	12.6 ab	2.56 abcd	20 ab	40.0 s	FM Anita/Az26 4-3-3-2-1-5	10.0 cd	2.32 cde	23 ab	35.5 cde
Promedio	11.5	2.34	20.6	34.0	Promedio	12.6	2.31	19.7	34.4

IC: índice de cosecha, P100S: peso de cien semillas. Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05).

significativa y positiva de IC con rendimiento ($r = 0.75^{**}$), número de vainas ($r = 0.53^*$) y número de granos ($r = 0.67^{**}$) (Cuadro 2), por lo que estos parámetros resultan útiles para hacer una selección de líneas y variedades de frijol de productividad alta; sin embargo, el número de vainas evaluado antes de la madurez es más sencillo de cuantificar que el número de granos, y debido a que tiene una correlación alta con el número de granos y el rendimiento éste es de gran utilidad cuando se requiere hacer una selección anticipada. El peso de cien semillas mostró asociación positiva con el rendimiento, y aunque la relación no fue significativa, esta característica también se considera entre los componentes principales del rendimiento (Adams, 1967). La tendencia de la asociación entre la biomasa total y el IC resultó negativa, aunque no fue significativa, lo que demuestra que una acumulación alta de biomasa en estructuras vegetativas desfavorece el rendimiento por la retención de fotoasimilados en hojas, tallos y ramas. Por su parte, el rendimiento se asoció con el número de vainas ($r = 0.67^{**}$) y número de granos ($r = 0.7^{**}$).

La correlación entre el número de vainas y número de granos resultó alta y altamente significativa ($r = 0.87^{**}$), lo que sugiere que cualquiera de las dos características puede utilizarse en la selección visual temprana de familias y líneas mejoradas de frijol con tolerancia al estrés por temperatura alta, aunque como se mencionó anteriormente, es más fácil visualizar la carga de vainas de la planta que el número de granos.

Efecto de la temperatura alta en frijol Flor de Mayo

En los materiales de tipo Flor de Mayo la variación entre accesiones del número de vainas por m^2 fue menor que la observada para el número de granos por m^2 (Figura 2A y 2B), hecho que está relacionado con las diferencias entre accesiones en el número de granos contenidos en cada vaina; ésto se puede observar entre las líneas FM Eugenia-1 y FM Eugenia-2 que tiene un número similar de vainas, pero con diferencias en el número de granos.

La producción más alta de biomasa se observó en la variedad Dalia, seguida de la línea Flor de Mayo Eugenia-2 que fueron significativamente superiores al resto (Cuadro 1). La línea de rendimiento alto (PS/FM Dolores)-M-9-2-9 mostró valores altos para el índice de cosecha, lo que se relacionó con eficiencia mayor para la removilización de la biomasa hacia el grano, tal como sucede para el frijol ejotero tolerante a estrés por calor (Suzuki *et al.*, 2001) y en la variedad Salinas, que fue el material de tipo Pinto de rendimiento más alto en este estudio.

Se observó correlación positiva entre la biomasa con el número de vainas ($r = 0.66^{**}$) (Cuadro 3), hecho que explica la importancia de la acumulación de materia seca, la cual fue utilizada para sustentar el crecimiento de los frutos en la mayoría de los materiales evaluados en este grupo de accesiones. Esta respuesta, a diferencia de lo observado en el grupo de frijol Pinto, se debe a la reacción neutral al fotoperíodo de las líneas y variedades de tipo Flor de Mayo, en este grupo sólo la variedad Dalia es de reacción de día corto, la cual tuvo la más alta acumulación de biomasa (Cuadro 1).

El rendimiento mostró relación significativa únicamente con el peso de cien semillas ($r = 0.55^*$), lo que demostró la importancia del tamaño del grano en la productividad del frijol. El IC mostró una correlación negativa y altamente significativa con producción de biomasa ($r = -0.74^{**}$), lo que permitió corroborar que los materiales con producción alta de biomasa fueron ineficientes para distribuir materia seca hacia las semillas debido al efecto de la temperatura alta sobre el establecimiento de las vainas y lo tardío de los materiales, lo que retrasó la floración; de hecho, el coeficiente de correlación ($r = 0.66^{**}$) entre número de vainas y la biomasa sugiere que la mitad de la variación en el IC se explica por los valores de la biomasa, por lo que en este tipo de frijol sería importante seleccionar para un alto vigor o desarrollo del dosel, alto número de vainas por planta y alto número de granos por vaina.

Al comparar el número de vainas entre grupos de

Cuadro 2. Coeficiente de correlación entre variables evaluadas en materiales de frijol tipo Pinto cultivados en riego.

Carácter	Biomasa	Núm. vainas	Núm. granos	Rendimiento	P100S	IC
Biomasa	1.0	0.10	-0.02	0.33	0.30	-0.36
Núm. vainas		1.0	0.87 ^{**}	0.67 ^{**}	0.38	0.53 [*]
Núm. granos			1.0	0.72 ^{**}	0.28	0.67 ^{**}
Rendimiento				1.0	0.48	0.75 ^{**}
P100S					1.0	0.23

P100S: peso de cien semillas. IC: índice de cosecha. ^{**} Significativo al 0.01 de probabilidad, ^{*} Significativo al 0.05 de probabilidad.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación entre variables evaluadas en materiales de frijol tipo Flor de mayo cultivados en riego.

Carácter	Biomasa	Núm. vainas	Núm. granos	Rendimiento	¹ P100S	IC
Biomasa	1.0	0.66**	0.45	0.45	0.13	-0.74**
Núm. vainas		1.0	0.41	0.37	0.01	-0.38
Núm. granos			1.0	0.48	0.55*	0.05
Rendimiento				1.0	0.55*	0.23
P100S					1.0	0.19

¹P100S: peso de cien semillas; IC: índice de cosecha. ** Significativo al 0.01 de probabilidad, * Significativo al 0.05 de probabilidad.

accesiones se observa que éste fue menor en los frijoles de tipo de Flor de Mayo en comparación con los Pintos, lo cual puede deberse a la precocidad de los frijoles de tipo Pinto para el inicio de la floración, característica presente en el germoplasma de la raza Durango (Figura 1A). Sólo la variedad Dalia de tipo Flor de Junio, incluida como testigo en esta comparación, y la línea (FM Anita/PtRcDgo)-1-1-1 mostraron un número de vainas por m² superior a 200, así como un número alto de granos por m²; además, ambas variedades estuvieron entre las de mayor número de vainas con seis granos y, en consecuencia, entre las de mayor rendimiento (Figura 2B).

En la región del Bajío es común observar en el frijol de riego establecido en febrero el aborto de flores y vainas pequeñas, sobre todo en años en que ocurren temperaturas superiores a 32 °C en abril y mayo, las que coinciden con la etapa reproductiva; ésto se observa sobre todo en materiales de tipo Flor de Junio con reacción sensible al fotoperiodo. La abscisión de órganos reproductivos es el primer determinante del rendimiento en leguminosas de grano bajo estrés por calor (Rainey y Griffiths, 2005). Lo anterior coincide con lo señalado para materiales de frijol sensibles a temperaturas altas (Gross y Kiegel, 1994; Porch y Jahn, 2001; Suzuki *et al.*, 2001). En ocasiones se ha observado que vainas, pequeñas, sin granos, con valvas gruesas y duras permanecen en la planta sin caerse. En la localidad donde se realizó esta investigación se ha observado que materiales sensibles al fotoperiodo, sobre todo de ciclo intermedio y tardío, muestran crecimiento vegetativo abundante porque la temperatura alta incrementa el efecto de los días largos, se retrasa la floración y crecen los órganos vegetativos. Todos esos efectos son conducentes a la acumulación de biomasa en tallos y ramas, en detrimento del rendimiento de grano (Wallace *et al.*, 1993). Kazai *et al.* (2019) sugieren que el mejoramiento por precocidad a la floración y un establecimiento rápido de las vainas son características que contribuyen al escape de los efectos negativos del estrés por calor, tal como se observa en los materiales de tipo Pinto evaluados en este estudio. En áreas aledañas

a la localidad de prueba algunos productores siembran desde mediados de enero; este ajuste en la fecha de siembra, combinado con el uso de variedades de ciclo corto, es una opción viable hasta en tanto se desarrollen variedades tolerantes a las altas temperaturas.

Las diferencias en la producción de biomasa entre accesiones están probablemente relacionadas con la reacción al fotoperiodo de cada material y con la capacidad para el establecimiento de las vainas, ya que como señala Marcelis (1996), la fuerza de la demanda ejerce control sobre la removilización de los fotoasimilados de las hojas, tallos y ramas hacia las vainas y granos en desarrollo (Hay, 1995). Así, materiales con un número bajo de vainas y con una cantidad alta de vainas con una o dos semillas mostraron producción alta de biomasa y un IC bajo (Hay, 1995); entonces, el IC puede limitarse por una floración tardía y niveles altos de acumulación de biomasa en órganos vegetativos (Evans, 1996). En ocasiones la correlación negativa entre el IC y el tiempo a floración pueden reflejar un ambiente limitante al final de la estación de crecimiento, como puede ser falta de humedad, temperatura alta y otros tipos de estrés; en otras ocasiones, se relaciona con el desequilibrio entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo (Evans, 1996).

En cultivos como el frijol, que producen ramas y flores axilares, el crecimiento de los órganos vegetativos y reproductivos se traslapa y éstos compiten entre sí hasta que las vainas ejercen demanda alta; sin embargo, en materiales de frijol sensibles al fotoperiodo la competencia entre órganos se extiende y se observa crecimiento vegetativo, flores y vainas maduras en una misma planta, lo que genera un nivel bajo del IC, como se ha observado en la localidad de prueba con variedades de tipo Flor de Junio.

Entre los dos grupos de materiales, los promedios para el rendimiento y peso de cien semillas resultaron similares, y diferentes estadísticamente ($P \leq 0.05$) para biomasa e IC (Cuadro 1); sin embargo, los de tipo Pinto son

considerados como superiores porque maduraron una semana antes que los de tipo Flor de Mayo. Los materiales de frijol estudiados presentaron numerosas vainas con una sola semilla, debido a que durante la fase reproductiva se presentaron días con temperaturas máximas de hasta 35 °C, lo cual, como se menciona en la literatura (Gross y Kiegel, 1994; Porch y Jahn, 2001; Suzuki *et al.*, 2001), dañó el polen y provocó aborto de flores, vainas y semillas.

La producción de biomasa fue alta en algunos materiales, debido a la distribución preferente de fotoasimilados hacia las estructuras vegetativas y la demanda baja ejercida por un número bajo de vainas y semillas, ocasionado por las temperaturas altas. En consecuencia, el IC resultó bajo, pero fue de importancia como indicador de la capacidad de removilización de fotoasimilados hacia la semilla en condiciones de estrés por calor.

CONCLUSIONES

El efecto de la temperatura alta se manifestó con la presencia de un número bajo de vainas y semillas por vaina, lo que redujo la fuerza de la demanda de fotoasimilados y, en consecuencia, se redujo el índice de cosecha. En condiciones de estrés por temperatura alta, la selección de materiales tolerantes incluye la obtención de plantas con número alto de vainas normales. Los materiales de frijol con rendimiento alto mostraron un número alto de granos por unidad de área, como resultado de la formación de más vainas con más semillas. La variedad Salinas tuvo numéricamente el rendimiento más alto entre los materiales de tipo Pinto, mientras que entre los de tipo Flor de Mayo la línea (PS/FM Dolores)-M-9-2-9 resultó superior. Los materiales con producción alta de biomasa e índice bajo de cosecha mostraron número alto de vainas con número bajo de semillas y rendimiento inferior.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado en parte por la Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO-GRP10184). LMRT recibió una beca de CONABIO para realizar su tesis de licenciatura.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams M. W. (1967) Basis of yield component compensation in crop plants with special reference to the field bean, *Phaseolus vulgaris* L. *Crop Science* 7:505-510, <https://doi.org/10.2135/crops.c1967.0011183X000700050030x>
- Assefa T., A. A. Mahama, A. V. Brown, E. K. Cannon, J. C. Rubyogo, I. M. Rao, ... and S. B. Cannon (2019) A review of breeding objectives, genomic resources, and marker-assisted methods in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Molecular Breeding* 39:20, <https://doi.org/10.1007/s11032-018-0920-0>
- Barrios-Gómez E. J. y C. López-Castañeda (2009) Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencia* 43:29-35.
- Beebe S., J. Ramírez, A. Jarvis, I. M. Rao, G. Mosquera, J. M. Bueno and M. W. Blair (2011) Genetic improvement of common beans and the challenges of climate change. In: *Crop Adaptation to Climate Change*. S. S. Yadav, R. J. Redden, J. L. Hatfield, H. Lotze-Campen and A. E. Hall (eds.). Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK. pp:356-369, <https://doi.org/10.1002/9780470960929.ch25>
- Evans L. T. (1996) *Crop Evolution, Adaptation and Yield*. Cambridge University Press. New York, USA. 514 p.
- FIRA, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (2019) Panorama Agroalimentario. Frijol 2019. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial, FIRA Banco de México. Ciudad de México. 22 p.
- Gross Y. and J. Kigel (1994) Differential sensitivity to high temperature of stages in the reproductive development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Research* 36:201-212, [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)90112-0](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)90112-0)
- Hay R. K. M. (1995) Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of Applied Biology* 126:197-216, <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1995.tb05015.x>
- Kazai P., C. Noulas, E. Khah and D. Vlachostergios (2019) Yield and seed quality parameters of common bean cultivars grown under water and heat stress field conditions. *Agriculture and Food* 4:285-302, <https://doi.org/10.3934/agrfood.2019.2.285>
- Marcelis L. F. M. (1996) Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant. *Journal of Experimental Botany* 47:1281-1291, https://doi.org/10.1093/jxb/47.Special_Issue.1281
- Porch T. G. (2006) Application of stress indices for heat tolerance screening of common bean. *Journal of Agronomy and Crop Science* 192:390-394, <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2006.00229.x>
- Porch T. G. and M. Jahn (2001) Effects of high temperature stress on microsporogenesis in heat sensitive and heat-tolerant genotypes of *Phaseolus vulgaris*. *Plant, Cell & Environment* 24:723-731, <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00716.x>
- Rainey K. M. and P. D. Griffiths (2005) Differential response of common bean genotypes to high temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130:18-23, <https://doi.org/10.21273/JASHS.130.1.18>
- SAS Institute (2004) SAS/STAT® User's Guide. Software versión 9.1. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 5136 p.
- Schoonhoven A. Van. y M. A. Pastor-Corrales (1987) Sistema Estándar para la Evaluación de Germoplasma de Frijol. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 87 p.
- Suzuki K., T. Tsukaguchi, H. Takeda and Y. Egawa (2001) Decrease of pollen stainability of green bean at high temperatures and relationship to heat tolerance. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 126:571-574, <https://doi.org/10.21273/JASHS.126.5.571>
- Vadez V., J. D. Berger, T. Warkentin, S. Asseng, P. Ratnakumar, K. P. C. Rao, ... and M. A. Zaman (2012) Adaptation of grain legumes to climate change: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 32:31-44, <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0020-6>
- Wallace D. H., K. S. Yourstone, P. N. Masaya and R. W. Zobel (1993) Photoperiod gene control over partitioning between reproductive and vegetative growth. *Theoretical and Applied Genetics* 86:6-16, <https://doi.org/10.1007/BF00223803>

