

RESPUESTA AL FOTOPERIODO DE FAMILIAS SEGREGANTES DE FRIJOL DE ALTO POTENCIAL DE RENDIMIENTO

PHOTOPERIOD RESPONSE OF BEAN SEGREGATING FAMILIES OF HIGH YIELD POTENTIAL

Albino Campos Escudero^{1*}, Fernando Castillo González² y Jorge A. Acosta Gallegos¹

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Campo Experimental Valle de México, Programa de Frijol, Apdo. Postal No. 10, C.P. 56230 Chapingo, Estado de México. Tel y Fax. 01(595) 95-46528. Correo electrónico: acampose@elfoco.com ² Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Especialidad de Genética. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. Montecillo, Estado de México. C.P. 56230. Tel y fax. 01(595) 95-20262.

* Autor responsable

RESUMEN

En frijol, los genotipos de respuesta neutral al fotoperiodo muestran adaptación a diferentes latitudes, mientras que los materiales sensibles exhiben mayor adaptación en sitios altos, como el Altiplano de México. Para conocer la respuesta al fotoperiodo de 10 familias F₆ de frijol, derivadas de progenitores contrastantes en su respuesta al fotoperiodo y seleccionadas por su alto potencial de rendimiento, fueron sembradas en el campo en Zacatepec, Morelos en el ciclo de invierno 1996-1997, y en campo e invernadero en Chapingo, México en el verano de 1996 y 1997 (cinco ambientes). Los materiales se evaluaron bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. En el campo la evaluación se hizo bajo fotoperiodo natural de 13.2 horas luz promedio y en el invernadero se aplicaron dos tratamientos de fotoperiodo: 8 y 18 h. Con los datos de floración obtenidos en el invernadero se calculó la tasa de desarrollo de floración, la que a su vez permitió calcular el índice de sensibilidad al fotoperiodo. Se encontró que nueve de las 10 familias evaluadas y la variedad Carioca (C) resultaron insensibles al fotoperiodo, y sólo la familia (PV x C)-6 y las variedades Pinto Villa (PV) y Tlaxcala 475 (T) fueron sensibles. Las familias (PV x C)-3, (PV x C)-5, (C x T)-8 y (C x T)-10, todas de respuesta neutral, fueron las de mayor rendimiento en el campo, con 277 a 302 g m⁻²; en cambio, la variedad Tlaxcala 475 y la familia (PV x C)-6, ambas sensibles al fotoperiodo, mostraron los rendimientos más bajos (128 y 213 g m⁻², respectivamente). Las familias de respuesta neutral al fotoperiodo se comportaron más estables en los días a la floración y en su rendimiento de grano que las familias sensibles.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., fotoperiodo, genotipos sensibles, genotipos neutrales.

SUMMARY

In common bean, genotypes of neutral response to photoperiod show adaptation to different latitudes, whereas sensible genotypes are best adapted to high altitude sites, such as the Mexican Highlands. The photoperiod response of ten F₆ families, derived from bean genotypes of contrasting photoperiod response and selected on the basis of high yield potential, was determined in the field at Zacatepec, Morelos during the winter cycle of 1996/1997 and in the field and greenhouse at Chapingo, México in 1996 and 1997 (five environments). In the field, a random complete block design with three replicates was utilized. In the field, plants were grown under normal 13.2 h photoperiod and in the greenhouse, two day lengths were used, 8 and 18 h. Flowering data in the greenhouse were used to calculate the rate of development to flower and then this was utilized to calculate the pho-

toperiod sensitivity index. Nine families and the cv. Carioca were photoperiod insensitive, and only the family (PV x C)-6 and cvs. Pinto Villa and Tlaxcala 475 were sensitive. The families (PV x C)-3, (PV x C)-5, (C x T)-8 y (C x T)-10, all neutral to photoperiod, showed the highest yield in the field, ranging from 277 to 302 g m⁻². In contrast, cv. Tlaxcala 475 and the family (PV x C)-6, both sensible to photoperiod, displayed the lowest yield, 128 and 213 g m⁻², respectively. Neutral families resulted more stable in the number of days to flowering and seed yield than sensitive families.

Index words: *Phaseolus vulgaris* L., photoperiod, sensible genotypes, neutral genotypes.

INTRODUCCIÓN

En frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y otros cultivos como trigo (*Triticum aestivum* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.), los genotipos de respuesta neutral al fotoperiodo muestran mayor amplitud de adaptación y pueden expresar su capacidad de rendimiento en diferentes áreas geográficas y latitudes, en comparación con los materiales sensibles (CIAT, 1987). En latitudes superiores a 30°, las variedades de frijol de respuesta neutral al fotoperiodo han sido la base para su explotación comercial en esos ambientes (Francis, 1972; CIAT, 1987). En cambio, los materiales sensibles al fotoperiodo han sido más útiles en sitios elevados (Masaya y White, 1991), porque poseen mayor plasticidad fenológica y son menos inhibidos en su crecimiento y desarrollo por las bajas temperaturas. Esta diversidad de características han permitido que el frijol haya ganado relevancia por la superficie que se cultiva en las diferentes condiciones agroclimáticas del Altiplano de México, y en especial en el Altiplano Semiárido, donde el cultivo del frijol es una de las mejores alternativas para los agricultores (Acosta y White, 1991 y 1995).

En frijol, el fotoperiodo, la temperatura, el genotipo y las interacciones de estos factores son elementos importantes en la expresión de las características fenológicas y de rendimiento (Summerfield y Wien, 1980; Ruíz-Vega,

1984; Wallace, 1985). Otros factores como la disponibilidad de nutrimentos y humedad, ya sea en exceso o en déficit, también afectan su fenología, principalmente durante el llenado de grano (Acosta *et al.*, 1990), así como ataques severos de enfermedades e insectos defoliadores durante la etapa reproductiva, al acelerar la madurez.

En ambientes sin limitaciones para el crecimiento, un retraso en la floración de 3 a 6 días puede ser suficiente para aumentar el rendimiento del frijol en forma significativa (CIAT, 1987). En fotoperiodo de 19 h, la variedad Porrillo Sintético (sensible al fotoperiodo) retrasó su floración en seis días, lo que se tradujo en un incremento en el rendimiento, debido a su vez a un mayor número de semillas por planta y mayor peso total de materia seca en comparación con plantas desarrolladas en fotoperiodo normal de 12:30 h (CIAT, 1975). En otro estudio con la misma variedad, un retraso de 10 días en la madurez se asoció con un incremento de 1000 kg ha⁻¹ en el rendimiento (Laing *et al.*, 1984; White, 1989). En contraste, por cada día de ganancia en precocidad, el potencial de rendimiento puede disminuir en 74 kg ha⁻¹ (Singh, 1991).

Masaya y White (1991) evaluaron 250 materiales de frijol en cinco ambientes con amplitud de 13 a 27° C de temperatura media anual. En los ambientes más calientes, los rendimientos más altos fueron obtenidos con las variedades de respuesta neutral al fotoperiodo, y en los lugares más fríos con los materiales sensibles. El menor rendimiento promedio se obtuvo en el sitio con 13° C y el mayor en el de 24° C. En California, con días de 15 h luz también rindieron más los materiales de respuesta neutral al fotoperiodo; en contraste, en Chíncha, Perú, con días de 10 a 13 h, las variedades y líneas sensibles fueron las mejores, lo que sugiere que la sensibilidad al fotoperiodo es muy útil en sitios altos, como el Altiplano de México y los Andes Sudamericanos.

En la evaluación de 4 mil variedades y líneas de frijol en un sitio tropical, el máximo rendimiento se obtuvo con materiales de respuesta neutral y, en general, las variedades y líneas de alto rendimiento fueron de semilla pequeña y poco sensibles al fotoperiodo. El mejoramiento genético ha generado materiales con menor respuesta al fotoperiodo como resultado de la selección para amplia adaptación (White y Laing, 1989; White *et al.*, 1992).

En Guatemala, al evaluar un grupo de materiales tanto sensibles como insensibles al fotoperiodo, la mayor tasa de acumulación del rendimiento ocurrió a 18° C de temperatura promedio, registrada ésta de la siembra a la cosecha del cultivo, y decreció a partir de 25.4° C; a 28.3° C el rendimiento fue casi nulo (Wallace *et al.*, 1995). Por otro lado, la variación observada en la duración de la etapa re-

productiva y en la tasa de llenado de grano se relacionó con el origen del germoplasma. Así, materiales de frijol del Altiplano de México en comparación a los de origen tropical, fueron menos inhibidos por bajas temperaturas, lo que les permitió una mayor acumulación de peso en los frutos y acelerar la madurez (Acosta y White, 1991; 1995; Hernández, 1995).

La temperatura óptima para la floración tiende a ser mayor para los frijoles neutrales al fotoperiodo, mientras que en los sensibles ocurre lo contrario hasta cierto límite. A mayor temperatura hay mayor actividad de los genes responsables de la respuesta al fotoperiodo y dicho efecto es más pequeño en genotipos insensibles (Wallace *et al.*, 1995).

En temperaturas de 19 a 29° C y fotoperiodos de 12.5, 13.5 y 14.5 h, se observó que a mayor duración del fotoperiodo el número de nudos se incrementó de una a dos unidades y la flor apareció por arriba del cuarto nudo, siendo ese efecto más notorio en unas variedades que en otras (Masaya y White, 1986; CIAT, 1987).

En la evaluación de nueve genotipos de frijol en tres fechas de siembra en el Altiplano de México, el efecto del retraso en la fecha de siembra se manifestó en retraso en la emergencia, reducción en los días a floración y madurez, reducción en el número de ramas de segundo orden y en el rendimiento de grano. La reducción en rendimiento entre la primera y la tercera fecha de siembra resultó mayor en las variedades de origen tropical (neutrales) en relación con las del Altiplano; en estas últimas la redistribución de biomasa al grano también fue más eficiente (Hernández, 1995). Por otra parte, el fotoperiodo de más de 13 h y la temperatura promedio mensual por arriba de 18° C ocurridas durante los meses de mayo y junio, retrasaron el inicio de la floración en fechas de siembra tempranas (abril), mientras que en fechas tardías (fines de julio) la baja temperatura (<17.3° C) retrasó la madurez fisiológica y redujo el rendimiento de grano, aunque de manera diferente en las variedades estudiadas (Esquivel, 1995).

En la región semiárida de México se evaluaron en tres fechas de siembra y durante dos años las variedades México 334, tardía de marcada plasticidad fenológica, Pinto Villa de plasticidad intermedia y Carioca sin plasticidad. Los resultados indicaron que las variedades con plasticidad superaron en 15 % el rendimiento de grano de la variedad neutral Carioca (Pajarito y Acosta, 1997).

Respecto a la herencia de la respuesta al fotoperiodo sobre la floración, aunque se requiere de estudios adicionales, se han propuesto dos genes como los determinantes de

dicha respuesta (White, 1989; Masaya y White, 1991; Kornegay *et al.*, 1993).

La revisión anterior permite afirmar que la fenología del frijol es afectada por la capacidad de respuesta del genotipo al fotoperiodo y modulada en gran parte por la temperatura, en ausencia de otro factor limitante. Así, los genotipos neutrales son menos afectados en su comportamiento fenológico, característica que les permite una amplia adaptación; en cambio, los genotipos sensibles al fotoperiodo son más plásticos y con adaptación más específica, particularmente en sitios sub-tropicales altos. En condiciones favorables de clima y sin restricciones nutricionales o de patógenos, los genotipos tardíos tienden a mostrar un mayor potencial de rendimiento que los genotipos precoces.

La existencia de variedades y líneas de frijol con respuesta neutral al fotoperiodo que muestran la tendencia a tener una mayor capacidad de adaptación y rendimiento referidas en investigaciones realizadas en otros países, motivó la realización del presente estudio, cuyo objetivo principal fue evaluar la respuesta al fotoperiodo de 10 familias segregantes de frijol seleccionadas por su alto potencial de rendimiento, derivadas del cruzamiento entre progenitores contrastantes en su respuesta al fotoperiodo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en dos campos experimentales, el del Valle de México (CEVAMEX) ubicado en Chapingo, Edo. de México y el de Zacatepec, Morelos (CEZACA), pertenecientes al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El CEVAMEX se localiza a los 19° 29' de L N, 98° 53' de L O, y altitud de 2240 msnm, con temperatura media anual de 15° C, y 637 mm de precipitación anual. El CEZACA se ubica a 18° 39' de L N, 99° 12' de L O, a 920 msnm de altitud, con temperatura media anual de 24° C, y con 832 mm de precipitación anual (García, 1988).

Las familias evaluadas fueron derivadas de las variedades Carioca (C), Flor de Mayo M38 (FM), Pinto Villa (PV) y Tlaxcala 475 (T). Las primeras dos variedades son de ciclo tardío y de respuesta neutral al fotoperiodo, y las otras dos de ciclo precoz e intermedio y sensibles al fotoperiodo. Con esas variedades se generaron los cruzamientos siguientes: (1) C x PV, (2) PV x C, (3) T x FM, (4) FM x T, (5) C x T y (6) T x C. A su vez, de estos seis cruzamientos se derivaron 795 familias F₃. En las generaciones F₄ y F₅, y sin conocer su respuesta al fotoperiodo, se seleccionaron 10 de las familias más rendidoras (220 vs 133 g m⁻², promedio de las 785 familias restantes), tanto en Chapingo durante el verano 1996 (ambiente I) como en

Zacatepec durante el invierno 1996-1997 (ambiente II). La genealogía de estas familias se muestra en el Cuadro 1, en donde se observa que seis de las familias provienen del cruzamiento PV x C.

En la generación F₆ las familias seleccionadas y los tres progenitores se evaluaron en Chapingo en el verano de 1997 (ambiente III), en condiciones de temporal, con riego de auxilio y con fotoperiodo natural de 13.2 horas promedio. En este mismo ciclo y en fecha de siembra similar, los 13 materiales se evaluaron en invernadero bajo dos tratamientos de fotoperiodo: 8 (ambiente IV) y 18 horas luz (ambiente V).

En todos los casos se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar, con 13 tratamientos, con dos repeticiones en los ambientes I y II, y con tres en los ambientes III, IV y V. En campo, el tamaño de parcela fue de un surco de un metro de longitud espaciado a 0.60 m, con distancia entre plantas de 10 cm; en invernadero el tamaño de parcela fue una maceta con dos plantas.

En invernadero el fotoperiodo de ocho horas se logró cubriendo las plantas con plástico negro de las 17 horas a las nueve de la mañana del día siguiente, y todos los días desde la emergencia hasta la floración. Para proporcionar el fotoperiodo de 18 horas en una superficie aproximada de 1.7 m² (84 plantas), se colocó un foco de 60 W a una altura de 1.30 m medida a partir de la parte superior de las macetas, el cual se encendía de manera automática a las 18 horas y se apagaba a media noche. Este último tratamiento se aplicó a diario desde la emergencia hasta los 100 días que duró el experimento.

Los caracteres cuantificados y los ambientes en que se obtuvo información fueron los siguientes: índice de sensibilidad al fotoperiodo (ISFP), cuyo parámetro se utilizó como criterio para identificar a los materiales sensibles y neutrales. Este índice se generó a partir de los días a floración en los ambientes IV y V; días a la floración (DF), en los ambientes I al V; rendimiento de grano a 14 % de humedad, en g m⁻² (REN), en los ambientes I, II y III. Se realizó un análisis de varianza individual para los tres caracteres, y un análisis de varianza combinado y de parámetros de estabilidad (Eberhart y Russell, 1966) para los caracteres DF y REN. Para la comparación de medias entre familias y ambientes se utilizó la prueba de Duncan al 0.05 de probabilidad.

Para el cálculo del ISFP, primero se obtuvo la tasa de desarrollo de floración (TDF) de las familias y variedades en los ambientes IV y V, mediante la fórmula: $TDF = 1/(DF - DE)$; donde DF = días a floración y DE = días a emergencia. Con las tasas de ambos ambientes se

procedió a la obtención del ISFP de la siguiente manera: $ISFP = 1 - (TDFL/TDFC)$, donde TDFL=Tasa de desarrollo en fotoperiodo largo (18 h, ambiente V) y TDFC=Tasa de desarrollo en el fotoperiodo corto (ocho h, ambiente IV) (Acosta-Gallegos y White, 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza individual o por experimento, las diferencias entre familias y variedades fueron altamente significativas para los tres caracteres cuantificados (ISFP, DF y REN). En el análisis de varianza combinado y para los caracteres DF y REN, también se detectaron diferencias entre ambientes (A), entre familias (F) y para la interacción FxA (datos no mostrados).

Índice de sensibilidad al fotoperiodo. La familia (PV x C)-6 y los progenitores Pinto Villa y Tlaxcala 475 resultaron altamente sensibles al fotoperiodo ($ISFP > 0.60$); la familia (C x T)-8 se consideró como de respuesta intermedia ($ISFP = 0.37$), y el resto de las familias, incluyendo a la variedad Carioca resultaron de respuesta neutral ($ISFP < 0.23$) (Cuadro 1).

Días a la floración. En función de los días a la floración promedio, los ambientes se ordenaron de mayor a menor duración como sigue: V (60 días), I (56 días), III (48 días), II (45 días) y IV (42 días) (Cuadro 1). El alto

valor en el ambiente V (invernadero y 18 h de fotoperiodo) se debió a que las familias sensibles al fotoperiodo no llegaron a florecer y por consiguiente se les asignó un valor de 100, que fueron los días que duró el experimento. En el ambiente I la causa del retraso a la floración fue la incidencia de temperaturas mínimas por debajo de 10 °C pocos días antes de esta etapa. En los ambientes II y III, la floración ocurrió dentro del tiempo esperado. La precocidad en el ambiente IV se debió a que las plantas, además de haber estado condicionadas a ocho horas de fotoperiodo, también permanecieron tapadas durante la noche, lo que permitió mantener la temperatura mínima diaria por arriba de 10° C.

Al considerar familias y progenitores, los materiales sensibles al fotoperiodo: Tlaxcala 475, Pinto Villa y la familia (PV x C)-6, fueron los que en promedio de los cinco ambientes retrasaron más su floración (>53 días), al igual que la familia (C x T)-8 de respuesta intermedia al fotoperiodo. Esto se debe a que en el ambiente V se les asignó el valor de 100 como días a la floración, por lo que su promedio se incrementó en forma considerable. La variedad Carioca y la familia (C x T)-9, ambas de respuesta neutral al fotoperiodo, también mostraron floración tardía (Cuadro 1). En general, el grupo de familias mostró una tendencia hacia la precocidad debido a que siete de ellas tuvieron como progenitor a la variedad Pinto Villa de ciclo precoz, y a que en los ambientes II y IV las temperaturas

Cuadro 1. Promedios de días a la floración, índice de sensibilidad al fotoperiodo (ISFP) y respuesta al fotoperiodo (RF) de 13 genotipos de frijol evaluados en cinco ambientes de la región Centro de México, 1996-1997.

Núm. de tratamiento y genealogía	Días a floración por ambiente						ISFP	RF □
	IV □	II	III	I	V	Media		
13. Tlax. 475	42 bd □	48 b	50 d	60 ab	100 a	60 a	0.626 ab	S
9. (C x T)-9 □	49 a	54 a	60 a	66 a	49 c	56 b	-0.001 d	N
6. (PV x C)-6	37 d	40 df	42 g	53 bd	100 a	54 bc	0.693 a	S
12. P. Villa	39 cd	37 f	43 fg	50 cd	100 a	54 bc	0.673 a	S
8. (C x T)-8	43 bc	49 b	50 d	61 ab	69 b	54 bc	0.369 bc	I
11. Carioca	49 a	53 a	57 b	66 a	46 c	54 bc	-0.081 d	N
1. (C x PV)-1	47 ab	48 b	53 c	61 ab	45 c	51 cd	-0.020 d	N
10. (C x T)-10	42 bd	47 b	50 d	59 ac	45 c	49 de	0.117 cd	N
2. (PV x C)-2	41 bd	41 de	43 g	51 cd	55 bc	46 de	0.232 cd	N
4. (PV x C)-4	41 cd	46 bc	48 de	54 bd	42 c	46 de	0.059 d	N
5. (PV x C)-5	42 bd	42 d	46 ef	51 cd	48 c	46 de	0.172 cd	N
3. (PV x C)-3	39 cd	43 cd	43 fg	49 d	48 c	44 ef	0.114 cd	N
7. (PV x C)-7	39 cd	39 ef	42 g	47 d	38 c	41 f	-0.012 d	N
Media por ambiente	42 d	45 d	48 c	56 b	60 a			

□ Ambientes: I=Chapingo, Méx., 1996; II=Zacatepec, Mor., 1996-1997; III=Chapingo, Méx., 1997; IV=Chapingo, México, 1997 (invernadero, fotoperiodo 8 h); V=Chapingo, Méx., 1997 (invernadero, fotoperiodo 18 h).

□ RF: I=Familia de respuesta intermedia; N=Familia de respuesta neutral; S=Familia de respuesta sensible

□ Medias con la misma letra en una columna, no difieren significativamente (Duncan, 0.05).

□ PV=Pinto Villa; C=Carioca; T=Tlaxcala 475.

mínimas fueron favorables (arriba de 10° C). Las familias sensibles al fotoperiodo mostraron inconsistencia a través de los ambientes (Cuadros 1 y 2), inconsistencia que se mostró como cambios en el número de días a la floración a través de ambientes.

Cuadro 2. Coeficientes (b_i) y desviaciones de regresión (S^2d_i), y descripción para los días a la floración (DAF) y rendimiento de semilla de 13 genotipos de frijol, evaluados en diferentes ambientes de la región Centro de México, 1996-1997.

Núm. de trat. y genealogía	DAF		Descripción ⁺	Rendimiento		Descripción
	b_i	S^2d_i		b_i	S^2d_i	
2. (PV x C)-2 □	0.84	-7.38	E	0.84	-386.00	E
7. (PV x C)-7	0.12 *	7.72	RDC	0.58	-24.31	E
8. (C x T)-8	1.37 *	-6.69	RBC	1.31	-141.28	E
5. (PV x C)-5	0.44 *	-3.83	RDC	1.11	-453.29	E
1. (C x PV)-1	0.17	43.49 *	BTI	1.03	-462.25	E
4. (PV x C)-4	0.18	24.69 *	BTI	0.39	-24.21	E
11. Carioca	0.12	70.78 *	BTI	1.66	227.56	E
12. P. Villa	2.93	256.43 *	BTI	1.30	-217.33	E
9. (C x T)-9	0.19	60.37 *	BTI	0.61*	-463.05	RDC
3. (PV x C)-3	0.51 *	-6.26	RDC	0.88	3990.35 *	BTI
6. (PV x C)-6	3.02	210.79 *	BTI	1.04	3428.38 *	BTI
10. (C x T)-10	0.35	37.70 *	BTI	1.25	6524.18 *	BTI
13. Tlax. 475	2.75	135.78 *	BTI	0.98	3683.92 *	BTI

*: Significancia de F al 0.05

□ E=Variedad estable; BTI=Variedad con buena respuesta en todos los ambientes, pero inconsistente; RDC=Variedad que responde mejor en ambientes desfavorables y que es consistente; RBC=Variedad que responde mejor en buenos ambientes y que es consistente.

□ C=Carioca; PV=Pinto Villa; T=Tlaxcala 475.

De las siete familias derivadas del cruzamiento Pinto Villa x Carioca y del cruzamiento recíproco, seis fueron neutrales y una sensible al fotoperiodo y tardía. En el análisis de estabilidad las seis primeras presentaron un coeficiente de regresión (b_i) menor de la unidad, respuesta que corrobora su neutralidad; las desviaciones de regresión (S^2d_i), aunque significativas en tres de los seis casos, fueron de magnitud moderada (Cuadro 2). Por su parte, la familia sensible al fotoperiodo (PV x C)-6 mostró coeficiente y desviación de regresión altos.

Las familias segregantes derivadas del cruzamiento Carioca x Tlaxcala 475 fueron más tardías para iniciar la floración que las familias provenientes del cruzamiento anterior, debido a que ambos progenitores son de floración tardía, sobre todo la variedad Carioca. En relación a su respuesta al fotoperiodo, las familias (C x T)-9 y (C x T)-10 fueron neutrales, y la (C x T)-8 intermedia (Cuadro 1).

Varias familias resultaron con menor número de días a la floración en comparación a sus progenitores (segregantes transgresivos), además de mostrar respuesta neutral al fotoperiodo; este hecho permite sugerir la importancia que tiene para el mejoramiento genético la elección de materiales de frijol neutrales al fotoperiodo como progenitores para ambientes favorables, como los utilizados en la presente

investigación, para combinarlos con otros que reúnan atributos agronómicos complementarios favorables.

Por otra parte, como la respuesta al fotoperiodo en la floración se atribuye a la acción de dos genes (White, 1989; Masaya y White, 1991; Kornegay *et al.*, 1993), el manejo de la neutralidad y en consecuencia la clasificación de material segregante por su respuesta al fotoperiodo puede resultar relativamente sencilla y práctica. Esta clasificación se puede realizar en invernadero, con fotoperiodo controlado y pocas plantas por genotipo, complementado con pruebas de campo en diferentes ambientes.

Respecto a la estabilidad en los días a la floración, se observó que la mayoría de los materiales (8) resultaron inconsistentes a través de los ambientes, con excepción de las familias identificadas con los números 2, 3, 5, 7 y 8 que fueron consistentes (Cuadro 2). Esto indica que los materiales interaccionaron fuertemente con el ambiente, situación que probablemente se debió a la respuesta diferencial de los genotipos a los cambios en la temperatura, disponibilidad de humedad y patógenos presentes durante el desarrollo de los experimentos.

Rendimiento de grano. En promedio, el mayor rendimiento correspondió al ambiente III (Chapingo, 1997) con 335 g m⁻², seguido del II (Zacatepec, 1996-1997) con 238, y por último el ambiente I (Chapingo, 1996) con 169 g m⁻² (Cuadro 3). La notable superioridad del ambiente III se debió a que el cultivo se auxilió con riego. En el ambiente II, aunque el cultivo también se condujo con riego, los rendimientos fueron bajos debido a la alta incidencia de mosquita blanca [*Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)] durante casi todo el ciclo del cultivo, no obstante que se hicieron aplicaciones periódicas de insecticida para su control. El bajo rendimiento en el ambiente I se debió en gran parte a daño por granizo y roya [*Uromyces appendiculatus* var. *appendiculatus* (Pers.:Pers.) Unger], que ocurrieron durante la etapa reproductiva.

En promedio de los tres ambientes, los materiales de mayor rendimiento (265 a 302 g m⁻²) correspondieron a las familias identificadas con los números 1, 3, 5, 8, 10 y a la variedad Carioca, todas de respuesta neutral, a excepción de la familia 8 clasificada como de respuesta intermedia (Cuadros 1 y 3). La variedad Tlaxcala 475, sensible al fotoperiodo, fue la de menor producción, mientras que la variedad Pinto Villa, que también es sensible al fotoperiodo, mostró un alto rendimiento. No obstante el bajo número de familias evaluadas en este estudio, estos resultados

Cuadro 3. Rendimiento de grano de 13 genotipos de frijol evaluados en tres ambientes de la región Centro de México, 1996-1997.

Núm. de tratamiento y genealogía	Rendimiento (g m ⁻²)			
	Chapingo 1996	Zacatepec 1996-1997	Chapingo 1997	Media
5. (PV x C)-5 □	212 ac □	295 ab	397 ab	302 a
10. (C x T)-10	123 df	388 a	350 ad	287 ab
3. (PV x C)-3	268 a	185 b	398 ab	283 ab
8. (C x T)-8	160 ce	288 ab	382 ab	277 ac
1. (C x PV)-1	190 bd	257 ab	360 ac	268 ad
11. Carioca	157 ce	213 b	425 a	265 ad
12. P. Villa	162 ce	217 b	373 ac	250 ad
4. (PV x C)-4	235 ab	217 b	295 bd	248 ad
2. (PV x C)-2	163 ce	240 ab	305 bd	237 bd
7. (PV x C)-7	173 be	258 ab	275 cd	235 bd
9. (C x T)-9	173 be	212 b	273 cd	220 dc
6. (PV x C)-6	83 f	288 ab	270 cd	213 d
13. Tlax. 475	103 ef	32 c	250 d	128 e
Media por ambiente	169 c	238 b	235 a	

□ Medias con la misma letra en una columna, no difieren significativamente (Duncan, 0.05).

□ C=Carioca; PV=Pinto Villa; T=Tlaxcala 475.

son similares a los reportados por otros investigadores, en el sentido de que en el trópico los materiales con altos rendimientos tienden a ser poco sensibles al fotoperiodo (White y Laing, 1989; White *et al.*, 1992). El rendimiento aceptable de Pinto Villa indica que para el caso del Altiplano de México, también los materiales sensibles pueden exhibir alto rendimiento, lo que concuerda con lo observado por Masaya y White (1991). Las familias menos consistentes en su rendimiento fueron la 3, 6, 10, y la variedad Tlaxcala 475 (Cuadros 1 y 2).

De las siete familias derivadas del cruzamiento de Pinto Villa x Carioca y del cruzamiento recíproco, la familia sensible (PV x C)-6 fue la que mostró menor rendimiento; en las seis familias restantes el rendimiento varió de 235 a 302 g m⁻², y dentro de éstas, la familia (PV x C)-5 fue la de mayor rendimiento. En las familias (PV x C)-3 y (PV x C)-4 y la variedad Tlaxcala 475 que mostraron su rendimiento más bajo en Zacatepec, la alta significancia de las S²d_i pudiera estar asociada a la sensibilidad a temperaturas elevadas (>30° C), sobre todo en la primera familia; por el contrario, el bajo rendimiento de las familias identificadas con los números 5, 6, 8 y 10, en Chapingo en 1996, podría deberse a la sensibilidad a bajas temperaturas, sobre todo en la segunda y última familia. Este comportamiento variable de familias segregantes parece ser semejante a lo observado por Masaya y White (1991) para variedades y líneas estabilizadas.

De las tres familias segregantes del cruzamiento Carioca x Tlaxcala 475, aunque en menor número, la (C x T)-8 y la (C x T)-10 mostraron rendimientos similares a las mejores familias de la cruzada Pinto Villa x Carioca; en cam-

bio, la familia (C x T)-9 estuvo dentro de las de menor rendimiento (Cuadro 3). Dado que estas tres familias mostraron su producción más baja en Chapingo en 1996, ello pudiera sugerir cierta sensibilidad a bajas temperaturas, probablemente proveniente de la variedad Carioca.

Respecto a la estabilidad del rendimiento, la mayoría de las familias neutrales resultaron estables, lo que se atribuye en parte a que éstas se seleccionaron por alto rendimiento en dos de los tres ambientes en que se midió este carácter (Cuadro 2).

CONCLUSIONES

Nueve de las 10 familias con alto potencial de rendimiento resultaron insensibles al fotoperiodo, característica derivada del progenitor Carioca. Los progenitores Pinto Villa y Tlax. 475 fueron sensibles al fotoperiodo.

Las familias insensibles al fotoperiodo mostraron mayor estabilidad en los días a floración y rendimiento que las sensibles.

La clasificación de material segregante por su respuesta al fotoperiodo, puede hacerse en forma relativamente sencilla y práctica, con pocas plantas en el invernadero.

En el mejoramiento genético en frijol es importante el aprovechamiento de progenitores de alto rendimiento y respuesta neutral al fotoperiodo, para combinarlos con otros que reúnan atributos agronómicos complementarios favorables.

AGRADECIMIENTOS

Investigación parcialmente financiada por proyecto CONACYT, Clave K0220-A9702.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta G J A, D M Aguilera C, R Ochoa M, M P Arrieta M, R Rosales S (1990) Mecanismo fenológico de escape en frijol en relación a la adaptación a temporal. *In*: Resultados de Investigación sobre Frijol 1989. Proyecto Colaborativo INIFAP-MSU (B/C-CRSP). Durango, Dgo., México. pp: 59-66.
- _____, J W White (1991) Effect of photoperiod response on adaptation to the Altiplano of Mexico. *Annu. Rep. Bean Improv. Coop.* 34: 78-79.
- _____, J W White (1995) Phenological plasticity as an adaptation by common bean to rainfed environments. *Crop Sci.* 35: 199-204.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (1975) Fisiología. Sistemas de Producción de Frijol. Cali, Colombia. pp: 16 - 26.
- _____. (1987) Adaptación a fotoperiodo-temperatura. Programa de Frijol. Informe Anual 1986. Cali, Colombia. pp: 137-140.
- Eberhart S A, W A Russell (1966) Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.

- Esquivel E G (1995).** Fenología, crecimiento y rendimiento de dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en seis fechas de siembra. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 60 p.
- Francis C A (1972)** Natural daylengths for photoperiod sensitive plants. Tech. Bull. Núm. 2. CIAT, Cali, Colombia. 32 p.
- García E (1988).** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Cuarta edición. Méx., D.F. Ed. Offset Larios, S.A. 217 p.
- Hernández H C (1995)** Fenología y rendimiento de variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de diversos orígenes en tres fechas de siembra. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 78 p.
- Kornegay J, J W White, J R Domínguez, G Tejada, C Cajiao (1993)** Inheritance of photoperiod response in Andean and Mesoamerican common bean. *Crop Sci.* 33:977-984.
- Laing D R, P G Jones, J H C Davis (1984)** Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: *The Physiology of Tropical Field Crops*. P. Goldsworthy and N. M. Fisher (eds. J Wiley and Sons. New York. pp: 305-351.
- Masaya P N, J W White (1986)** Effects of short days on stem elongation in some indeterminate dry bean cultivars adapted to the tropics. *Annu. Rep. Bean. Improv. Coop.* 29: 1-3.
- _____, _____ (1991) Adaptation to photoperiod and temperature. In: *Common Beans Research for Crop Improvement*. A Van Schoonhoven, O Voysest (eds.). C.A.B. International. CIAT, Cali, Colombia. pp: 445-500.
- Pajarito R A, J A Acosta G (1997)** Bases fisiológicas de la plasticidad fenológica en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). In: *Resultados de Investigación en Frijol 1994- 1995*. Proyecto Colaborativo INIFAP-MSU (B/C-CRSP). J A Acosta G, R Rodríguez G (eds.). Publicación especial Núm. 11. INIFAP. Durango, Dgo. México. pp: 144-156.
- Ruiz-Vega, J (1984)** Soybeans phenology and yield as influenced by environmental and management factors. Ph D. Thesis. Iowa State University. Ames, Iowa. 171 p.
- Singh, S P (1991)** Breeding for seed yield. In: *Common Beans. Research for Crop Improvement*. A. Van Schoonhoven, O Voysest (eds.). C.A.B. International. CIAT, Cali, Colombia. pp: 383-443.
- Summerfield, R J, H C Wien (1980)** Effects of photoperiod and air temperature on growth and yield of economic legumes. *Adv. Legumes Sci. R. Bot. Gardens, England.* pp: 17-36.
- Wallace D H (1985)** Physiological genetics of plant maturity. *Adaptation and yield. Plant Breed. Rev.* 3: 21-167.
- _____, P N Masaya, G A Enriquez, R Rodríguez, R W Zobel (1995) Genotype temperature, and genotype x temperature interaction effects on yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: *Handbook of Plant and Crop Physiology*. M Pessarakli (ed.). The University of Arizona, Tucson, Arizona. Marcel Dekker, Inc. New York. Basel. Hong Kong. pp: 893-915.
- White J W (1989)** Aspectos fisiológicos de la precocidad en el frijol común. In: *Temas Actuales en Mejoramiento Genético del Frijol Común*. S Becbe (ed.). Documento de Trabajo No. 47. Programa de Frijol, CIAT; Cali, Colombia. pp: 162-175.
- _____, D R Laing (1989) Photoperiod response of flowering in diverse genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Res.* 22: 113-128.
- _____, S P Singh, C Pino, M J Rios B, I Buddenhagen (1992) Effect of seed size and photoperiod response on crop growth and yield of common bean. *Field Crops Res.* 28: 295-307.