

CRECIMIENTO, ÍNDICE DE COSECHA Y RENDIMIENTO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) EN UNICULTIVO Y ASOCIADO CON GIRASOL (*Helianthus annuus* L.)

Growth, harvest index and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in sole crop and in intercropped with sunflower (*Helianthus annuus* L.)

EJ Morales-Rosales ✉, JAS Escalante-Estrada, JA López-Sandoval

(EJMR) (JALS) Facultad de Ciencias Agrícolas Universidad Autónoma del Estado de México Campus Universitario "El Cerrillo". El Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca 50200 Edo. México, México ejmorales@colpos.mx
(JASEE) Departamento de Botánica. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Edo. México, Méx.

Artículo recibido: 15 de diciembre de 2006, **aceptado:** 31 de marzo de 2008

RESUMEN. El objetivo de la presente investigación fue estimar el crecimiento, la producción de biomasa, el rendimiento y sus componentes principales en tres cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociados con girasol (*Helianthus annuus* L.). La investigación se realizó durante la primavera de 2002 bajo condiciones de temporal en Montecillo, Estado de México. Las variables evaluadas fueron: fenología del cultivo, número de hojas m^{-2} (NHV), índice de área foliar (IAF), tasa de asimilación neta (TAN), biomasa total (BT), índice de cosecha (IC), número de racimos m^{-2} (NR), número de vainas m^{-2} (NV), número de semillas vaina $^{-1}$ (NSV), número de semillas m^{-2} (NS), peso de cien semillas (PCS) y rendimiento de semilla m^{-2} (REN). La evaluación se realizó bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones en arreglo factorial, donde los factores de estudio fueron: cultivares de frijol y sistemas de siembra. Entre el rendimiento y sus principales componentes se realizó un análisis de correlación lineal simple. En el factor cultivares se detectaron diferencias estadísticas ($p = 0.001$) en todas las variables evaluadas, mientras que el factor sistemas sólo presentó diferencias significativas para las variables NR, NV, NS y PCS. Aunque la interacción de cultivares por sistema no fue significativa ($p = 0.05$), la producción de biomasa y semilla en los cultivares Bayomex y Michoacán se incrementó cuando se asociaron con girasol. Las variables NR, NV, NSV, NS y PCS se correlacionaron de forma positiva y significativa ($p = 0.01$) con el REN. Los resultados indicaron que Bayomex y Michoacán respondieron positivamente a la asociación con girasol Victoria, lo que constituye una opción para los productores del valle de Texcoco.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., *Helianthus annuus* L., cultivos múltiples, rendimiento de semilla, tasa de asimilación neta.

ABSTRACT. The purpose of this study was to estimate growth, biomass production, yield and yield components of three cultivars of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in sole crop and intercropped with sunflower (*Helianthus annuus* L.). The study was carried out during the Spring of 2002 under rainy conditions in Montecillo, State of Mexico. The evaluated variables included: crop phenology, number of leaves m^{-2} (NL), leaf area index (LAI), net assimilation rate (NAR), total biomass (TB), harvest index (HI), number of racemes m^{-2} (NR), number of pods m^{-2} (NP), number of seeds per pod (NSP), number of seeds m^{-2} (NS), weight of one hundred seeds (WHS) and seed yield m^{-2} (SY). The evaluation took place with an experimental design of randomised complete blocks with four replications in a factorial arrangement, where the study factors were cultivars of kidney bean and planting systems. A simple linear correlation analysis was carried out between seed yield and its principal components. Statistical differences ($p = 0.001$) were detected for all evaluated variables in the cultivar factor, while the systems factor presented significant differences for the variables NR, NP, NS and WHS. Although the interaction among cultivars per system was not significant ($p = 0.05$), biomass and seed production increased in the Bayomex and Michoacan cultivars when they were intercropped with sunflower. The variables NR, NP, NSP, NS and WHS were positively and significantly correlated ($p = 0.01$) with seed yield. Results indicate that Bayomex and Michoacan responded positively to being associated with the Victoria sunflower, and this represents an option for the Texcoco valley farmers.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., *Helianthus annuus* L., multiple crops, seed yield, net assimilation rate.

INTRODUCCIÓN

La productividad en los cultivos asociados depende de las relaciones de complementación y de competencia entre las especies componentes del agrosistema. Algunos factores de competencia pueden ser controlados agronómicamente a través del uso de fertilizantes, densidades de población y elección adecuada de las especies en la asociación de cultivos (Sarandón & Chamorro 2003). La reducción en el rendimiento de frijol cuando se siembra asociado con otras especies, está en función de la habilidad competitiva del cultivar utilizado (Davis & García 1983). Generalmente, el frijol de crecimiento determinado (tipo I) es menos “competitivo” que los de crecimiento indeterminado (tipo II, III y IV) cuando son asociados con diferentes especies. Por esta razón, la reducción en el rendimiento en estos tipos de frijol es menos severa (Escalante & Kohashi 1993). Típicamente, los cereales como el maíz, sorgo, mijo y otros cultivos como el girasol, son especies que comúnmente se asocian con leguminosas como frijol, cacahuate y soya. Tsubo & Walker (2004) indicaron que las diferencias entre estos cultivos y las leguminosas en características morfológicas, como la estructura del dosel y sistema radical (mayor área foliar y profundidad de la raíz en los cereales y el girasol), provocaron que los cultivos componentes de la asociación tengan una “diferencia espacial” (cuando las raíces o doseles de los cultivos captan recursos o insumos en diferentes zonas) y hagan un “uso temporal” de los recursos ambientales (cuando las mayores demandas de los recursos o insumos de los cultivos se producen en periodos diferentes). Por lo que se piensa que el aprovechamiento de la radiación solar, agua y nutrimentos es mejor en las especies en asociación (Tsubo *et al.* 2003).

Cuando el frijol se siembra asociado, la producción de biomasa y rendimiento de semilla ha sido afectada por la competencia ejercida por la otra especie. Stern (1993), Kohashi (1996) y Santalla *et al.* (1999) indicaron que el rendimiento de semilla y el índice de cosecha de frijol se redujeron significativamente cuando fue sembrado asociado con maíz, debido principalmente a la competencia por insu-

mos de cada especie. En ese sentido, Tsubo & Walker (2004) mencionaron que el maíz ejerce sobre el frijol de tipo arbustivo una fuerte competencia que puede reducir en 67 % la producción de biomasa total, asimismo el frijol acumuló 40 % menos materia seca en la vaina.

Ann & Francis (1985) al evaluar diferentes cultivares de frijol de hábito de crecimiento determinado e indeterminado asociados con maíz observaron reducciones de 25 y 8 % en el número de nudos, 46 y 39 % en el número de racimos, y 53 y 44 % en el número de vainas, respectivamente, con relación a sus unicultivos. En contraste, Tsubo *et al.* (2003) no encontraron reducciones significativas en la producción de materia seca y rendimiento de semilla en cultivares de frijol de crecimiento indeterminado cuando fueron asociados con maíz, lo anterior fue debido al menor sombreado del maíz sobre estos cultivares de frijol.

Dentro de los estudios más relevantes donde se combinan leguminosas con girasol están los siguientes: Stern (1993) afirmó que el crecimiento de las leguminosas se redujo cuando fueron sombreadas por el girasol. Sin embargo, algunas especies continúan fijando nitrógeno aún bajo estas condiciones. Asimismo, Stern (1993) registró reducciones en el rendimiento de soya y frijol cuando son sembrados en asociación con girasol. Kandel *et al.* (1997) encontraron una alta producción de materia seca de frijol (4098 kg ha⁻¹) cuando este se sembró asociado y en la misma fecha que el girasol. Ibrair *et al.* (2002) al evaluar diferentes leguminosas asociadas con girasol, encontraron que la competencia ejercida por esta oleaginosa, redujo el número de vainas por planta, la longitud de la vaina y el número de semillas por vaina. Morales *et al.* (2006) afirmaron que el frijol y el girasol se “complementan en el uso de los recursos” cuando son sembrados en asociación, en ese sentido, mencionaron que la raíz del girasol tiene la capacidad de profundizar en el suelo, lo que facilita la penetración y arraigo del sistema radical del frijol. En suelos alcalinos, el frijol sufre severos daños debido a la baja disponibilidad de nutrimentos por el pH elevado, al sembrarlo junto al girasol, la raíz de esta especie excreta iones H⁺ que bajan el pH y favorecen el aprovechamiento de los

nutrimentos por parte del frijol (Escalante 1999). No obstante, estos antecedentes, los estudios sobre la asociación frijol - girasol son limitados por lo que se requiere más investigación sobre un número mayor de cultivares de frijol para determinar el potencial que puede ofrecer este sistema de producción. El objetivo del presente trabajo fue estudiar el crecimiento, producción de biomasa, rendimiento de semilla y sus principales componentes de tres cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociados con girasol (*Helianthus annuus* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en condiciones de temporal en un lote experimental ubicado en Montecillo, Estado de México (19° 29' N - 98° 54' O), a una altitud de 2 250 metros sobre el nivel del mar, con temperatura y precipitación media anual de 14.6 °C y 558 mm, respectivamente (García 1988). El suelo es de textura arcillosa con pH de 7.8 y contenido de materia orgánica de 3.8%. La siembra se realizó el 25 de mayo de 2002.

Los tratamientos evaluados fueron seis obtenidos mediante el arreglo factorial de tres cultivares de frijol: Canario 107 y Bayomex ambos de hábito de crecimiento determinado tipo I y Michoacán con hábito indeterminado tipo IV y dos sistemas de siembra: unicultivo y asociado con girasol cultivar Victoria. Las parcelas experimentales consistieron de cuatro surcos de 5.0 m de longitud, distanciados a 0.8 m. La distancia entre plantas fue de 0.3 m en unicultivo y de 0.15 m en asociación. Una planta de frijol se alternó con una de girasol. Las plantas se fertilizaron con la fórmula 100-100-00 (Morales *et al.* 2006) y se aplicaron 50 unidades de nitrógeno y todo el fósforo en la siembra y el resto del nitrógeno en la primera escarda.

Durante el desarrollo del experimento se registró, según los criterios de Escalante & Kohashi (1993), la fenología del cultivo: días a emergencia (E), inicio de floración (R6) y madurez fisiológica (R9). Para evaluar el crecimiento de los tres cultivares de frijol en ambos sistemas de producción, se realizaron muestreos destructivos de tres plantas de la parcela útil a los 20, 34, 49, 67 y 85 días y a

la madurez fisiológica (97, 103 y 120 días para Canario, Bayomex y Michoacán, respectivamente) en cada uno de los muestreos se contaron el número de hojas verdes, se midió el área foliar (sin incluir peciolo) con un integrador de área foliar (Li-cor 3100) y el índice de área foliar (IAF). El IAF se estimó según Escalante & Kohashi (1993) mediante la relación siguiente:

$$IAF = \frac{AF * DP}{10000 \text{ cm}^2}$$

donde:

IAF = índice de área foliar, AF = área foliar por planta (cm²) y DP = número de plantas m⁻².

A la madurez fisiológica se estimó la tasa de asimilación neta (TAN), biomasa total (BT), índice de cosecha (IC), así como el rendimiento de semilla de frijol y sus principales componentes tales como: número de racimos m⁻² (NR), número de vainas m⁻² (NV), número de semillas por vaina (NSV), número de semillas m⁻² (NS) y peso de cien semillas (PCS). La TAN se estimó según Escalante & Kohashi (1993) mediante la siguiente relación:

$$TAN = \left(\frac{PS_2 - PS_1}{AF_2 - AF_1} \right) \left(\frac{\ln AF_2 - \ln AF_1}{t_2 - t_1} \right)$$

donde:

TAN = tasa de asimilación neta; PS₂ y PS₁ = Peso seco final y peso seco inicial; AF₂ y AF₁ = área foliar final y área foliar inicial; ln = logaritmo natural de AF₂ y AF₁; t₂ y t₁ = tiempo final y tiempo inicial.

La BT es la resultante de la suma del peso seco de cada órgano de la planta sin considerar la raíz y se estimó después de someter tres plantas de frijol (sin considerar las hojas desprendidas) de cada tratamiento a 80 °C en una estufa de aire forzado hasta peso constante. El IC se estimó mediante la relación de rendimiento agronómico/biomasa total.

Las variables estudiadas se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA) para un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial y aquellas que resultaron diferentes estadísticamente se les aplicaron la prueba de comparación de la Diferencia Significativa Honesta con un nivel de significancia igual a 0.05 (Gomez & Gomez 1978). Para estimar el grado de asociación entre el rendimiento

Tabla 1. Fuentes de variación y probabilidad estadística del análisis de varianza de las variables evaluadas (FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; C*S = interacción cultivares de frijol por sistema de siembra; E = emergencia; R6 = inicio de floración; R9 = madurez fisiológica; NHV = número de hojas verdes; IAF = índice de área foliar; TAN = tasa de asimilación neta; BT = biomasa total; CV = coeficiente de variación (%); * p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001, ns = no significativo).

Table 1. Sources of variation and statistical probability of the analysis of variance of the evaluated variables (FV = source of variation; GL = degrees of freedom; C*S = interaction kidney bean cultivars per planting system; E = emergence; R6 = start of flowering; R9 = physiological maturity; NHV = number of green leaves; IAF = leaf area index; TAN = net assimilation rate; BT = total biomass; CV = coefficient of variation (%); * p < 0.05; ** p < 0.01; *** p < 0.001; ns = not significant).

FV	GL	E	R6	R9	NHV	IAF	TAN	BT
Bloque	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Cultivar	2	ns	***	***	***	***	***	***
Sistema	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C*S	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV		6	5	5	19	21	4	16

y sus principales componentes se realizó un análisis de correlación lineal simple.

RESULTADOS

Variabes fisiológicas

Las variables inicio de floración y madurez fisiológica presentaron diferencias estadísticas (ANDEVA; p < 0.001) (Tabla 1). La emergencia en todos los tratamientos se presentó a los nueve días después de la siembra (dds), con el 95% en todos los genotipos. El cultivar Canario 107 fue el más precoz, seguido por Bayomex y Michoacán con días a floración y madurez fisiológica de 43 y 97; 50 y 103; y 66 y 120, respectivamente (Tabla 2).

El NHV en ambos sistemas de siembra se incrementó hasta alcanzar su máximo a los 67 dds para frijol Canario 107 y a los 85 dds para Bayomex y Michoacán (Figura 1). Los cultivares de frijol Michoacán en unicultivo y asociado con girasol fueron significativamente mayores con valores de 412 y 444 hojas verdes m⁻². Los frijoles Bayomex y Michoacán presentaron mayor NHV en asociación y Canario 107 formó más NHV en unicultivo. El IAF

Tabla 2. Efecto de la asociación frijol - girasol en las variables evaluadas (E = emergencia; R6 = inicio de floración; R9 = madurez fisiológica; TAN = tasa de asimilación neta (g m⁻² día⁻¹); BT = biomasa total (g m⁻²); en cada columna las medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes; DSH (0.05) = diferencia significativa honesta p < 0.05).

Table 2. Effect of kidney bean - sunflower intercropping system on the evaluated variables (E = emergence; R6 = start of flowering; R9 = physiological maturity; TAN = net assimilation rate (g m⁻² day⁻¹); BT = total biomass (g m⁻²); the means in the columns with the same letter are not statistically different; DSH (0.05) = Honest Significant Difference test p < 0.05).

Cultivar	E	R6	R9	TAN	BT
Canario 107	8.5 a	42.5 c	96.6 c	3.3 b	271.4 c
Bayomex	8.5 a	49.5 b	102.5 b	3.5 b	617.7 b
Michoacán	8.6 a	65.5 a	119.6 a	4.3 a	1253.2 a
DSH (0.05)	0.6	3.5	3.0	0.2	96.6
Sistema					
Unicultivo	8.6 a	53.0 a	106.7 a	3.7 a	728.7 a
Asociado	8.5 a	52.0 a	105.8 a	3.7 a	699.5 a
DSH (0.05)	0.4	2.3	2.0	0.1	64.7

tuvo una tendencia similar, los mayores valores correspondieron al frijol Michoacán asociado (4.3) y en unicultivo (4.2) seguido por Bayomex (3.7 y 3.4) y Canario 107 (0.7 y 0.6) (Figura 2).

Los valores de F correspondientes a la TAN mostraron diferencias estadísticas (p < 0.001) para cultivares y en relación a sistemas e interacción cultivares por sistema no existieron diferencias estadísticas (Tabla 1). La TAN para los tratamientos en unicultivo y asociados con girasol fue de 3.5 y 3.4 g m⁻² día⁻¹ (Canario 107); 3.3 y 3.4 g m⁻² día⁻¹ (Bayomex); 4.3 y 4.31 g m⁻² día⁻¹ (Michoacán), lo cual indicó que entre cultivares de frijol la velocidad promedio de fotosíntesis neta durante todo el ciclo de cultivo fue mayor en Michoacán. La asociación de cultivos no afectó la TAN (Tabla 2).

Rendimiento de grano y sus componentes

El rendimiento de grano y otras características evaluadas reveló para el factor cultivares de frijol diferencias estadísticas altamente significativas (ANDEVA; p < 0.001) en todas las variables (Tabla 3). En el factor sistemas de siembra, las variables NV, NS y PCS mostraron diferencias estadísticas al-

Tabla 3. Fuentes de variación y probabilidad estadística del análisis de varianza de las variables evaluadas (FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; C*S = interacción cultivares de frijol por sistema de siembra; REN = rendimiento de semilla; IC = índice de cosecha; NR = número de racimos; NV = número de vainas; NSV = número de semillas por vaina; NS = número de semillas; PCS = peso de cien semillas; CV = coefficient of variation (%); * p < 0.05; ** p < 0.01; *** p < 0.001; ns = not significant).

Table 3. Sources of variation and statistical probability of the analysis of variance of the evaluated variables (FV = source of variation; GL = degrees of freedom; C*S = interaction cultivars of kidney bean per planting system; REN = seed yield; IC = harvest index; NR = number of racemes; NV = number of pods; NSV = number of seeds per pod; NS = number of seeds; PCS = weight of one hundred seeds; CV = coefficient of variation (%); * p < 0.05; ** p < 0.01; *** p < 0.001; ns = not significant).

FV	GL	REN	IC	NR	NV	NSV	NS	PCS
Bloque	3	ns		ns	ns	ns	ns	ns
Cultivar	2	***	***	***	***	***	***	***
Sistema	1	ns	ns	*	***	ns	***	***
C*S	2	ns						
CV		14	17	16	16	15	20	9

Tabla 4. Efecto de la asociación frijol - girasol en las variables evaluadas (REN = rendimiento de semilla ($g\ m^{-2}$); IC = índice de cosecha; NR = número de racimos (m^{-2}); NV = número de vainas (m^{-2}); NSV = número de semillas por vaina; NS = número de semillas (m^{-2}); PCS = peso de cien semillas (g); en cada columna, las medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes; DSH (0.05) = diferencia significativa honesta p < 0.05).

Table 4. Effect of kidney bean - sunflower intercropping system on the evaluated variables (REN = seed yield ($g\ m^{-2}$); IC = harvest index; NR = number of racemes (m^{-2}); NV = number of pods (m^{-2}); NSV = number of seeds per pod; NS = number of seeds (m^{-2}); PCS = weight of one hundred seeds (g); the means in the columns with the same letter are not statistically different; DSH (0.05) = Honest Significant Difference test p < 0.05).

Cultivar	REN	IC	NR	NV	NSV	NS	PCS
Canario 107	36.3 c	13.3 b	76.1 c	39.2 b	2.0 c	73.3 c	34.9 a
Bayomex	92.0 b	14.6 b	210.0 b	88.4 b	3.5 b	294.1 b	25.4 b
Michoacán	298.3 a	22.4 a	269.8 a	373.5 a	5.1 a	1184.3 a	25.3 b
DSH (0.05)	46.0	5.0	103.5	57.1	0.6	211.2	3.4
Sistema							
Unicultivo	130.7 a	15.7 a	258.9 a	127.9 b	3.0 a	469.0 b	26.2 b
Asociado	153.7 a	17.8 a	178.4 b	206.1 a	2.7 a	1032.1 a	30.9 a
DSH (0.05)	20.8	3.4	69.4	28.2	0.4	141.5	2.2

tamente significativas (ANDEVA; p < 0.001) y el NR fue significativo (ANDEVA; p < 0.05). La interacción cultivares de frijol por sistema de siembra no fue significativa para las variables REN, IC, NR, NV, NSV, NS y PCS. Los valores mínimos y máximos de los coeficientes de variación fueron de 9 a 21 % que correspondieron a PCS y para IAF, respectivamente.

La producción de materia seca y rendimiento de semilla fue mayor en el frijol Michoacán que superó en 50.8 y 69.2 % a Bayomex y en 78.3 y 87.8 %

a Canario 107. En consecuencia, el IC fue mayor en el cultivar Michoacán, cuyo valor fue de 22.4 % (Tablas 2 y 4). En los componentes de rendimiento, Michoacán fue superior al resto de los cultivares de frijol, excepto en la variable PCS donde Canario 107 mostró el mayor valor y superó a Bayomex y Michoacán en 27.2 y 27.5 %, respectivamente (Tabla 4). En el sistema asociado, el NV, NS y el PCS presentaron valores superiores respecto al registrado en el sistema unicultivo, sin embargo, en este sistema

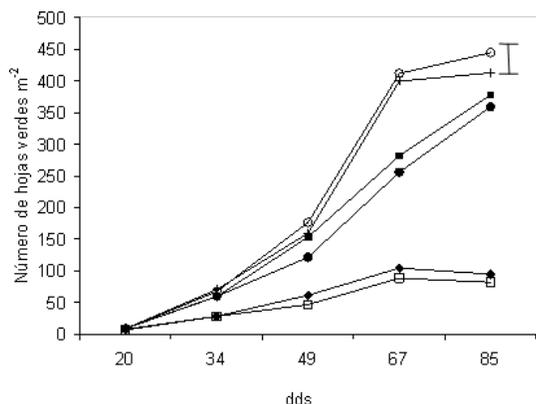


Figura 1. Evolución del número de hojas verdes (m^{-2}) en tres cultivares de frijol en unicultivo y asociados con girasol (dds= días después de la siembra; la barra representa la diferencia significativa honesta ($p < 0.05$) a los 85 días después de la siembra, tiempo en el que se alcanzó el valor máximo de esta variable; ♦ canario 107, □ canario 107 asociado, ● bayomex, ■ bayomex asociado, + michoacán, ○ michoacán asociado).

Figure 1. Changes in the number of green leaves (m^{-2}) in three cultivars of common bean in sole crop and intercropped with sunflower (dds= days after planting; the bar represents the honest significant difference ($p < 0.05$) 85 days after planting, time at which the maximum value of this variable was reached; ♦ canario 107, □ canario 107 intercropped, ● bayomex, ■ bayomex intercropped, + michoacán, ○ michoacán intercropped).

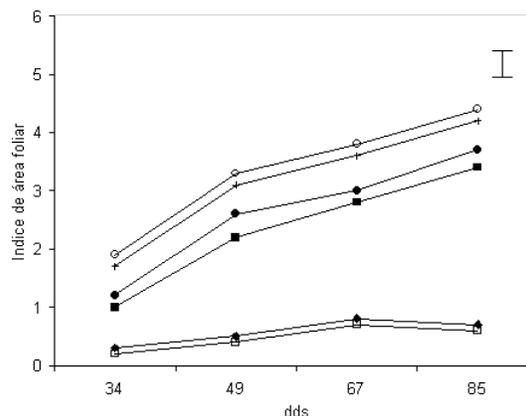


Figura 2. Evolución del índice de área foliar en tres cultivares de frijol en unicultivo y asociados con girasol (dds = días después de la siembra; la barra representa la diferencia significativa honesta ($p < 0.05$) a los 85 días después de la siembra, tiempo en el que se alcanzó el valor máximo de esta variable; ♦ canario 107, □ canario 107 asociado, ● bayomex, ■ bayomex asociado, + michoacán, ○ michoacán asociado).

Figure 2. Changes in the leaf area index in three cultivars of common bean in sole crop and intercropped with sunflower (dds= days after planting; the bar represents the honest significant difference ($p < 0.05$) 85 days after planting, time at which the maximum value of this variable was reached; ♦ canario 107, □ canario 107 intercropped, ● bayomex, ■ bayomex intercropped, + michoacán, ○ michoacán intercropped).

Tabla 5. Correlación lineal simple entre el rendimiento y sus principales componentes (REN = rendimiento de semilla ($g m^{-2}$); PCS = peso de cien semillas (g); NS = número de semillas (m^{-2}); NSV = número de semillas por vaina; NV = número de vainas (m^{-2}); NR = número de racimos (m^{-2}); r = coeficiente de correlación lineal simple * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$).

Table 5. Simple linear correlation between the yield and its yield components (REN = seed yield ($g m^{-2}$); PCS = weight of one hundred seeds (g); NS = number of seeds (m^{-2}); NSV = number of seeds per pod; NV = number of pods (m^{-2}); NR = number of racemes (m^{-2}); r = simple linear correlation coefficient * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$).

REN versus	R	Nivel de significancia
PCS	0.44	*
NS	0.83	**
NSV	0.84	**
NV	0.86	**
NR	0.69	**

de siembra se obtuvo el mayor NR.

Aunque la interacción cultivares de frijol por sistema de siembra no fue significativa, existió tendencia positiva en la asociación frijol Bayomex con girasol. En ese sentido, la producción de biomasa en este cultivar fue superior a su unicultivo en 14 %,

sin embargo, en los frijoles Canario 107 y Michoacán no existió esa respuesta y los valores para esta variable fueron semejantes (Figura 3). El rendimiento de semilla se incrementó en Bayomex superando a su unicultivo en 100 %. Con relación a Michoacán el incremento en el rendimiento fue de 5 % y en Canario 107 el rendimiento se abatió en 29 % (Figura 4).

El análisis de correlación lineal simple, mostró que los caracteres NR, NV, NSV y NS presentaron correlación positiva altamente significativa con el rendimiento de grano. El PCS presentó correlación significativa ($p < 0.05$) y tendencia positiva con el rendimiento de semilla (Tabla 5).

El rendimiento de semilla del girasol Victoria en unicultivo y asociado con los frijoles Canario 107, Bayomex y Michoacán reveló que no existieron diferencias estadísticas significativas en esta variable. Sin embargo, el girasol Victoria en unicultivo superó numéricamente en 11.2, 0.26 y 7.87 % a los sistemas asociados Victoria + Canario, Victoria + Bayomex y Victoria + Michoacán, respectivamente

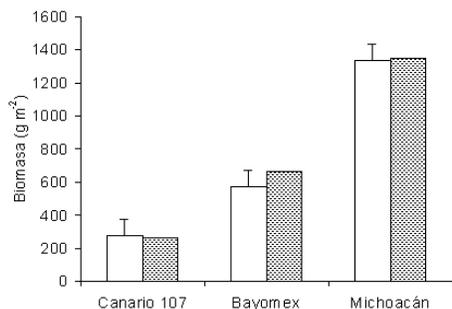


Figura 3. Producción de biomasa de tres cultivares de frijol en unicultivo y asociados con girasol (la barra representa la diferencia significativa honesta $p < 0.05$; □ unicultivo, ■ asociado).

Figure 3. Biomass production of three cultivars of common bean in sole crop and intercropped with sunflower (the bar represents the honest significant difference $p < 0.05$; □ sole crop, ■ intercropped).

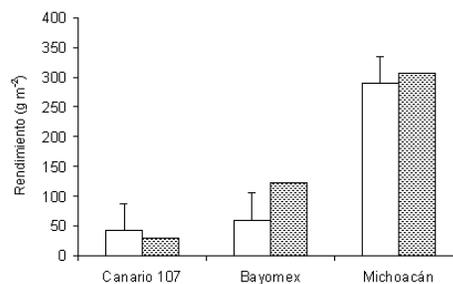


Figura 4. Rendimiento de semilla de tres cultivares de frijol en unicultivo y asociados con girasol (la barra representa la diferencia significativa honesta $p < 0.05$; □ unicultivo, ■ asociado).

Figure 4. Seed yield of three cultivars of common bean in sole crop and intercropped with sunflower (the bar represents the honest significant difference $p < 0.05$; □ sole crop, ■ intercropped).

(Figura 5).

DISCUSIÓN

Variables fisiológicas

Durante el desarrollo del experimento la precipitación pluvial fue 272 mm y la temperatura media 16 °C. Con estas condiciones ambientales, los resultados de esta investigación indicaron que la producción de biomasa y rendimiento de semilla en el cultivar Michoacán de hábito de crecimiento indeterminado en ambos sistemas de siembra fue superior respecto a Bayomex (57.1, 50.8% en biomasa; 79.2, 40.2% en rendimiento) y Canario 107 (79.3, 80.3% en biomasa; 85.5, 90.2% en rendimiento) para unicultivo y asociado, respectivamente (Figuras 3 y 4). Estos resultados coinciden con Tsubo *et al.* (2003), quienes en condiciones similares de temperatura y precipitación no estimaron reducciones significativas en la producción de materia seca y rendimiento en cultivares de frijol de crecimiento indeterminado (tipo III y IV) cuando fueron asociados con maíz. Esta investigación confirmó lo mencionado por Santalla *et al.* (1999) y Tsubo *et al.* (2003), quienes indicaron que los cultivares de frijol de tipo III y IV, cuando son asociados con maíz y girasol, resultaron más competitivos que los de crecimiento determinado de tipo I.

Aunque no existieron diferencias estadísticas

significativas para ninguna variable evaluada en la interacción cultivar por sistema de siembra, los genotipos Bayomex y Michoacán respondieron de forma positiva cuando se establecieron asociados con girasol. Estos resultados confirman lo publicado por Kandel *et al.* (1997), quienes afirmaron que la producción de biomasa y rendimiento de semilla es semejante en frijol cuando se establece en condiciones de unicultivo y asociado con girasol. Asimismo, el cultivar Bayomex se adaptó de forma positiva a la asociación y produjo mayor materia seca y rendimiento de grano con respecto a su unicultivo, lo que confirmó lo publicado por Morales & Escalante (2004). Ellos indicaron que el frijol Bayomex y el girasol Victoria se complementaron mutuamente en el uso de los insumos para la producción agrícola. Esto se puede deber al mayor NHV que presentó este frijol con relación a su unicultivo (Figura 1) y a que el girasol le permitió mejor explotación del medio, al profundizar más el sistema radical de la oleaginosa, facilitó a Bayomex mejor penetración y arraigo del sistema radical al suelo (Morales *et al.* 2006). El frijol sufre severos daños debido a la baja disponibilidad de nutrientes en suelos alcalinos por el pH elevado, sin embargo, al sembrarlo junto al girasol, la raíz de esta especie excreta iones H^+ , los cuales bajan el pH y proporcionan un microambiente alrededor del área radical del frijol. Ambas condiciones permiten una adecuada asimilación de nutrientes

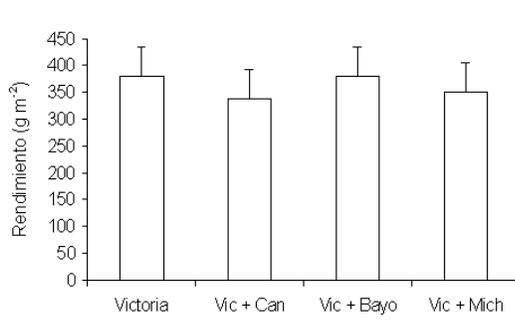


Figura 5. Rendimiento de semilla de girasol Victoria en unicultivo y asociado con tres cultivares de frijol (Vic + Can= Victoria + Canario; Vic + Bayo = Victoria + Bayomex; Vic + Mich = Victoria + Michoacán; la barra representa la diferencia significativa honesta $p < 0.05$).

Figure 5. Seed yield of Victoria sunflower in sole crop and intercropped with three cultivars of common bean (Vic + Can= Victoria + Canario; Vic + Bayo = Victoria + Bayomex; Vic + Mich = Victoria + Michoacán; the bar represents the Honest Significant Difference $p < 0.05$).

(Escalante 1999).

En ambos sistemas de siembra, el frijol Canario 107 presentó los promedios más bajos en la producción de biomasa y rendimiento de semilla. Lo anterior se debe a que este genotipo es susceptible al pH alcalino del terreno (el pH óptimo de este cultivar es entre 6 y 6.5) y no se adaptó a la asociación (Morales *et al.* 2006). Cuando este cultivar se asoció con girasol, se observó un efecto de competencia, expresado en el menor NHV e IAF, que limitó su crecimiento y desarrollo, y el cual fue provocado por el pH alcalino del suelo (7.8) y por el sombreado del girasol, que a su vez redujo la radiación interceptada y como consecuencia de esto la baja producción de biomasa y distribución de fotoasimilados hacia el rendimiento agronómico (Hawkins 1982; Tsubo & Walker 2004).

Durante el crecimiento del cultivo, el NHV y el IAF fue mayor en Michoacán lo que permite afirmar que este cultivar tuvo un mayor porcentaje de radiación interceptada y mejor eficiencia en el uso de este recurso, por lo que la producción de materia seca y rendimiento de grano se incrementó en más de 50 % (Morales *et al.* 2006). La mayor TAN indica que el follaje del frijol Michoacán fue más eficaz en la producción de fotoasimilados y mostró mayor velocidad de fotosíntesis neta (Escalante & Kohashi 1993). La asociación no modificó la TAN de cada

uno de los materiales de frijol empleados en la investigación (Tabla 2). En contraste, en un experimento donde se evaluó la asociación maíz - haba, existió un 18 % más en la TAN en el haba asociada con respecto a su unicultivo (Manu 1994).

La mayor producción de biomasa y rendimiento de semilla alcanzado por el frijol Michoacán en ambos sistemas de siembra se debe a su mayor ciclo de cultivo, y a la expresión adecuada de sus características fisiológicas, tales como mayor NHV, IAF y TAN (Morales & Escalante 2004), lo que le permitió competir con el girasol.

Rendimiento y sus componentes

La asociación positiva y significativa del rendimiento y sus principales componentes con el rendimiento de semilla, confirmaron lo encontrado por Cárcova *et al.* (2003). Estos autores afirmaron que el NS, PCS, NV y NR son los componentes que más influyeron en la expresión del rendimiento. Para el factor cultivares de frijol, la mayor producción de semilla alcanzada por Michoacán con respecto a Canario 107 y Bayomex, estuvo relacionada con un mayor NR, NV, NSV, NS e IC, lo cual concuerda con lo publicado por Escalante & Kohashi (1993). Ellos mencionaron que el NV y NS son los componentes morfológicos más correlacionados con el rendimiento. De igual forma, Davis & García (1983) indicaron que los cultivares de frijol de hábito de crecimiento indeterminado presentan un mayor IC que los de crecimiento determinado, ya que al tener un mayor ciclo de cultivo, la radiación interceptada es mayor y por lo tanto, se incrementa la producción de fotoasimilados, los cuales al ser exportados a los órganos de interés económico contribuyen a incrementar el IC.

El sistema de siembra asociado no afectó el rendimiento de semilla y sus principales componentes (excepto en Canario 107), sino que en algunas características como NV, NS y PCS fue mayor, lo cual indica que no existió una relación de competencia entre ambas especies y sí una relación de complementación en el uso de los recursos. Lo anterior fue expresado por Fukai & Trenbath (1993), quienes señalaron que al asociar dos especies, los cultivos interactúan de tal modo que cuando uno ejerce un

efecto negativo sobre el otro se establece el principio de competencia. La relación de complementación se origina cuando al menos una de las especies componentes de la asociación ejerce un efecto positivo sobre la otra.

En esta investigación, el crecimiento, producción de biomasa, rendimiento y sus principales componentes de los cultivares de frijol Bayomex y Michoacán no fueron afectados por la siembra asociada

con girasol. Además en las asociaciones se obtuvo el rendimiento adicional de girasol (380 g m^{-2} y 351 g m^{-2} , para Victoria + Bayomex y Victoria + Michoacán, respectivamente) (Figura 5) lo que hace atractiva esta asociación de especies y por lo tanto representa una buena alternativa para los pequeños productores de temporal del valle de Texcoco, Estado de México.

LITERATURA CITADA

- Ann CE, Francis CA (1985) Bean - maize intercrops: A comparison of bush and climbing bean growth habits. *Field Crops Res.* 1: 319-335.
- Cárcova JG, Abeledo G, López PM (2003) Análisis de la generación del rendimiento: Crecimiento, partición y componentes. En: Satorre E, Benech AR, Slafer GA, de la Fuente E, Miralles D, Otegui ME, y Savin R (eds) *Producción de cultivos de granos. Bases funcionales para su manejo.* Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires. 783 pp.
- Davis JHC, García S (1983) Competitive ability and growth habit of indeterminate beans and maize for intercropping. *Field Crops Res.* 6: 59-75.
- Escalante EJA (1999) Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17: 149-157.
- Escalante EJA, Kohashi SJ (1993) El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo. 84 pp.
- Fukai S, Trenbath BR (1993) Processes determining intercrop productivity and yields of component crops. *Field Crops Res.* 34: 247-271.
- García E (1988) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal.
- Gomez KA, Gomez AA (1978) *Statistical procedures for agricultural research.* John Wiley & Sons, Manila. 653 pp.
- Hawkins AF (1982) Light interception, photosynthesis and crop productivity. *Outlook Agric.* 11: 104-113.
- Ibrair R, Ahmad S, Azim MM (2002) Sunflower summer legumes intercropping systems under rainfed conditions: yield and yield components. *Pakistan J. Agric. Res.* 17(3): 6-11.
- Kandel HJ, Schneiter AA, Johnson BL (1997) Intercropping legumes into sunflower at different growth stages. *Crop Sci.* 37: 1532-1537.
- Kohashi SJ (1996) Aspectos de la morfología y fisiología del frijol *Phaseolus vulgaris* L. y su relación con el rendimiento. Instituto de Recursos Naturales, Programa de Botánica. Colegio de Postgraduados. Montecillo. 42 pp.
- Manu AJ A (1994) *Effects of resource on growth and development of maize and faba bean intercrop.* University Nottingham Press. Nottingham. 88 pp.
- Morales REJ, Escalante EJA (2004) Biomass and seed yield of common bean in sole crop and intercrop. *Annual report of the bean improvement cooperative* 47: 207-208.
- Morales REJ, Escalante EJA, Tijerina CL, Volke HVH, Sosa ME (2006) Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol. *Terra* 24: 55-64.
- Santalla M, Casquero PA, de Ron AM (1999) Yield and yield components from intercropping bush bean cultivars with maize. *J. Agron. Crop Sci.* 183: 263-269.

- Sarandón JS, Chamorro AM (2003) Policultivos en los sistemas de producción de granos. En: Satorre E, Benech AR, Slafer GA, de la Fuente E, Miralles D, Otegui ME, y Savin R (eds) Producción de cultivos de granos. Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires: 783 pp.
- Stern WR (1993) Nitrogen fixation and transfer in intercrop systems. *Field Crops Res.* 34: 335-356.
- Tsubo M, Walker S (2004) Shade effects on *Phaseolus vulgaris* L. intercropped with *Zea mays* L. under well-watered conditions. *J. Agron. Crop Sci.* 190 (3): 168-176.
- Tsubo M, Mukhala E, Ogindo HO, Walker S (2003) Productivity of maize-bean intercropping in semi-arid region of South Africa. *Water* 29 (4): 381-388.