

# BIOMASA, RENDIMIENTO, EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA Y DE LA RADIACIÓN SOLAR DEL AGROSISTEMA GIRASOL-FRIJOL

## Biomass, Yield, and Water and Radiation Use Efficiency in the Agrosystem of Sunflower and Common Bean

Edgar J. Morales-Rosales<sup>1</sup>, J. Alberto Escalante-Estrada<sup>1†</sup>, Leonardo Tijerina-Chávez<sup>1</sup>, Víctor Volke-Haller<sup>1</sup> y Eliseo Sosa-Montes<sup>2</sup>

### RESUMEN

El estudio se realizó durante el verano de 2002. Los tratamientos consistieron en la siembra en unicultivo y combinación de frijol Canario 107, Bayomex (hábito de crecimiento determinado), Michoacán (hábito de crecimiento indeterminado) y girasol cv. Victoria. La siembra se realizó el 25 de mayo de 2002 a la densidad de población de 4.2 y 8.3 plantas m<sup>-2</sup> de girasol y frijol, respectivamente, en un suelo de textura arcillosa, con un pH de 7.8 y se fertilizó con 100-100-00 de NPK. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. El sistema de siembra no afectó la fenología, el requerimiento térmico y la evapotranspiración de ambos cultivos. Las unidades calor (UC) y la evapotranspiración (ETc) de los cultivos de la siembra a la madurez fisiológica fueron 1521 UC y 279.6 mm para el cv. Victoria, 658 UC y 201.3 mm para Canario 107, 811 UC y 213.7 mm para Bayomex y 1041 UC y 241.7 mm para Michoacán. El agrosistema combinado de girasol y frijol fue más eficiente en el uso de los insumos para la producción agrícola. La combinación de girasol Victoria y frijol Michoacán mostró la eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia en el uso de la radiación (EUR) más alta y, en consecuencia, una mayor producción de biomasa y rendimiento. El uso equivalente de la tierra (UET) para el rendimiento de semilla obtenido con la combinación de Victoria más Canario 107, Victoria más Michoacán y Victoria más Bayomex fue de 1.6, 1.9 y 3.0, respectivamente, y muestra una ventaja en el rendimiento de los cultivos combinados sobre los unicultivos de 60, 90 y 200%, respectivamente.

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

<sup>†</sup> Autor responsable (jasee@colpos.mx)

<sup>2</sup> Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, estado de México.

Recibido: Mayo de 2004. Aceptado: Mayo de 2005.  
Publicado en *Terra Latinoamericana* 24: 55-64.

**Palabras clave:** uso equivalente de la tierra, unidades calor, evapotranspiración, *Helianthus annuus* L., *Phaseolus vulgaris* L.

### SUMMARY

The study was conducted during the summer of 2002. The treatments were monocropping and intercropping the common bean Canario 107, Bayomex (determinate type), Michoacan (indeterminate type), and sunflower cv. Victoria. Sowing took place on May 25, 2002 at a population density of 4.2 (bean) and 8.3 (sunflower) plants m<sup>-2</sup>, respectively, in a clay texture soil, with a pH of 7.8 and was fertilized with 100-100-00 of NPK. The experimental design was randomized blocks with four replications. In neither of the crops the phenology, heat units nor evapotranspiration were affected by the sowing system. The heat units (HU) and evapotranspiration (ETc) of the sown crops at physiological maturity were 1521 HU and 279.6 mm for cv. Victoria, 658 HU and 201.3 mm for Canario 107, 811 HU and 213.7 for Bayomex, and 1041 HU and 241.7 mm for Michoacan. The combined agrosystem of sunflower and bean was more efficient in the use of resources in agricultural production. The combination of the Victoria sunflower and the Michoacan bean showed higher efficiency in the use of water and in the use of radiation and, as a result, greater production of biomass and yield. The land equivalent ratio for seed yield obtained with the combination of Victoria plus Canario 107, Victoria plus Michoacan, and Victoria plus Bayomex was 1.6, 1.9, and 3.0, respectively. This shows an advantage for the yield of combined crops over monocrops by 60, 90, and 200%, respectively.

**Index words:** land equivalent ratio, heat units, evapotranspiration, *Helianthus annuus* L., *Phaseolus vulgaris* L.

## INTRODUCCIÓN

Ante la creciente demanda de alimentos y la necesidad actual de practicar una agricultura sostenible, los cultivos múltiples constituyen una alternativa viable por su potencialidad de producción y el uso eficiente de los recursos. La investigación agrícola se ha orientado de manera tradicional hacia el monocultivo y son limitados los trabajos sobre los cultivos como patrones de asociación. La necesidad de evaluar cultivares específicos para estos patrones de cultivo ha sido discutida (Francis, 1986b; Sarandón y Chamorro, 2003) y a partir de las evidencias encontradas se ha establecido la posibilidad de identificar nuevas combinaciones de especies y genotipos para siembras de cultivos asociados (Francis, 1986a). En recientes estudios se ha establecido que muchos de estos sistemas de producción presentan elevados rendimientos con relación a sus monocultivos (Marchiol *et al.*, 1992). Márquez (1977) mencionó que, en ocasiones, la siembra en asociación produce mayor rendimiento que el promedio de los monocultivos respectivos. Esto se debe al sinergismo y las razones de su ocurrencia no se conocen siempre bien. Comprender cómo los cultivos múltiples utilizan los recursos y el grado en que el microambiente de este sistema difiere en relación con el monocultivo, es una base científica para elegir cultivares que se adapten al sistema en las diferentes áreas agroecológicas (Francis *et al.*, 1977). Willey y Osiru (1972) han propuesto el concepto de uso equivalente de la tierra (UET), como un indicador de la eficiencia de los cultivos múltiples. Cuando el UET es menor que o igual a 1, no existen ventajas en la asociación sobre la siembra de los monocultivos. Sin embargo, cuando el UET es superior a 1, entonces se requerirá una mayor área de terreno por parte de los monocultivos para lograr el mismo rendimiento que cuando se realiza la siembra combinada. Por ejemplo, cuando el UET es igual a 1.25, esto indica que se necesita 25% más de superficie, para alcanzar, en condiciones de monocultivo, un rendimiento similar al de los cultivos asociados. Por otra parte, la contribución de los cultivos múltiples a la producción mundial de alimentos es del orden de 15 a 20% y para algunos países constituye la principal forma de producción agrícola, como en Colombia, donde 90% del frijol se obtiene en condiciones de asociación, en Brasil, 80% y, en Guatemala, 73% (Francis, 1986b). En México, se considera que la práctica de sembrar diferentes especies compartiendo el mismo espacio y

tiempo se ha realizado desde tiempos prehispánicos. La diversidad de factores ecológicos que prevalecen en las distintas áreas agrícolas del territorio nacional hace posible la asociación de cultivos de ciclo corto, entre las que destacan maíz-frijol, maíz-calabaza y maíz-haba (Ortiz, 1979). Sin embargo, no existe evidencia de siembra simultánea de girasol y frijol, pero por las características individuales de cada componente de la combinación, ésta podría ser factible para incrementar la eficiencia en el uso de los insumos agrícolas. El girasol (*Helianthus annuus* L.) es un cultivo que produce semillas ricas en aceite y proteína; el aceite obtenido se utiliza en la cocina, en la producción de margarina y en otros usos industriales. Después de la extracción del aceite, se produce una pasta rica en grasas y proteínas útil para la alimentación animal (Alba y Llanos, 1990; Escalante-Estrada, 1999). El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo básico en la dieta del pueblo mexicano. En el ciclo agrícola de 2002 la superficie cosechada de frijol en el estado de México fue de 21 273 ha, con un rendimiento medio de 809 kg ha<sup>-1</sup>, siendo Texcoco y Zumpango los distritos agropecuarios donde se cosecharon casi las dos terceras partes del total, el tercio restante se produce asociado con maíz (SAGARPA, 2002). La asociación girasol-frijol podría constituir un agrosistema de producción más eficiente para aprovechar los recursos del agricultor y "amortiguar" las variaciones del ambiente que las siembras solas de una u otra especie. La competencia por energía solar es de vital importancia en los cultivos múltiples y en el sistema propuesto parece no constituir problema alguno, ya que el frijol alcanza su punto de fotosaturación a 743  $\mu\text{mol}$  fotones m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> y el girasol se fotosatura a 1200  $\mu\text{mol}$  fotones m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Azcón *et al.*, 2004). Otras ventajas que presenta este agrosistema son la capacidad que tiene la raíz del girasol para profundizar en el suelo, lo cual facilita una mejor penetración y arraigo del sistema radical del frijol. Además, en suelos alcalinos, el frijol sufre severos daños debido a la baja disponibilidad de nutrientes por el pH elevado; al sembrarlo junto al girasol la raíz de esta especie excreta iones H<sup>+</sup> que bajan el pH y favorecen el aprovechamiento de los micronutrientes por parte del frijol (Escalante, 1992). También esta combinación podría producir mayores ganancias económicas para el productor, por la cotización que tienen las semillas de girasol en el mercado, además de que le garantizaría el abasto de frijol para el autoconsumo. El objetivo del presente

estudio fue determinar si con la siembra combinada de girasol y frijol se hace un uso más eficiente de los insumos para la producción agrícola y, en consecuencia, se logra un rendimiento más alto, con relación a la siembra en unicultivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante el ciclo primavera-otoño de 2002 en condiciones de temporal en un lote experimental en Montecillo, Estado de México (19° 29'N; 98° 54' O y 2250 msnm). El clima es de tipo BS1, que corresponde al menos seco de los áridos, con lluvias en verano, una temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 558.5 mm (García, 1988). Los tratamientos fueron siete y consistieron en la siembra en unicultivo de girasol y frijol, y la siembra combinada de los cultivares de frijol Canario 107 (C), Bayomex (B) (hábito de crecimiento determinado) y Michoacán (M) (hábito de crecimiento indeterminado) y el cultivar de girasol Victoria. La siembra se realizó el 25 de mayo de 2002 con una densidad de población de 4.2 (30 x 80 cm) y 8.3 (15 x 80 cm) plantas m<sup>-2</sup> de girasol y frijol, respectivamente. El suelo según la clasificación FAO (FAO-UNESCO, 1988) es de textura arcillosa, con un pH de 7.8 y un contenido de materia orgánica y N total de 3.87% y 0.20%, respectivamente. Se fertilizó con 100 kg ha<sup>-1</sup> de N (sulfato de amonio) y 100 kg ha<sup>-1</sup> de P (superfosfato de calcio simple), aplicando todo el fósforo y la mitad del nitrógeno en el momento de la siembra, y el resto al realizar la escarda. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de 5.0 x 3.2 m. Durante el desarrollo del experimento se registraron la temperatura máxima y mínima, la evaporación y la precipitación diaria. Las etapas fenológicas registradas para girasol fueron: días a emergencia (E), a inicio de anthesis (R5) y a madurez fisiológica (MF) (Schneiter y Miller, 1981); para frijol, días a emergencia (E), floración (R6) y madurez fisiológica (R9) (Escalante-Estrada y Kohashi-Shibata, 1993). Además, se determinó la acumulación de unidades calor por los cultivos mediante el método residual utilizando la ecuación (Snyder, 1985):

$$UC = (T_{max} + T_{min}) / 2 - TB$$

donde: T<sub>max</sub> = temperatura máxima diaria (°C), T<sub>min</sub> = temperatura mínima diaria (°C), TB = temperatura base o umbral (6 °C para girasol y 10 °C

para frijol); y la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) (mm d<sup>-1</sup>), la cual se calculó a partir de la evaporación de la cubeta clase A, utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro, y 0.6 y 0.65 como coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) para girasol y frijol, respectivamente (Doorenbos y Pruitt, 1986). De la estación meteorológica en Montecillo se recopilaron datos sobre la radiación global diaria (R<sub>g</sub>) y se presentaron en MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (MJ m<sup>-2</sup> ≈ 0.0419 cal cm<sup>-2</sup>) (Thimijan y Heins, 1983). La radiación fotosintéticamente activa (RFA) se obtuvo multiplicando el valor de la radiación global por 0.45 (Kohashi-Shibata, 1996). El uso equivalente de la tierra se determinó mediante la ecuación (Francis *et al.*, 1982):

$$UET = RGC/RGU + RFC/RFU$$

donde: UET = uso equivalente de la tierra, RGC = rendimiento de semilla de girasol combinado, RGU = rendimiento de semilla de girasol en unicultivo, RFC = rendimiento de frijol combinado, RFU = rendimiento de frijol en unicultivo. A la cosecha, se evaluaron la biomasa aérea total (BT) (g m<sup>-2</sup>) (sin incluir las hojas caídas del frijol), el rendimiento de semilla (peso de semilla a 10% de humedad) (g m<sup>-2</sup>) y el índice de cosecha (IC = rendimiento agronómico/rendimiento biológico). Se calculó la eficiencia en el uso del agua (EUA), EUA = biomasa total o rendimiento/evapotranspiración estacional (ET<sub>c</sub>) y la eficiencia en el uso de la radiación (EUR), EUR = biomasa total o rendimiento/RFA (radiación fotosintéticamente activa) acumulada durante el ciclo de cultivo. A las variables respuesta se les aplicó un análisis de varianza y, a aquellas con significancia estadística, la prueba de comparación de medias de Tukey, 0.05.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Elementos del Clima

En la Figura 1, que presenta los datos de temperatura máxima (T<sub>max</sub>), mínima (T<sub>min</sub>) promedio decenal y la precipitación suma decenal, durante el ciclo del cultivo, se observa que el promedio decenal durante la estación de crecimiento de T<sub>max</sub> fue entre 25 y 32 °C y la T<sub>min</sub> entre 5 y 2 °C. La temperatura más alta ocurrió en la etapa vegetativa de los cultivos y, posteriormente, disminuyó conforme el ciclo de cultivo avanzó.

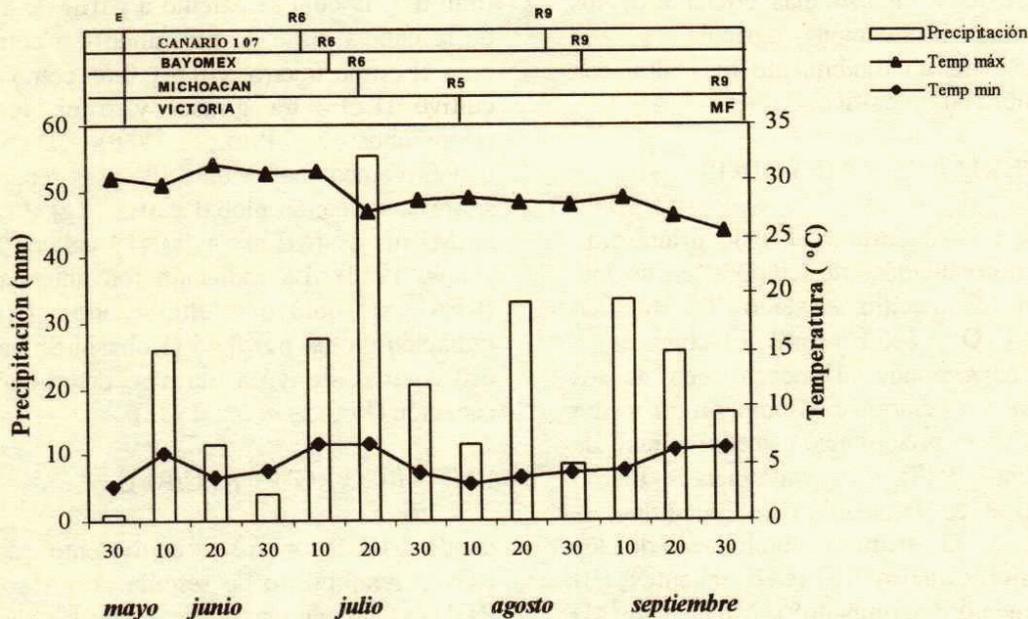


Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol y frijol en unicultivo y combinado. Montecillo, Méx. Verano 2002. E, R5, R6, R9 y MF se definen en Materiales y Métodos.

La precipitación estacional fue de 449.6 mm, de la cual 61.4% (276.1 mm) ocurrió durante el desarrollo del experimento; de ésta, 233.5 mm (84.6%) y 139.1 mm (47.2%) en la época de floración y llenado de grano en frijol y girasol, respectivamente. Como se aprecia en la Figura 1, durante la siembra la precipitación pluvial fue muy escasa por lo que se dio un riego de presiembra.

### Fenología

En ambos cultivos, tanto en la siembra combinada, como en unicultivo las etapas fenológicas ocurrieron en tiempo similar. Así, la emergencia (E) de plántulas de girasol se presentó a nueve días después de la siembra (DDS), el periodo de emergencia a inicio de floración (R5) ocurrió a 68 días después de la emergencia (DDE). La madurez fisiológica se presentó a 111 DDE (120 DDS) (Figura 1). Estos resultados concuerdan parcialmente con lo reportado por Escalante-Estrada (1995), al evaluar la fenología del cv. Victoria en condiciones de secano intraestival encontró que la etapa de floración (R5) ocurrió a 45 DDS y la madurez fisiológica (R9) a 110 DDS. En los tres cultivares de frijol la emergencia (E) se presentó a 9 DDS, el inicio de la floración

(R6) para Canario 107, Bayomex y Michoacán fue de 34, 41 y 55 DDE, respectivamente, la madurez fisiológica (R9) en Canario 107 ocurrió a 83 DDE (93 DDS), en Bayomex a 94 DDE (103 DDS) y en Michoacán a 111 DDE (120 DDS) (Figura 1). La duración de las etapas fenológicas de los cultivares de frijol de crecimiento determinado (Canario 107 y Bayomex) e indeterminado (Michoacán) empleados en este estudio, fueron similares a las reportadas por Escalante-Estrada y Kohashi-Shibata (1993).

### Unidades Calor

En la Figura 2, que presenta la acumulación de unidades calor (UC) con relación a los días después de la siembra y la fenología, puede observarse que se ajusta a una relación lineal. El requerimiento térmico de los cultivos no fue afectado por los sistemas de siembra. Las UC para el girasol cv. Victoria fueron 105 a la emergencia, 840 a inicio de la floración y 1521 a la madurez fisiológica. Olalde-Gutiérrez *et al.* (2000) reportaron valores similares para el cv. Victoria en la misma región del estado de México (Montecillo), donde la acumulación de UC para las etapas fenológicas fue 153, 869 y 1585 para la emergencia, inicio de floración y madurez fisiológica,

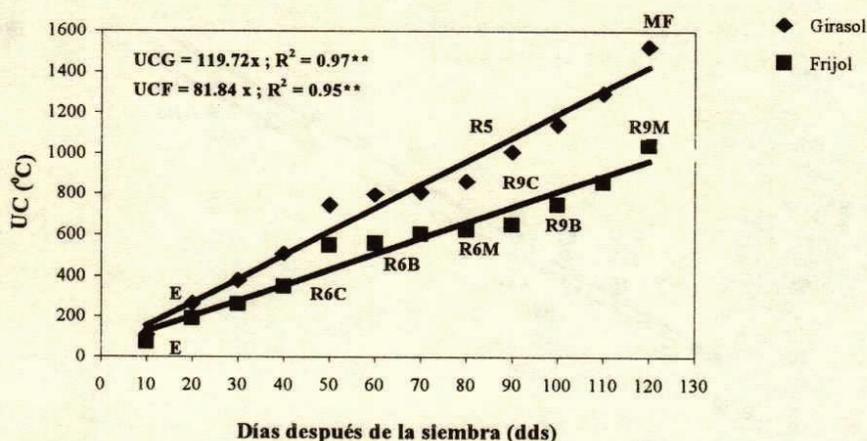


Figura 2. Unidades calor acumuladas en el agrosistema combinado girasol frijol y unicultivo. Montecillo, Méx. Verano 2002. E, R5, R6, R9, MF, C, B y M se definen en Materiales y Métodos.

respectivamente. En frijol, se encontraron diferencias entre cultivares en la acumulación de calor, que estuvieron relacionadas con el ciclo biológico del cultivar. Las UC a la emergencia en los tres cultivares fue de 69, mientras que de la siembra a la floración y madurez fisiológica fue de 504 y 658 UC para Canario 107, 549 y 811 UC para Bayomex y 557 y 1041 UC para Michoacán. Escalante *et al.* (2001) encontraron resultados opuestos cuando evaluaron la producción de frijol cv. Michoacán 12-A-3 en dos épocas de siembra en clima cálido y su relación con las unidades calor. Para siembras invernales, las UC oscilaron entre 1296 y 1679 y, para siembras de verano, entre 1198 y 1763 UC; este incremento en el tiempo térmico se debió probablemente a que la temperatura diaria en Iguala, Guerrero fue más elevada que en Montecillo, estado de México.

### Evapotranspiración

En la Figura 3, que presenta la evapotranspiración (ETc) acumulada de ambos cultivos, en relación con los días después de la siembra y la fenología, puede observarse que se ajusta a una relación lineal. La ETc de ambas especies no fue afectada por el sistema de siembra, pero entre cultivares sí hubo diferencias. Para girasol, la ETc de la siembra a la emergencia fue de 15.1 mm, en el periodo de emergencia a antesis 184.9 mm y de antesis a madurez fisiológica 79.6 mm. La ETc acumulada durante todo el ciclo de cultivo fue de 279.6 mm. Estos resultados difieren de

los reportados por Escalante (1995) quien, al cultivar girasol cv. Victoria en condiciones de secano en clima Cw con una temperatura media de 19 °C (3.5 °C más que la temperatura media en el área de estudio) encontró que la ETc acumulada fue de 371 mm; estos cambios pueden atribuirse a las marcadas diferencias en la temperatura ambiental que existen entre las localidades de Montecillo, México y Córdoba, España, lugares donde se efectuaron las investigaciones. Asimismo, Olalde *et al.* (2001) encontraron una ETc de 341 mm para el cv. Victoria en Montecillo, México, la diferencia entre esa ETc y la reportada en este estudio (279.6 mm), se debe a la mayor precipitación ocurrida durante el ciclo del cultivo en el año 2001 (382 mm), con relación a la ocurrida durante el desarrollo de esta investigación (276.1 mm). En frijol, la ETc de la siembra a la emergencia fue de 13.2 mm en los tres cultivares, siendo la mayor proporción de la ETc evaporación directa del suelo. De emergencia a inicio de floración y de inicio de floración a madurez fisiológica, la ETc fue de 94.6 mm y 95.3 mm para Canario 107, de 117.1 mm y 83.4 mm para Bayomex y de 152.6 mm y 75.8 mm para Michoacán, respectivamente. La ETc estacional para Canario 107 fue de 203.1 mm, para Bayomex de 213.7 mm y para Michoacán de 241.7 mm, dicha variación se debe a la diferencia en los ciclos de cultivo de cada cultivar. Una ETc acumulada similar (214 mm) reportaron Escalante *et al.* (2001) en frijol cv. Michoacán 12-A-3 sembrado en clima cálido en época invernal.

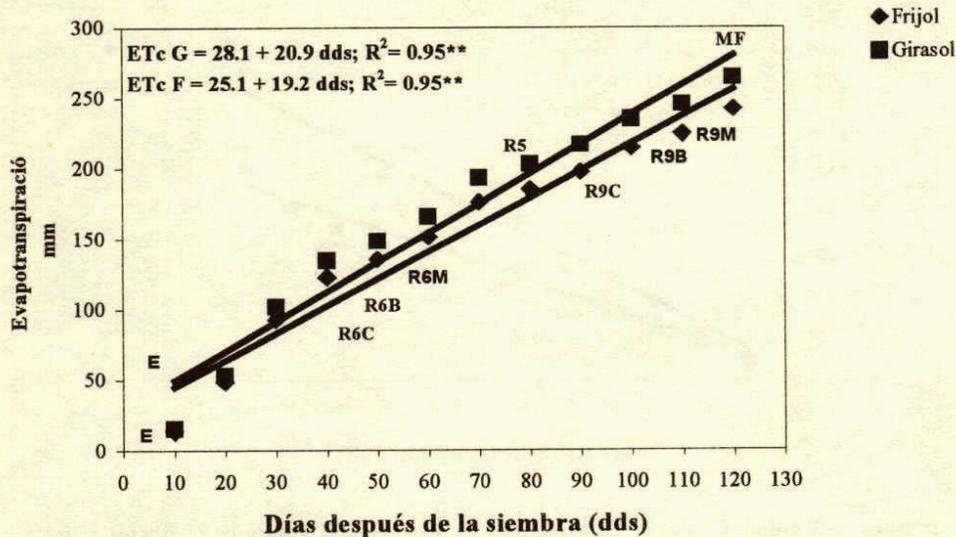


Figura 3. Evapotranspiración acumulada en el agrosistema combinado girasol-frijol y en unicultivo. Montecillo, Méx. Verano 2002. E, R5, R6, R9, MF, C, B y M se definen en Materiales y Métodos.

### Biomasa Total, Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) y Eficiencia en el Uso de la Radiación (EUR)

La biomasa total de los cultivos combinados fue significativamente superior a la de los unicultivos (Cuadro 1). La mayor producción de biomasa  $2926 \text{ g m}^{-2}$  se logró con la combinación del girasol cv. Victoria y frijol Michoacán; seguida de girasol y frijol Bayomex con  $1892 \text{ g m}^{-2}$  y la biomasa más baja correspondió a girasol y frijol Canario 107 con  $1399 \text{ g m}^{-2}$ . Esto concuerda con lo reportado por Kruk

y Satorre (2003), quienes indicaron que con la asociación de especies se logra un incremento en la producción de biomasa con relación a los cultivos puros. En otros estudios se reportan tendencias similares en la producción de biomasa al evaluar maíz y frijol asociados, con relación a sus unicultivos en diferentes ambientes (Rezzende y Ramalho, 1994) y empleando diferentes cultivares de maíz y frijol (Francis *et al.*, 1982; Añez y Tavira 1986; Noguera *et al.*, 1989). Por otro lado, en unicultivo la biomasa más alta correspondió al frijol Michoacán, con  $1336 \text{ g m}^{-2}$  seguido de Bayomex, Canario 107 y girasol

Cuadro 1. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de semilla de girasol y frijol en unicultivo y combinados. Montecillo, México. Verano 2002.

Tratamientos	Biomasa total	Rendimiento	Índice de cosecha
	----- $\text{g m}^{-2}$ -----	-----	%
Victoria	1165 c	381 c	33 a
Michoacán	1336 bc	289 d	22 bc
Bayomex	573 d	60 e	10 d
Canario 107	277 d	42 e	15 cd
Victoria + Michoacán	2926 a	638 a	22 bc
	(54% + 46%)	(55% + 45%)	
Victoria + Bayomex	1892 a	501 b	26 ab
	(69% + 31%)	(76% + 24%)	
Victoria + Canario 107	1399 b	367 c	26 ab
	(80% + 20%)	(92% + 8%)	
Prob F	**	**	**
DSH <sub>0.05</sub>	564	54	9.9

\*\* =  $P \leq 0.01$ . En el paréntesis ( ) la primera cifra se refiere al girasol. 0.05 = 5% de probabilidad.

cv. Victoria con 573, 277 y 1165 g m<sup>-2</sup>, respectivamente. La menor cantidad de biomasa producida por el girasol cv. Victoria, respecto al frijol cv. Michoacán, fue debida a la mayor densidad de población de frijol (8.3 plantas m<sup>-2</sup>) sobre girasol (4.2 plantas m<sup>-2</sup>).

La mayor producción de biomasa en el cultivo combinado es resultado de una mayor eficiencia en el uso de los insumos para la producción. Así, la eficiencia en el uso del agua (EUA) más alta se encontró con la combinación cv. Victoria + Michoacán con 9.7 g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>, seguida de cv. Victoria + Bayomex con 6.9 g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup> y cv. Victoria + Canario 107 con 5.6 g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>. La EUA más baja correspondió al unicultivo de frijol Canario 107 y Bayomex con 1.4 y 2.7 g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 4).

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) acumulada durante el ciclo de cultivo fue de 904 MJ m<sup>-2</sup>. En ese sentido, la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) fue más alta en los cultivos combinados con respecto al unicultivo. En la Figura 5, se observa que la EUR de los agrosistemas combinados de girasol cv. Victoria y frijol Michoacán, cv. Victoria y Bayomex, y cv. Victoria y Canario 107 fueron 3.2, 2.1 y 1.6 g m<sup>-2</sup> MJ<sup>-1</sup>, superior a la obtenida por el unicultivo de cv. Victoria, Michoacán, Bayomex y Canario 107 con valores de 1.2, 1.5, 0.6 y 0.3 g m<sup>-2</sup> MJ<sup>-1</sup>, respectivamente. Se asume que la mayor EUA y la mayor EUR están relacionadas con una temprana cobertura del dosel vegetal generada por el cultivo combinado, como

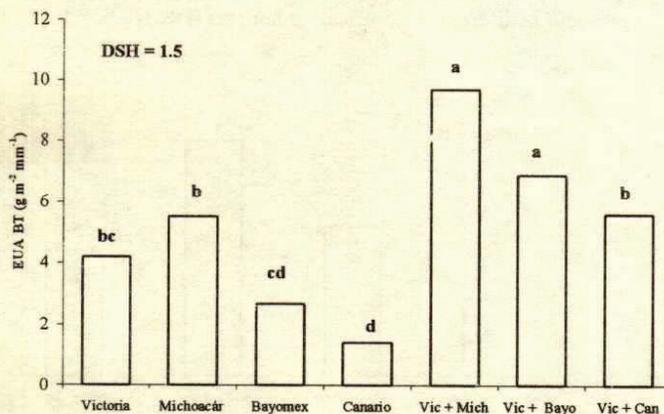


Figura 4. Eficiencia en el uso del agua (EUA) en la producción de biomasa en el agrosistema combinado girasol-frijol y en unicultivo. Montecillo, Méx. Barra con letra distinta representa la diferencia significativa honesta (DSH<sub>0.05</sub>).

reportaron Escalante-Estrada (1995) y Olalde-Gutiérrez *et al.* (2000).

### Índice de Cosecha (IC)

En esta variable se observaron cambios significativos por efecto de tratamientos (Cuadro 1). Con la siembra combinada de girasol y los cvs. Bayomex y Canario 107 se logró un índice de cosecha de 26%, que fue superior al de estos cultivares de frijol en condiciones de unicultivo. El IC de Michoacán fue similar en ambos sistemas de siembra (22%). El girasol en unicultivo mostró el IC más alto (33%) con relación a los tratamientos en estudio (Cuadro 1). Fukai (1993) reportó tendencias similares en siembras de maíz con haba, en el cual el IC del cultivo combinado fue superior al unicultivo de ambas especies. Estos resultados sugieren que, a excepción del unicultivo de girasol, mediante la siembra combinada de girasol y frijol, puede lograrse una mayor asignación de materia seca hacia el grano. En ese sentido, Sarandón y Chamorro (2003) indicaron que el incremento en el índice de cosecha en los cultivos combinados se debe al patrón de siembra y a la mayor densidad de plantas que estos sistemas tienen sobre los unicultivos. Con la mayor densidad de plantas se logran coberturas de terreno más tempranas y un mayor dosel vegetal, lo que representa una mayor captación de la radiación interceptada. Aumentos en la radiación interceptada por el cultivo incrementan la producción de fotoasimilados, los cuales, al ser exportados a los órganos de interés económico, contribuyen a incrementar el índice de cosecha.

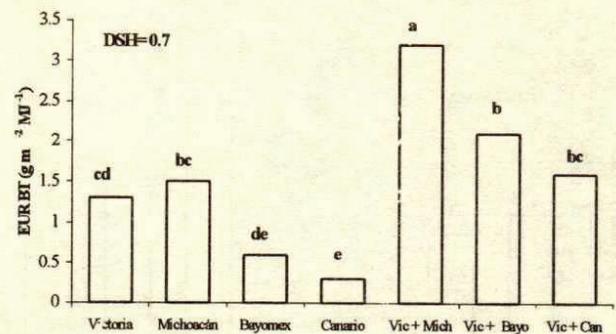


Figura 5. Eficiencia en el uso de la radiación (EUR) en la producción de biomasa en el agrosistema combinado girasol-frijol y unicultivo. Montecillo, Méx. Verano 2002. Barra con letra distinta representa la diferencia significativa honesta (DSH<sub>0.05</sub>).

### Rendimiento de Grano, Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) y Eficiencia en el Uso de la Radiación (EUR)

En el Cuadro 1, se muestra que el sistema del cultivo combinado supera al rendimiento de monocultivos. Las combinaciones de girasol cv. Victoria y frijol Michoacán y cv. Victoria y Bayomex mostraron el rendimiento más alto con 638 y 501 g m<sup>-2</sup>, respectivamente, con relación al resto de los tratamientos. Aunque el rendimiento de girasol cv. Victoria y frijol Canario 107 (367 g m<sup>-2</sup>) superó al del monocultivo de frijol, fue similar al del monocultivo de girasol (381 g m<sup>-2</sup>). El rendimiento de Michoacán, Bayomex y Canario 107 en monocultivo fue de 289, 60 y 42 g m<sup>-2</sup>, respectivamente. En ese sentido, la mayor producción de grano en los cultivos asociados fue debida al mejor aprovechamiento de los recursos (luz y agua) (Kruk y Satorre, 2003). Con la siembra combinada de girasol cv. Victoria y frijol Michoacán se logró una eficiencia en el uso del agua y eficiencia en el uso de la radiación más alta (Figuras 6 y 7).

### Uso Equivalente de la Tierra (UET)

Con relación al monocultivo, con los cultivos combinados de girasol y frijol se logró un mayor uso equivalente de la tierra (UET) (Figura 8). El UET con las combinaciones cv. Victoria y Canario 107; cv. Victoria y Michoacán y cv. Victoria + Bayomex fue superior en 60, 90 y 200%, respectivamente, a cualquier monocultivo. Tendencias similares se han encontrado en otros estudios como los de Kruk y

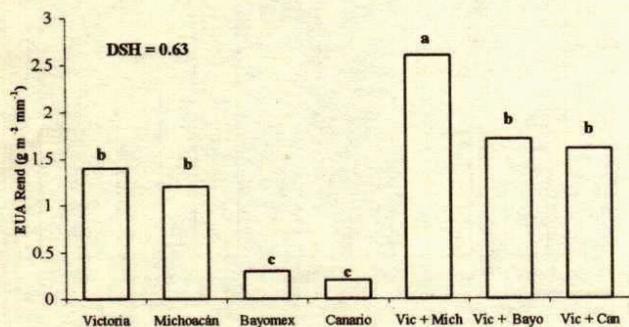


Figura 6. Eficiencia en el uso del agua (EUA) en la producción de semilla en el agrosistema combinado girasol-frijol y monocultivo. Montecillo, Méx. Verano 2002. Barra con letra distinta representa la diferencia significativa honesta (DSH<sub>0.05</sub>).

Satorre (2003) quienes, al combinar girasol y maíz, reportaron un UET de 1.99; y, en Cuba, al intercalar frijol con calabaza, se logró un UET de 1.35 (Hernández *et al.*, 1998). El UET más bajo del agrosistema cv. Victoria y Michoacán con relación a cv. Victoria y Bayomex puede ser explicado por una mayor competencia que ejerció el frijol Michoacán (hábito de crecimiento indeterminado), por su ciclo más largo, sobre el girasol, que se tradujo en un rendimiento más bajo de este último, lo que concuerda con lo reportado por Kandel y Schneiter (2004) en un estudio en el cual intercalaron girasol y frijol de guía. Se señala que con las características del suelo, que no son muy apropiadas para el cultivo del frijol, puede lograrse una mayor producción mediante la combinación de cultivos girasol y frijol y que con una inversión similar de insumos se puede elevar la producción mediante este agrosistema.

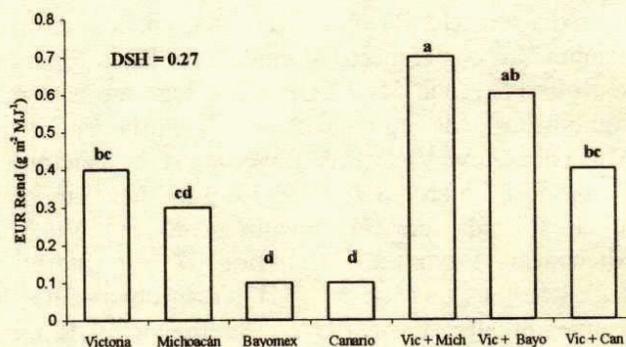


Figura 7. Eficiencia en el uso de la radiación (EUR) en la producción de semilla en el agrosistema combinado girasol-frijol y monocultivo. Montecillo, Méx. Barra con letra distinta representa la diferencia significativa honesta (DSH<sub>0.05</sub>).

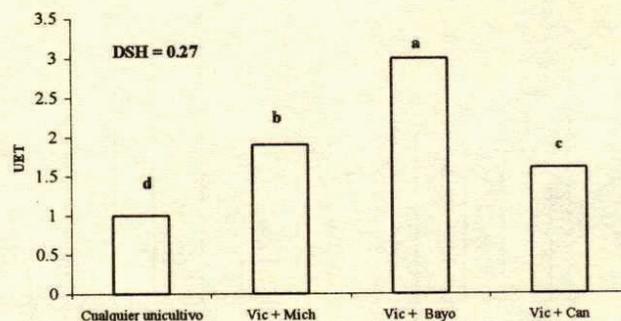


Figura 8. Uso equivalente de la tierra (UET) para el rendimiento de semilla en el agrosistema combinado girasol-frijol y monocultivo. Montecillo, Méx. Verano 2002. Barra con letra distinta representa la diferencia significativa honesta (DSH<sub>0.05</sub>).

## CONCLUSIONES

- Con la siembra combinada de girasol y frijol se hace un uso más eficiente de los insumos para la producción agrícola y, en consecuencia, se logra un rendimiento más alto que la siembra en monocultivo.
- Con la siembra combinada de girasol cv. Victoria y frijol Michoacán se logran una eficiencia en el uso del agua y eficiencia en el uso de la radiación más alta y, en consecuencia, una mayor producción de biomasa y rendimiento.
- Con la siembra de cultivos combinados se logra una mayor eficiencia en el uso del suelo para la producción agrícola.

## LITERATURA CITADA

- Alba-Ordoñez, A. y M. Llanos-Company. 1990. El cultivo del girasol. Agroguías Mundiprensa. Madrid, España.
- Añez, B. y E. Tavira. 1986. Producción de la asociación maíz - frijol, según población, fertilización nitrogenada y momento de siembra. Turrialba 36: 499-507.
- Azcón-Bieto, J., A. Pardo, N. Gómez-Casanovas, J.J. Irigoyen y M. Sánchez-Díaz. 2004. Respuestas de la fotosíntesis y la respiración en un medio ambiente variable. pp. 873-899. In: Reigosa, M., N. Pedrol y A. Sánchez (eds.). La ecofisiología vegetal: una ciencia de síntesis. Paraninfo. Madrid, España.
- Doorenbos, J. y W.O. Pruitt. 1986. Las necesidades de agua por los cultivos. Manual 24. Riego y Drenaje. Food and Agriculture Organization. Roma, Italia.
- Escalante E., J.A. 1992. Interacción entre el nitrógeno y la densidad de población en el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) bajo suministro limitado de agua. Tesis doctoral. Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.
- Escalante-Estrada, J.A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. Agroproductividad 3: 28-32.
- Escalante-Estrada, J.A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. Terra 17: 149-157.
- Escalante-Estrada, J.A. y J. Kohashi-Shibata. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Escalante-Estrada, J.A., L.E. Escalante-Estrada y M.T. Rodríguez-González. 2001. Producción de frijol, en dos épocas de siembra: su relación con la evapotranspiración, unidades calor y radiación solar en clima cálido. Terra 19: 309-315.
- FAO-UNESCO. 1988. Mapa mundial de suelos. Organización de las Naciones Unidas. Roma, Italia.
- Francis, C.A. 1986a. Distribution and importance of multiple cropping. pp. 1-19. In: Francis, C.A. (ed.). Multiple cropping systems. MacMillan. New York.
- Francis, C.A. 1986b. Variety development for multiple cropping systems. Critical reviews in plant sciences. Crit. Rev. Plant Sci. 3: 133-168.
- Francis, C.A., C.A. Flor y M. Prager. 1977. Effects of bean association on yield and yield components of maize. Crop Sci. 18: 245-247.
- Francis, C.A., M. Prager y G. Tejada. 1982. Density interactions in tropical intercropping. I. Maize and climbing bean. Field Crop Res. 5: 163-176.
- Fukai, S. 1993. Intercropping: bases of productivity. Field Crop Res. 34: 239-245.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema climático de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. Talleres Offset Larios. México, D.F.
- Hernández, A., R. Santos y A. Casanova. 1998. Clasificación y principios básicos de los sistemas de cultivos múltiples o policultivo. Agric. Org. (La Habana) 4(2): 6-11.
- Kandel, H.J. y A.A. Schneider. 2004. Intercropping legumes in sunflower to increase surface residue. Crop and Weed Sciences Department, North Dakota State University. Fargo, ND.
- Kohashi-Shibata, J. 1996. Aspectos de la morfología y fisiología del frijol *Phaseolus vulgaris* L. y su relación con el rendimiento. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Kruk, B. y E.H. Satorre. 2003. Densidad y arreglo espacial del cultivo. pp. 279-318. In: Satorre, E.H., R.L. Benech-Arnold, G.A. Slafer, E.B. de la Fuente, D.J. Miralles, M.E. Otegui y R. Savin (eds.). Producción de cultivos de granos. Bases funcionales para su manejo. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Marchiol, L., F. Miceli, M. Pinosa y G. Zerbi. 1992. Intercropping of soybean and maize for silage in Northern Italy: effects of nitrogen levels and plant density on growth, yield and protein content. Eur. J. Agron. 3: 207-211.
- Márquez-Sánchez, F. 1977. Clasificación tecnológica de los sistemas de producción agrícola (Agrosistemas) según los ejes espacio y tiempo. pp. 255-273. In: Hernández-Xolocotzi, E. (ed.). Agroecosistemas de México: contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Noguera, N., D. Marín y J. Vera. 1989. Evaluación ecofisiológica de cultivos asociados Canavalia - Sorgo. Agron. Trop. 39: 45-61.
- Olalde-Gutiérrez, V.M., J.A. Escalante-Estrada, P. Sánchez-García, L. Tijerina-Chávez, E.M. Engleman-Clark y A.A. Mastache-Lagunas. 2000. Eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno y rendimiento del girasol, en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. Terra 18: 51-59.
- Olalde-Gutiérrez, V.M., J.A. Escalante-Estrada y A.A. Mastache-Lagunas. 2001. Phenology, yield and water use efficiency of sunflower in function of environment and nitrogen. Helia 24(35): 111-128.
- Ortiz-Cereceres, J. 1979. Cultivos asociados o intercalados en México: evaluación. Econotecnia Agrícola 3(7): 1-40.
- Rezzende, G.D. y M.A. Ramalho. 1994. Competitive ability of maize and common bean cultivars intercropped in different environments. J. Agric. Sci. 123: 185-190.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2002. Servicio de información estadística, agroalimentaria y pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola por distrito de desarrollo. Toluca, estado de México.
- Sarandón, S.J. y A.M. Chamorro. 2003. Policultivos en los sistemas de producción de granos. pp. 353-372. In: Satorre, E.H., R.L. Benech-Arnold, G.A. Slafer, E.B. de la Fuente, D.J. Miralles, M.E. Otegui y R. Savin (eds.). Producción de cultivos de granos. Bases funcionales para su manejo.

- Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.  
Buenos Aires, Argentina.
- Schneiter, A.A. y J.E. Miller. 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Sci.* 21: 901-903.
- Snyder, R.L. 1985. Hand calculating degree days. *Agric. For. Meteorol.* 35: 353-358.
- Thimijan, W.R. y R.D. Heins. 1983. Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. *Hort. Sci.* 18: 818-822.
- Willey, R.W. y D.S. Osiru. 1972. Studies on mixture of maize and beans with particular reference to plant populations. *J. Agric. Sci.* 79: 519-529.