

EFICIENCIA EN EL USO DE LOS INSUMOS AGRÍCOLAS EN LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y EL RENDIMIENTO DEL SISTEMA COMBINADO GIRASOL – FRIJOL EN FUNCIÓN DEL NITRÓGENO

Resource Use Efficiency in the Biomass Production and Seed Yield of the Combined System Sunflower – Common Bean as Affected by Nitrogen

Edgar J. Morales Rosales^{1‡} y J. Alberto Escalante Estrada²

RESUMEN

La eficiencia en el uso de los insumos ha sido la principal razón por la cual los cultivos asociados se siguen utilizando en la actualidad. El suministro de nitrógeno (N) en los cultivos combinados, donde se incluye una leguminosa, debe considerarse, ya que existe evidencia de que una aplicación mínima o excesiva de N podría modificar, de manera significativa, la respuesta de dichos agrosistemas a la adición de este elemento. Por tal motivo, se realizó un estudio cuyo objetivo fue determinar el efecto de distintos niveles de N sobre la eficiencia en el uso de agua y radiación, la producción de biomasa y el rendimiento de semilla en la siembra combinada de girasol y frijol. La investigación se realizó durante el verano de 2003, en Montecillo, Estado de México. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 40, 80, 120 y 160 kg ha⁻¹ de N y un testigo, sin fertilizante. Como fuente de N se utilizó urea (46% de N): la mitad se aplicó en el momento de la siembra y el resto en la primera escarda. La siembra se realizó el 22 de mayo de 2003, con la densidad de población de 8.3 plantas m⁻² (15 x 80 cm), alternando una planta de frijol y una de girasol. El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro repeticiones. En la asociación, se determinó la fenología, la evapotranspiración y las unidades calor; a la madurez fisiológica, se estimó la producción de biomasa, el rendimiento de semilla, el índice de cosecha, la eficiencia en el uso del agua y la radiación. Con excepción de 160 kg ha⁻¹ de N, la aplicación de N incrementó el índice de área foliar y la radiación interceptada, así como la eficiencia en el uso del agua y radiación y, en consecuencia,

la producción de biomasa y rendimiento de semilla. En ese sentido, a medida que se incrementa la cantidad de N por hectárea, los demás nutrientes deben estar en cantidades adecuadas, ya que si esto no ocurre, el efecto de la aplicación de N se reduce.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris L.*, *Helianthus annuus L.*, *índice de área foliar*, *duración de área foliar*, *cultivos combinados*.

SUMMARY

The efficient use of resources has been the main reason for which multiple cropping continues to be used today. The supply of nitrogen (N) in the combined crops, where a legume is included, must be considered since existing evidence proves that a minimal or excessive N application could significantly modify these agrosystems' response to the addition of this element. For this reason, a study was conducted to determine the effect of different N levels on water use efficiency, radiation use efficiency, biomass production, and seed yield in combined cropping of sunflower and common bean. The study was done during the summer of 2003 in Montecillo, Mexico. The treatments consisted in the application of four N levels (40, 80, 120, and 160 kg ha⁻¹) and a control treatment without fertilizer. The N source used was urea (46% of N) applying half of N amount at sowing and the remainder at the first hoeing. The sowing was done on May 22, 2003 with a density of 8.3 plants m⁻² (15 x 80 cm) alternating one common bean plant with one sunflower plant. The experimental design was complete randomized blocks with four replications. In the combined system, phenology, evapotranspiration and the accumulated heat units were determined and at physiological maturity, biomass production, seed yield, harvest index, water use efficiency, and radiation use efficiency were assessed. With exception of the treatment of 160 kg N ha⁻¹, N application increased

¹ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México.

[‡] Autor responsable (ejmoraes@colpos.mx)

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México, México.

the leaf area index and intercepted radiation, as well as water use efficiency and radiation use efficiency, and consequently, biomass and seed yield increased. In the measure that N ha⁻¹ increases, sufficient quantities of other nutrients must be available. If not, the effect of N application effect will decrease.

Index words: *Phaseolus vulgaris L.*, *Helianthus annuus L.*, leaf area index, leaf area duration, combined crops.

INTRODUCCIÓN

La mayor productividad del agrosistema combinado sobre el monocultivo se ha atribuido a un mejor uso de los insumos agrícolas (Willey, 1990; Loomis y Connor, 2002; Morales *et al.*, 2006). El mejor arreglo espacial que se logra en la siembra combinada y la aplicación adecuada de nitrógeno (N) son prácticas importantes de manejo que incrementan el porcentaje de radiación interceptada (RI, %), al lograrse un buen dosel y una mayor cobertura de terreno (Keating y Carberry, 1993). En ese sentido, Ennin *et al.* (2002), al evaluar la siembra combinada de maíz y soya con 0 y 160 kg ha⁻¹ de N, encontraron que con la aplicación de N se incrementó el porcentaje de la radiación fotosintéticamente activa interceptada, la cual superó a los monocultivos de maíz y soya en 4 y 5%, respectivamente; esto se tradujo en un incremento de materia seca de 38% del sistema combinado sobre los cultivos solos. Reddy *et al.* (1989) y Sarandón y Chamorro (2003) reportan una mayor RI de los cultivos combinados sobre los monocultivos, por lograr una mayor cobertura de terreno. Sin embargo, en algunas ocasiones, la adición de N en las siembras asociadas donde se incluye a una especie leguminosa puede favorecer el crecimiento excesivo de la otra especie componente de la asociación, lo que genera una fuerte competencia sobre la leguminosa, causando un detrimento en el comportamiento del sistema combinado (Fukai y Trenbath, 1993). En ese sentido, el balance nutricional es un concepto vital en la fertilización del suelo y la producción de cultivos (Parker, 2000). El N puede ser el primer nutriente limitante en plantas no leguminosas, pero en ausencia de cantidades adecuadas de otros nutrientes el N no puede cumplir con su función. A medida que la fertilización con N incrementa el rendimiento, el cultivo demanda cantidades mayores de otros nutrientes (PPI, 1997). Por otra parte, la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) es relativamente estable

en cultivos donde la disponibilidad hídrica y de N no son limitantes. Sin embargo, se ha observado que variaciones en el suministro de N generan diferencias en la EUR en los cultivos (Dreccer *et al.*, 2003). Así, Manu (1994), cuando adicionó 100 kg ha⁻¹ de N, reportó mayor eficiencia en el uso de la radiación en el sistema combinado maíz-haba (1.92 g MJ⁻¹), con respecto al maíz (1.71 g MJ⁻¹) y haba (1.32 g MJ⁻¹) solos. La eficiencia en el uso del agua (EUA) se incrementa con la aplicación de fertilizante nitrogenado, ya que el aumento de la concentración de N en las plantas promueve un mayor crecimiento de las raíces que le permite al cultivo aprovechar la humedad del subsuelo y desarrollar un abundante crecimiento vegetativo que cubre el suelo y evita la evaporación del agua (Parker, 2000). El N incrementa el rendimiento de los cultivos por cada unidad de agua disponible, en condiciones de baja o alta disponibilidad de agua (Muchow, 1998). Manu (1994) reporta, en la asociación maíz-haba, una EUA de 2.1 g m⁻² mm⁻¹, valor superior al de sus respectivos monocultivos (maíz 1.8 g m⁻² mm⁻¹ y haba 1.96 g m⁻² mm⁻¹), cuando aplicó 100 kg ha⁻¹ de N.

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la eficiencia en el uso de la radiación y el agua en la producción de biomasa y rendimiento de semilla en el sistema combinado girasol-frijol.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó durante el verano de 2003, en condiciones de temporal, en Montecillo, Estado de México (19° 29' N; 98° 54' O y 2250 m de altitud). El clima es de tipo BS1, que corresponde al menos seco de los áridos, con lluvias en verano (558.5 mm anuales) (García, 1988). El suelo es de textura arcillosa, con pH de 7.8 y concentración de materia orgánica de 3.8% y 47 kg ha⁻¹ de N inicial en forma inorgánica. El sistema combinado girasol-frijol se sembró el 22 de mayo de 2003, con una densidad de población de 8.3 plantas m⁻² (15 x 80 cm), alternando una planta de frijol y una de girasol. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 0, 40, 80, 120 y 160 kg ha⁻¹ de N, utilizando como fuente urea (46% N); no se suministraron ni fósforo ni potasio. La mitad de N se aplicó en el momento de la siembra y el resto en la primera escarda. El diseño experimental fue de bloques al azar, con cuatro repeticiones. Durante el desarrollo del cultivo, de la estación meteorológica del Colegio de Postgraduados

se registraron diariamente las temperaturas máxima y mínima diarias, la evaporación y la precipitación. Las etapas fenológicas registradas para girasol fueron: días a emergencia (E), inicio de floración (R5) y madurez fisiológica (MF) (Trápani *et al.*, 2003); para frijol, éstas fueron días a emergencia (E), floración (R6) y madurez fisiológica (MF) (Escalante y Kohashi, 1993). Para evaluar el crecimiento en cada tratamiento, se realizaron muestreos destructivos de tres plantas de cada especie por parcela, a 28, 55, 79, 102 y 144 días después de la siembra (DDS), y se midió el área foliar (sin incluir pecíolo) con un integrador de área foliar (Li-Cor 3100). El índice de área foliar (IAF) y la duración de la misma (DAFT) se estimaron según Escalante y Kohashi (1993), mediante las relaciones:

$$\text{IAF} = (\text{AF}) \times \text{DP} / 10\,000 \text{ cm}^2$$

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

$$\text{DAFT} = \Sigma (\text{IAF}_1 + \text{IAF}_2) (t_2 - t_1) / 2$$

donde: DAFT = duración de área foliar total, Σ = suma de la duración de área foliar de cada uno de los muestreos realizados, IAF₁ = índice de área foliar en un tiempo inicial (t₁, en días), IAF₂ = índice de área foliar en un tiempo final (t₂, en días). La RI por el dosel vegetal se determinó a través del método de Adams y Arkin (1977), mediante el planteamiento siguiente:

$$\text{RI} (\%) = (\text{SS}/\text{DHS}) \times 100$$

donde: RI (%) = porcentaje de radiación interceptada, SS = suelo sombreado (cm) y DHS = distancia entre surcos (cm). La acumulación de unidades calor (UC) se calculó por el método residual, utilizando la ecuación (Snyder, 1985):

$$\text{UC} = (\text{Tmáx} + \text{Tmín}) / 2 - \text{TB}$$

donde: Tmáx = temperatura máxima diaria (°C), Tmín = temperatura mínima diaria (°C), TB = temperatura base o umbral (8 °C para la combinación girasol – frijol). La evapotranspiración en el sistema combinado se estimó a partir de los datos de la evaporación (Ev) del tanque tipo "A", utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro y 0.65 como coeficiente de cultivo (Kc) (se tomó el Kc para frijol, ya que fue el cultivo que permaneció más

tiempo en el terreno) (Doorenbos y Pruitt, 1986). De la estación meteorológica del Colegio de Postgraduados, se recopilaron datos del año 2003 sobre la radiación global diaria (Rg) y se presentaron en MJ m⁻² d⁻¹ (MJ m⁻² ≈ 0.0419 cal m⁻²). A la cosecha, se evaluó la biomasa aérea total (BT) (sin incluir las hojas caídas de frijol), rendimiento de semilla (10% de humedad) e índice de cosecha (IC). Se estimó la eficiencia en el uso del agua (EUA) y la eficiencia en el uso de la radiación (EUR), mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{EUA} = \text{biomasa o rendimiento} / \text{evapotranspiración estacional (ETc) y}$$

$$\text{EUR} = \text{biomasa o rendimiento} / \text{radiación fotosintéticamente activa (RFA) acumulada durante todo el ciclo de cultivo.}$$

A las variables respuesta se les practicó un análisis de varianza y a aquéllas con significancia estadística, una prueba de comparación de medias (Tukey, 5% de probabilidad).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elementos del Clima

En la Figura 1 se presentan los datos de temperatura máxima (Tmáx) y mínima (Tmín); en ésta se observa que el promedio decenal durante el desarrollo del agrosistema combinado girasol – frijol fluctuó entre 29 y 35 °C, para Tmáx, y entre 5 y 13 °C, para Tmín. Cabe señalar que la Tmáx se mantuvo constante durante todo el desarrollo del cultivo. La precipitación estacional fue de 618 mm, 84% (520 mm) de ésta ocurrió durante el desarrollo del agrosistema. De los 520 mm, 44% (229 mm) ocurrieron durante la etapa vegetativa y 56% (291 mm) durante la etapa reproductiva del agrosistema combinado.

Fenología

Las etapas fenológicas en el sistema combinado bajo los tratamientos aplicados fueron similares. En girasol Victoria, la emergencia (E) se presentó a 9 DDS, el inicio de floración (R5) a 80 DDS y la madurez fisiológica (MF) a 130 DDS. Para frijol Michoacán, la E ocurrió a 9 DDS, el inicio de floración (R6) a 70 DDS y la MF a 144 DDS (Figura 1).

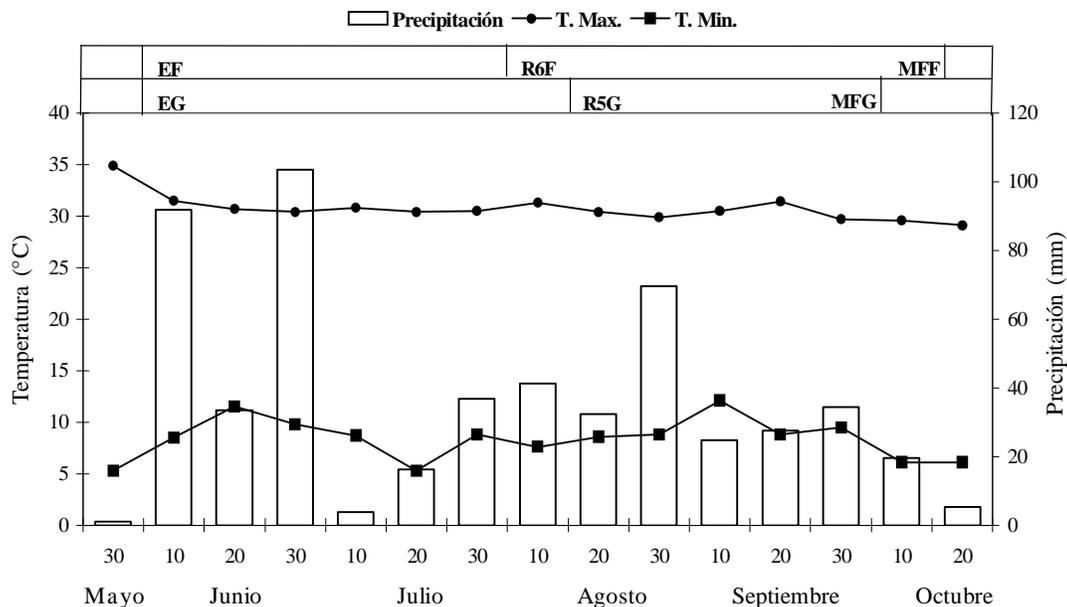


Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo del sistema combinado girasol – frijol. Montecillo, Méx. Verano de 2003. E, R5, R6 y MF, emergencia, inicio de floración, floración y madurez fisiológica, respectivamente.

Unidades Calor

La acumulación de UC, con relación a la fenología del agrosistema combinado, se presenta en la Figura 2. El requerimiento térmico de girasol fue de 107 UC en emergencia, 948 UC en la etapa R5 y 1557 UC en la MF. Para frijol, en la emergencia, inicio de floración y

madurez fisiológica, las UC fueron de 107, 833 y 1689, respectivamente.

Evapotranspiración

En la Figura 2 se presenta la relación que existió entre la evapotranspiración acumulada (ETc) del sistema

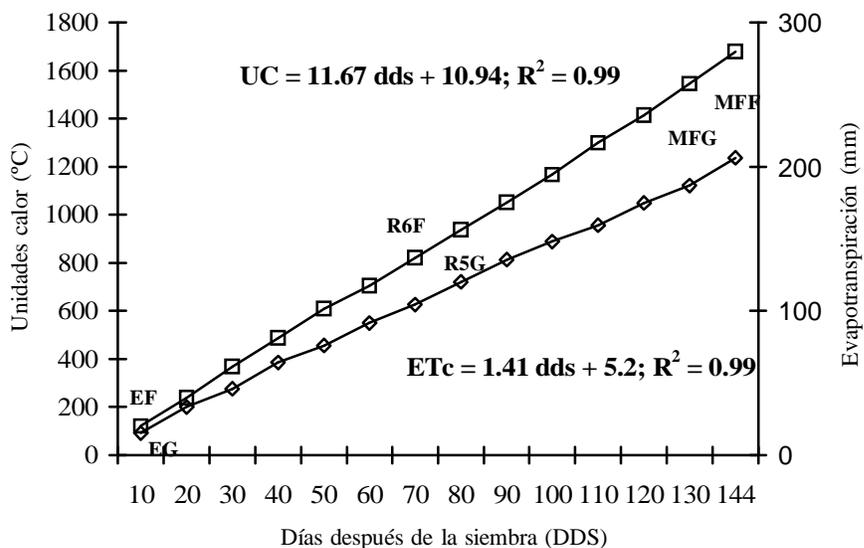


Figura 2. Unidades calor y evapotranspiración acumulada en el agrosistema combinado girasol – frijol. Montecillo, Méx. Verano de 2003. E, R5, R6 y MF, emergencia, inicio de floración, floración y madurez fisiológica, respectivamente.

combinado y su fenología. De la siembra a la emergencia se observa que la ETc fue de 13.9 mm para ambos cultivos. Debido a que en esta etapa el desarrollo del dosel vegetal es muy limitado, se supone que la mayor parte de la ETc es evaporación directa del suelo. Para el periodo de emergencia-floración, la ETc fue de 114.5 mm y 127.1 mm para frijol y girasol, respectivamente, y de floración a madurez fisiológica los valores fueron de 96 mm para frijol y 73.5 mm para girasol. La ETc acumulada por el agrosistema combinado durante todo el ciclo de cultivo fue de 224.2 mm.

Índice de Área Foliar, Duración de Área Foliar y Radiación Interceptada

La aplicación de los distintos tratamientos de N en el sistema combinado girasol – frijol incrementó el IAF, la DAF y la RI (Cuadro 1, Figuras 3 y 4). El IAF, a 55 DDS, en todos los tratamientos donde se suministró N fue mayor que el testigo; posteriormente, la respuesta del IAF a la aplicación de 80 kg ha⁻¹ de N fue mayor que todos los demás tratamientos, alcanzando su valor máximo a 102 DDS (Figura 3). El IAF con 80 kg ha⁻¹ de N superó, en 40%, al IAF del testigo. La DAF siguió una tendencia similar en la etapa vegetativa, reproductiva y total (Cuadro 1). En ese sentido, con 80 kg ha⁻¹ de N, la DAFT alcanzó su máximo valor (417.9), cantidad superior al testigo en 47%. Estos resultados coinciden parcialmente con lo reportado por Muchow (1998) y Uhart y Andrade (1995), quienes, a nivel de unicultivo,

Cuadro 1. Análisis de varianza y comparación de medias para la duración de área foliar en la etapa vegetativa (DAFV), reproductiva (DAFR) y total (DAFT), en función del nitrógeno durante el desarrollo del agrosistema combinado girasol – frijol. Montecillo, Méx. Verano de 2003.

Nitrógeno	DAFV	DAFR	DAFT
kg ha ⁻¹			
0	122.6 c	101.5 b	224.1 c
40	137.3 c	108.5 b	245.8 c
80	218.8 a	199.0 a	417.9 a
120	187.5 b	128.6 b	316.1 b
160	147.9 c	130.0 b	277.8 b
Probabilidad F	**	**	**
DSH _{0.05}	33.4	30	62.6

Los tratamientos con letra similar en la misma columna son estadísticamente iguales; ** = $P \leq 0.01$; DSH_{0.05} = diferencia significativa honesta ($P = 5\%$).

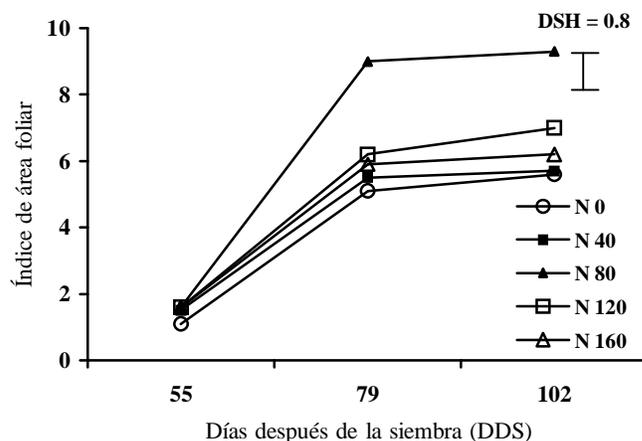


Figura 3. Dinámica del índice de área foliar en función del nitrógeno durante el desarrollo del agrosistema combinado girasol - frijol. Montecillo, Méx. Verano de 2003.

indican que las deficiencias severas de N afectan el desarrollo del IAF y DAF, y estas características disminuyen hasta en 60 y 65%, respectivamente, cuando no se suministra N a las plantas.

La menor respuesta en el IAF y DAFT (Figura 3, Cuadro 1) con 160 kg ha⁻¹ de N, respecto a 80 kg ha⁻¹ de N, probablemente se deba a la falta de fertilización equilibrada, ya que a medida que se aumenta el suministro de N, el cultivo demanda cantidades mayores de P, K y demás nutrientes (PPI, 1997). En todos los tratamientos se encontró que la RI a 102 DDS fue superior a la correspondiente a 79 DDS (Figura 4). El incremento en la RI con 80 kg ha⁻¹ de N (23% mayor que el testigo) fue consecuencia de mayor IAF y DAFT.

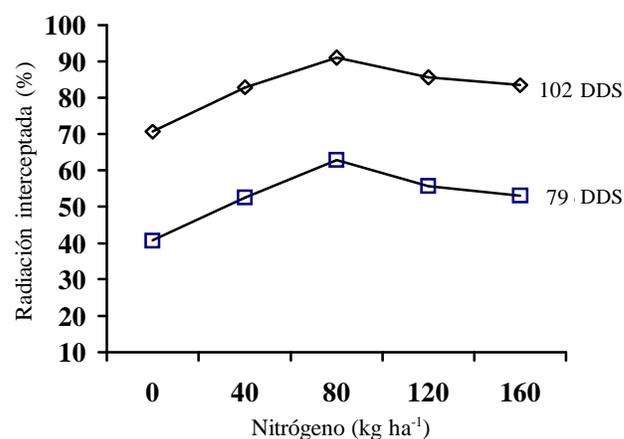


Figura 4. Porcentaje de radiación interceptada en función del nitrógeno y la edad de la planta durante el desarrollo del agrosistema combinado girasol-frijol. Montecillo, Méx. Verano de 2003. DDS = días después de la siembra.

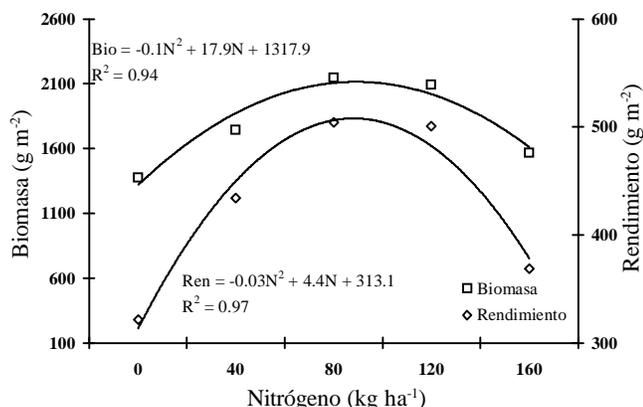


Figura 5. Producción de biomasa y rendimiento de semilla en función del nitrógeno en el agrosistema combinado girasol-frijol. Montecillo, Méx. Verano de 2003.

Eficiencia en el Uso del Agua y la Radiación para la Producción de Biomasa

La producción de biomasa en función del N se ajusta a una relación cuadrática (Figura 5). El testigo, con un nivel inicial de N de 47 kg ha⁻¹, mostró una producción de biomasa de 1375 g m⁻² (728.8 g m⁻² de frijol y 646 g m⁻² de girasol). Al aumentar el nivel de N, el sistema mostró una respuesta positiva hasta lograr su máxima biomasa (2148 g m⁻²) con 80 kg ha⁻¹ de N (1009.6 y 1138.4 g m⁻² para frijol y girasol, respectivamente). Después, la producción de materia seca disminuyó hasta alcanzar el valor más bajo (1567 g m⁻²) con 160 kg ha⁻¹ de N (720.9 g m⁻² correspondieron a frijol y 846.1 g m⁻² a girasol). En ese sentido, el buen crecimiento y desarrollo de los cultivos demanda un apropiado balance nutrimental, al incrementarse el nivel de N, los otros nutrimentos deben estar presentes en cantidades adecuadas; si esto no ocurre, el efecto positivo de la aplicación de N se reducirá significativamente (PPI, 1997; Parker, 2000). En todos los niveles de N, la producción de biomasa en el agrosistema combinado fue mayor con relación al testigo, aunque la diferencia fue estadísticamente significativa sólo con los niveles 80 y 120 kg ha⁻¹ de N. Incrementos en la producción de materia seca reportaron Morales *et al.* (2006), en la asociación girasol Victoria y frijol Michoacán (2926 g m⁻²), cuando fertilizaron el agrosistema con 100 kg ha⁻¹ de N y 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Así, la mayor producción de biomasa fue para el tratamiento 80 kg ha⁻¹ de N, con 2148 g m⁻² (1009.6 y 1138.4 g m⁻² para frijol y girasol, respectivamente), seguida por 120 kg ha⁻¹ de N, con 2092 g m⁻² (1130.1 g m⁻² de girasol y 961.9 g m⁻² de frijol), superando al testigo en 36 y 34%, respectivamente (Cuadro 2). Asimismo, el incremento

Cuadro 2. Análisis de varianza y comparación de medias para biomasa total, rendimiento de semilla (en paréntesis, los % que corresponden a frijol y girasol, respectivamente) e índice de cosecha (%) en el agrosistema combinado girasol - frijol en función del nitrógeno. Montecillo, Méx. Verano de 2003.

Nitrógeno	Biomasa total	Rendimiento	Índice de cosecha
kg ha ⁻¹	----- g m ⁻² -----	----- g m ⁻² -----	%
0	1375 c (53% + 47%)	321.4 c (57% + 43%)	24
40	1745 abc (53% + 47%)	434 b (55% + 45%)	25
80	2148 a (47% + 53%)	504 a (51% + 49%)	24
120	2092 ab (46% + 54%)	501 a (52% + 48%)	24
160	1567 bc (46% + 54%)	369 c (59% + 41%)	24
Probabilidad F	**	**	NS
DSH _{0.05}	584	65	12

Los tratamientos con letra similar en la misma columna son estadísticamente iguales. ** = $P \leq 0.01$; NS = no significativo. DSH_{0.05} = diferencia significativa honesta ($P = 5\%$).

en la materia seca se debió a una mayor cobertura de terreno, resultado de la aplicación de una dosis adecuada de N. Por otra parte, con la adición de N se incrementa la EUA y la EUR. Los valores obtenidos para la EUA, con la adición de 80 y 120 kg ha⁻¹ de N (Figura 6), fueron de 9.6 g m⁻² mm⁻¹ y 9.3 g m⁻² mm⁻¹, respectivamente, superiores al tratamiento sin fertilizante, con 6.1 g m⁻² mm⁻¹, lo que indica una mayor cantidad de materia seca producida por el sistema combinado por unidad de agua consumida. Con relación a la EUR para la producción de biomasa, en la Figura 6 se establece que la EUR más alta se encontró con 80 y 120 kg ha⁻¹ de N, con 1.8 g m⁻² MJ⁻¹ y 1.75 g m⁻² MJ⁻¹, superando de manera amplia a la presentada por el testigo (1.2 g m⁻² MJ⁻¹). Es preciso mencionar que la RFA acumulada durante todo el ciclo fue de 1199 MJ m⁻² y la lluvia acumulada fue de 618 mm.

Rendimiento de Semilla, Índice de Cosecha, Eficiencia en el Uso del Agua y Radiación, y Producción de Semilla

No se observaron cambios significativos en el IC en el sistema combinado por el efecto de N, el IC fluctuó entre 24 y 25% (Cuadro 2). Estos resultados se asemejan con lo reportado por Morales *et al.* (2006), quienes, al evaluar la asociación de girasol Victoria con

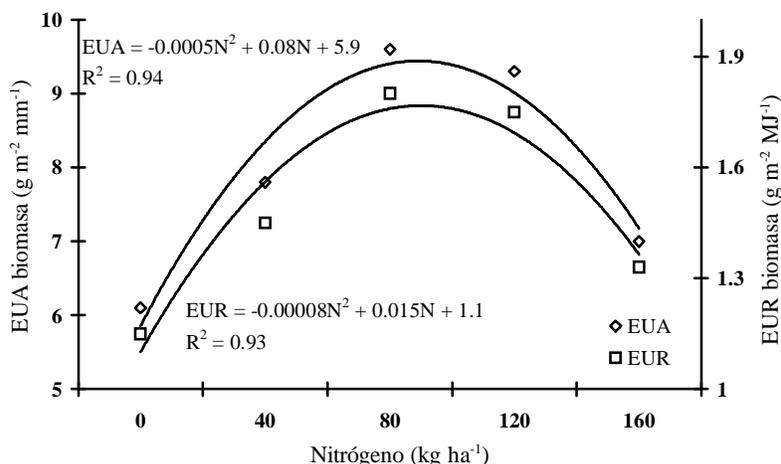


Figura 6. Eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia en el uso de la radiación (EUR) en la producción de biomasa en función del nitrógeno en el agrosistema combinado girasol - frijol. Montecillo, Méx. Verano de 2003.

tres cultivares de frijol (Canario, Bayomex y Michoacán), indican que la aplicación de 100 kg ha⁻¹ de N y 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no modifica el IC (los valores oscilaron entre 22 y 26%). En contraste, Olalde *et al.* (2000), en girasol en condiciones de monocultivo, indican que la aplicación de N (200 kg ha⁻¹) promovió un mayor rendimiento de semilla respecto a la producción de biomasa total, generando un mayor IC (33%). Lo anterior puede deberse a la complementación que puede establecerse entre los cultivos componentes de la asociación, la cual implica que la captura de los insumos limitantes es mayor y más efectiva la utilización de los mismos en los cultivos combinados que en los monocultivos (Sarandón y Chamorro, 2003). Por otro lado, el rendimiento de semilla (con 10% de humedad) que se presenta en el Cuadro 2 y en la Figura 5, muestra que el testigo (nivel inicial de N de 47 kg ha⁻¹) obtuvo una producción de 321.4 g m⁻² (183.2 y 138.2 g m⁻² de frijol y girasol, respectivamente). Con la adición de N, el rendimiento de semilla se incrementó hasta lograr un máximo de 504 g m⁻² con 80 kg ha⁻¹ de N, de los cuales 256.8 g m⁻² correspondieron a frijol y 247.2 g m⁻² a girasol y con 120 kg ha⁻¹ de N se cosecharon 501 g m⁻² (260.55 g m⁻² de frijol y 240.5 g m⁻² de girasol) superando al testigo en 38 y 37%, respectivamente. La caída en el rendimiento con 160 kg ha⁻¹ de N puede ser ocasionada por un posible desbalance nutricional que el exceso de N provoca. En ese sentido, para una buena cosecha, el cultivo demanda un apropiado equilibrio en la nutrición; el balance adecuado de ésta, especialmente entre N y P,

incrementa el rendimiento, la absorción y la eficiencia agronómica de N (PPI, 1997; Parker, 2000).

Estos resultados están relacionados con los reportados por Rajat (1980), quien, al aplicar 120 kg ha⁻¹ de N, registró un rendimiento en cultivos combinados de maíz y frijol, maíz y frijol mungo, y maíz y chícharo, superiores en 44, 35 y 43%, respectivamente, con relación a los tratamientos sin fertilizar. Los incrementos en la producción de semilla en los tratamientos 80 y 120 kg ha⁻¹ de N, con relación al testigo, se traducen en la mayor eficiencia en el uso de agua y la radiación solar. La Figura 7 permite apreciar una mayor EUA para 80 kg ha⁻¹ de N (2.3 g m⁻² mm⁻¹) y 120 kg ha⁻¹ de N (2.2 g m⁻² mm⁻¹) que fueron superiores al testigo en 39% (1.4 g m⁻² mm⁻¹). En ese sentido, Manu (1994), en la siembra simultánea de maíz y frijol, reporta una EUA de 2.1 g m⁻² mm⁻¹ cuando aplicó 100 kg ha⁻¹ de N a la asociación.

Cuando se fertilizó el agrosistema combinado, con 80 y 120 kg ha⁻¹ de N, se encontró la mayor EUR, con un valor de 0.42 g m⁻² MJ⁻¹ (Figura 7); este valor superó al del tratamiento sin fertilizante (0.27 g m⁻² MJ⁻¹) en 36%. La mayor EUR es el producto del mayor rendimiento de estos tratamientos con relación al testigo. Tendencias similares encontraron Major *et al.* (1991), en maíz, y Dreccer *et al.* (2003), en soya, quienes coinciden que adicionando N se incrementa la EUR y, por lo tanto, el rendimiento agronómico.

En síntesis, con la aplicación de N, particularmente con 80 y 120 kg ha⁻¹, se obtiene un dosel vegetal más grande y mayor radiación interceptada y, en

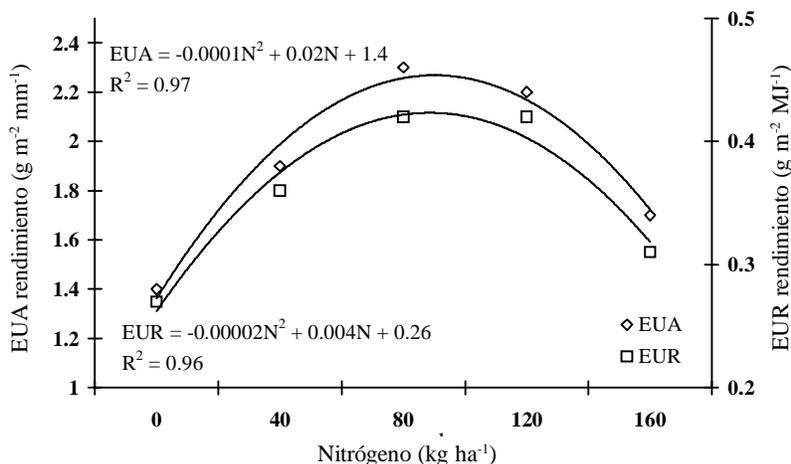


Figura 7. Eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia en el uso de la radiación (EUR) en el rendimiento de semilla en función del nitrógeno en el agrosistema combinado girasol - frijol. Montecillo, Méx. Verano de 2003.

consecuencia, una mayor eficiencia en el uso del agua y la radiación (Reddy *et al.*, 1989; Keating y Carberry, 1993; Ennin *et al.*, 2002).

CONCLUSIONES

La eficiencia en el uso de la radiación, el agua, la producción de biomasa y el rendimiento de semilla del agrosistema girasol-frijol muestran una tendencia cuadrática en respuesta a la aplicación de 0, 40, 80, 120 y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), con niveles iniciales de 47 kg ha⁻¹ de N en el suelo. Los valores más altos de las variables en estudio se encuentran con el suministro de 80 kg ha⁻¹ de N. A niveles superiores, la eficiencia en el uso de la radiación, y el agua, así como la biomasa y el rendimiento de semilla del agrosistema disminuyen, lo que sugiere la existencia de otro factor que limita la respuesta al fertilizante nitrogenado.

LITERATURA CITADA

- Adams, J. E. and G. F. Arkin. 1977. A light interception method for measuring row crop ground cover. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 789-792.
- Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1986. Las necesidades de agua por los cultivos. *Riego y Drenaje Manual 24*. Food and Agriculture Organization. Roma, Italia.
- Dreccer, F. M., R. A. Ruiz, G. A. Maddonni y E. H. Satorre. 2003. Bases ecofisiológicas de la nutrición en los cultivos de grano. pp. 481-497. *In: E. Satorre, R. Benech Arnold, G. A. Slafer, E. de la Fuente, D. Miralles, M. E. Otegui y R. Savin (eds.). Producción de cultivos de granos. Bases funcionales para su manejo*. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina.
- Ennin, S. A., M. D. Clegg, and C. A. Francis. 2002. Resource utilization in soybean/maize intercrops. *African Crop Sci. J.* 10: 251-261.
- Escalante-Estrada, J. A y J. Kohashi S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Fukai, S. and B. R. Trenbath. 1993. Processes determining intercrop productivity and yields of components crops. *Field Crops. Res.* 34: 247-271.
- 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.
- Keating, B. A. and P. S. Carberry. 1993. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. *Field Crops Res.* 34: 273-301.
- Loomis, R. S. y D. J. Coonor. 2002. Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Major, D. J., B. W. Beasley, and R. I. Hamilton. 1991. Effect of maize maturity on radiation-use efficiency. *Agron. J.* 83: 895-903.
- Manu, A. J. A. 1994. Effects of resource on growth and development of maize and faba bean intercrop. University Nottingham Press. Nottingham, UK.
- Morales-Rosales, E. J., J. A. Escalante-Estrada, L. Tijerina-Chávez, V. H. Volke-Haller y E. Sosa-Montes. 2006. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol. *Terra Latinoamericana* 24: 55-64.
- Muchow, R. C. 1998. Nitrogen utilization efficiency in maize and grain sorghum. *Field Crops. Res.* 56: 209-216.
- Olalde-Gutiérrez, V. M., J. A. Escalante-Estrada, P. Sánchez-García, L. Tijerina-Chávez, E. M. Engleman 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.
- Parker, R. 2000. La ciencia de las plantas. Paraninfo. Madrid, España.
- PPI (Potash and Phosphate Institute). 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. Querétaro, Méx.
- Rajat, D. 1980. Role of legumes in intercropping system. International Atomic Energy Agency, Technical Documents (IAEA-TECDOC). 235: 73-84.

- Reddy, S. N., E. Reddy, V. M Reddy, M. S. Reddy, and P. Reddy. 1989. Row arrangement in groundnut/pigeonpea intercropping. *Tropic. Agric.* 66: 309-312.
- Sarandón, J. S. y A. M. Chamorro. 2003. Policultivos en los sistemas de producción de granos. pp. 353-372. *In*: E. Satorre, R. Benech Arnold, G. A. Slafer, E. de la Fuente, D. Miralles, M. E. Otegui, y R. Savin (eds.). Producción de cultivos de granos. Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina.
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agric. For. Meteorol.* 35: 353-358.
- Trápani, N., M. L. Pereira, V. O. Sadras y A. J. Hall. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en girasol. pp. 203-241. *In*: E. Satorre, R. Benech Arnold, G. A. Slafer, E. de la Fuente, D. Miralles, M. E. Otegui, y R. Savin (eds). Producción de cultivos de granos. Bases funcionales para su manejo. Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina.
- Uhart, S. A. and F. H. Andrade. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. *Crop Sci.* 35: 1376-1383.
- Willey, R. W. 1990. Resource use in intercropping systems. *Agric. Water Manage.* 17: 215-231.