

Razón equivalente de la tierra, rendimiento de grano y extracto etéreo de *Helianthus annuus* L. en monocultivo y asociado con *Pisum sativum* L. en función de urea estabilizada

Land equivalent ratio, grain and pod yield and ethereal extract of *Helianthus annuus* L. in monoculture and associated with *Pisum sativum* L. in function of stabilized urea

Piña-González JL¹, EJ Morales-Rosales², A Domínguez-López², JF Ramírez-Dávila², G Estrada-Campuzano², O Franco-Mora²

Resumen. El objetivo del presente estudio fue estimar la razón equivalente de la tierra, biomasa, rendimiento de grano y extracto etéreo de *Helianthus annuus* L. en monocultivo y asociado con *Pisum sativum* L. en función de urea estabilizada (0,40 y 80 kg N/ha) en El Cerrillo, México. También se estimó el rendimiento de vaina obtenido por *P. sativum* como cultivo puro y asociado con *H. annuus*. Los seis tratamientos (en cada ensayo) fueron evaluados en un experimento factorial 2 × 3 en un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cuando los valores de F fueron significativos se aplicó la prueba de la diferencia significativa honesta a un nivel de significancia del 5%. También se utilizó el análisis de componentes principales para estudiar la interrelación entre los seis tratamientos y las siete variables bajo estudio en *H. annuus*. Los resultados que se observaron en el biplot indicaron que el mayor porcentaje de la variación original de los datos se representó adecuadamente en los dos componentes principales, debido a que ambos explicaron el 87,9%. Este análisis reveló que los tratamientos *H. annuus* en monocultivo y *H. annuus* + *P. sativum* fertilizados con 80 kg N/ha fueron los que obtuvieron la mayor producción de grano (287,7 y 285 g/m², respectivamente). La superioridad de estos tratamientos se atribuye a que sobresalieron en las variables índice de área foliar y biomasa total, por lo que estos caracteres son los principales componentes de rendimiento de *H. annuus*. El valor de la razón equivalente de la tierra (1,47) obtenida con el suministro de 80 kg N/ha indica una ventaja en el rendimiento de grano y vaina de la asociación de ambas especies en 47% sobre sus respectivos monocultivos. Como resultado, este sistema de siembra representa una buena opción para los productores de escasos recursos económicos de la región.

Palabras clave: Cultivos múltiples; Fertilización nitrogenada; Rendimiento.

Abstract. The aim of this study was to assess the land equivalent ratio, biomass, grain yield and ethereal extract of *Helianthus annuus* in monoculture and associated with *Pisum sativum* in function of stabilized urea (0, 40, 80 kg N/ha) in El Cerrillo, México. It was also estimated pod yield obtained by *P. sativum* as a pure stand and associated with *H. annuus*. The six treatments (in each experiment) were evaluated in a 2 × 3 factorial experiment in a randomized complete block design with four replications. When F values were significant, the honestly significant difference test at the 5% level of significance was used. The principal component analysis was also used to study the interrelationship among the six treatments and seven variables. The results observed in the biplot indicated that the largest original variation in the data was adequately represented in the first two principal components since both accumulated 87.9%. This analysis revealed that the treatments of *H. annuus* in monoculture and *H. annuus* + *P. sativum* fertilized with 80 kg N/ha were those which achieved the highest grain yields (287.7 and 285 g/m², respectively). The superiority of these treatments is attributed to the fact that leaf area index and total biomass showed to be the main yield component of *H. annuus*. The value of the land equivalent ratio (1.47) obtained with the supply of 80 kg N/ha indicates an advantage in the grain and pod yields of the association of both species by 47% over their respective monocultures. As a result, this planting system is a good choice for farmers with scarce economic resources in the region.

Keywords: Multiple crops; Nitrogen fertilization; Crop yield.

¹ Estudiante de Maestría. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México. Km. 15 carretera Toluca – Ixtlahuaca entronque al Cerrillo, C.P. 50200, Toluca, México.

² Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Universidad Autónoma del Estado de México. Km. 15 carretera Toluca – Ixtlahuaca entronque al Cerrillo, C. P. 50200, Toluca, México.

Address Correspondence to: Edgar Jesús Morales-Rosales, e-mail: ejmoralesr@uaemex.mx
Recibido / Received 28.X.2011. Aceptado / Accepted 9.VIII.2013.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de cultivos asociados constituyen una alternativa de producción con mayor estabilidad e intensidad en el uso de los recursos. Su empleo se ha venido realizando desde que el hombre hizo los primeros intentos en domesticar a las especies vegetales y en el caso particular de México, se vienen practicando desde tiempos anteriores a la conquista. En la actualidad son utilizados principalmente por los agricultores de escasos recursos en virtud de las ventajas que presentan, entre las cuales se destacan: (1) el uso eficiente de la tierra e insumos, (2) la disminución de riesgos en la producción (atribuibles a factores climáticos y/o al ataque de plagas y enfermedades), y (3) mayores rendimientos e ingresos que se pueden obtener por unidad de área (Morales et al., 2011). En este sentido, combinar cultivos de diferentes ciclos y porte en una misma área de terreno es una estrategia que tiende a darle sustentabilidad al sistema, ya que intervienen principios ecológicos que funcionan en ecosistemas naturales estables (Quiroz y Mulas, 2001).

Cuando se siembran en forma simultánea dos o más especies vegetales se puede establecer una relación de competencia o de complementación (Sarandón y Chamorro, 2004). La competencia es un fenómeno casi omnipresente en la vegetación. Se manifiesta esencialmente entre individuos vecinos, sobre todo por la disminución en la disponibilidad de recursos como luz, agua y nutrientes. Es una interacción con efectos negativos entre plantas vecinas que se producen por la escasez de insumos para la producción agrícola (Terradas, 2001). La complementación se define como el proceso en el que dos plantas individuales o dos poblaciones de plantas interactúan de tal modo que al menos una ejerce un efecto positivo sobre la otra (Terradas, 2001). Tsubo et al. (2003) mencionaron que la complementación puede ser “temporal” cuando las mayores demandas de los recursos de los cultivos se producen en periodos diferentes; “espacial” cuando la parte aérea o las raíces captan recursos en diferentes zonas, y “fisiológica” cuando existen diferencias bioquímicas entre los cultivos en cuanto a su respuesta frente a los factores ambientales. En este sentido, *Helianthus annuus* y *Pisum sativum* son especies que se complementan mutuamente, ya que difieren entre sí “espacial” (arquitectura de la parte aérea y profundidad del sistema radical) y “fisiológicamente” (diferente punto de saturación de luz). Esto sugiere que el aprovechamiento de los insumos para la producción agrícola de ambas especies sembradas simultáneamente será mayor con respecto a sus monocultivos.

Por otro lado, *H. annuus* L. y *P. sativum* L. son especies no muy exigentes en el consumo de nitrógeno. Existen evidencias en nuestro país que cuando estas plantas son establecidas en sistemas de asociación, 80 kg/ha de N son suficientes para satisfacer sus demandas (Morales et al., 2011). Una estrategia para hacer más eficiente el aprovechamiento de nitrógeno en este tipo de sistemas de siembra es la utilización de urea de lenta

liberación, también llamada urea NBPT (N – n-butil triamida tiofosfórica) o urea estabilizada, la cual inhibe la ureasa retrasando la velocidad de conversión de urea a amonio. Si la tasa de conversión es lenta se reduce la volatilización de amoniaco, permitiendo una mayor disponibilidad de este elemento en la siembra combinada de ambas especies (Lamsfus et al., 2003).

El objetivo de este estudio fue estimar la razón equivalente de la tierra, biomasa, rendimiento de grano y extracto etéreo de *Helianthus annuus* L. cv. ‘Victoria’ en monocultivo y asociado con *Pisum sativum* L. en función de urea estabilizada (0, 40 y 80 kg N/ha) en El Cerrillo, México. También se estimó el rendimiento de vaina obtenido por *P. sativum* cv. ‘Rodgers’ como cultivo puro y asociado con *H. annuus*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento 1. *Helianthus annuus* en monocultivo y asociado con *Pisum sativum*. El ensayo se estableció en el ciclo primavera verano de 2010 en el campus Universitario El Cerrillo de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx) (19° 14' N, 92° 42' O; 2611 m.s.n.m.). El clima es del tipo C(W2) (W) b(i) que corresponde al templado húmedo con lluvias en verano, con poca oscilación térmica y temperatura media anual de 12° C, presentándose heladas tempranas en octubre y tardías en abril; la precipitación pluvial es de 900 mm anuales.

Conducción del experimento: Los tratamientos evaluados fueron seis, los cuales resultaron de la combinación de dos factores de estudio: (1) dos sistemas de siembra de *H. annuus* (cv. ‘Victoria’) [en monocultivo y asociado con *P. sativum* L. (cv. ‘Rodgers’)], y (2) tres niveles de urea estabilizada (0, 40 y 80 kg N/ha). Adicionalmente se suministraron 90 kg de P₂O₅/ha, utilizando como fuente superfosfato de calcio triple. Ambos nutrientes se aplicaron al momento de sembrar. La siembra se realizó el 22 de mayo de 2009 bajo condiciones de secano, la distancia entre plantas en ambos sistemas de cultivo fue de 0,25 m (en la asociación de especies se depositaban las semillas en la misma “mata”); la separación entre surcos fue de 0,90 m. Las malezas se controlaron manualmente.

Variables a evaluar y análisis estadístico: Se midieron las siguientes variables en el cultivo de *H. annuus*: (1) Fenología, mediante la escala de Schneiter y Miller (1981). Se determinaron las etapas E (emergencia); R1 (las brácteas inmaduras tienen la apariencia de una estrella); R5 (inicio de floración) y MF (las brácteas se tornaron amarillo, y la mayor parte del envés del capítulo se tornó marrón, este estado corresponde a la madurez fisiológica); (2) Tiempo térmico (TT), mediante el método residual de Snyder (1995): $\Sigma (T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})/2 - \text{Temperatura base}$ (6 °C: Morales et al., 2011). Durante el ciclo, los datos de temperatura máxima, mínima y precipitación se obtuvieron de la estación meteorológica de la facultad de Ciencias Agrícolas ubicada en el sitio experimental; (3) Índice de área foliar (IAF): se estimó mediante la siguiente expresión (Sarandón

y Chamorro, 2004): IAF = (área foliar/planta) (densidad de población)/área sembrada; (4) Biomasa total (BT): se cosecharon tallos, hojas e inflorescencias (considerando el peso de grano) que se secaron en una estufa de aire forzado a 80 °C hasta alcanzar peso constante. A la suma del peso de estas estructuras se le consideró como BT; (5) Rendimiento de grano (RG) de cinco plantas con competencia completa: se registró el peso de grano y se expresó en g/m²; (6) Índice de cosecha (IC), se calculó dividiendo el rendimiento de grano por la biomasa total (sin considerar al sistema radical); (7) Extracto etéreo (EE), se estimó mediante la siguiente relación % EE = (P-p/M)*100, donde P = peso del matraz con grasa, p = peso del matraz sin grasa, M = peso en gramos de la muestra (AOAC, 1995); (8) Análisis de componentes principales: se realizó para conocer cuáles fueron las interrelaciones entre los tratamientos y las variables evaluadas. Este análisis estadístico se hizo con el programa propuesto por Sánchez (1995) utilizando System for Statistical Analysis (SAS) en el Sistema Operativo DOS.

Los seis tratamientos fueron evaluados en un experimento factorial 2 x 3 en un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cuando los valores de F fueron significativos se aplicó la prueba de la diferencia significativa honesta a un nivel de significancia del 5%.

Experimento 2. *Pisum sativum* en monocultivo y asociado con *Helianthus annuus*. El ensayo se estableció bajo las mismas condiciones del experimento 1.

Conducción del experimento: Los tratamientos evaluados fueron seis, los cuales resultaron de la combinación de dos factores de estudio: (1) dos sistemas de siembra [*P. sativum* L (cv. 'Rodgers') en monocultivo y asociado con *H. annuus* L (cv. 'Victoria')], y (2) tres niveles de urea estabilizada (0, 40 y 80 kg N/ha). La fertilización adicional (fósforo), la fecha de siembra, y la distancia entre plantas y surcos fue igual al experimento 1. Las malezas se controlaron manualmente.

Variables a evaluar y análisis estadístico: (1) Peso fresco de vaina/m² (por corte); (2) Rendimiento de vaina total/m²; (3) Razón equivalente de la tierra: con los rendimientos de grano y vaina de los dos experimentos se estimó esta variable mediante la siguiente relación (Morales y Franco, 2009): $RET = Y_{ij}/Y_{ii} + Y_{ji}/Y_{jj}$; Y_{ij} = rendimiento de semilla de *H. annuus* bajo condiciones de asociación; Y_{ji} = rendimiento de vaina de *P. sativum* bajo asociación; Y_{ii} = Rendimiento de semilla de *H. annuus* en monocultivo; Y_{jj} = Rendimiento de vaina de *P. sativum* en monocultivo.

El análisis estadístico fue realizado de la misma forma que en el experimento 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento 1. *Helianthus annuus* en monocultivo y asociado con *Pisum sativum*. El promedio decenal durante el crecimiento del cultivo fluctuó entre 19 y 26 °C para T_{máx}, y

entre 6,0 y 10,5 °C para T_{mín} (Fig. 1). La precipitación pluvial durante la estación de crecimiento fue de 752 mm; de ésta, 357 mm (47,5%) ocurrieron durante la etapa vegetativa. Durante la etapa reproductiva precipitaron 395 mm (52,5%). Bajo estas condiciones, *H. annuus* se desarrolló satisfactoriamente en monocultivo y asociado con *P. sativum*. Como se esperaba, el suministro de los distintos niveles de N contenidos en la urea estabilizada no modificaron la fenología de *H. annuus*. El tiempo térmico acumulado en cada una de las etapas fenológicas fue: 132 °C/d en E, 703 °C/d en R1, 876 °C/d en R5 y 1356 °C/d en R9. El número de días después de la siembra que se necesitaron para llegar a cada una de esas etapas fenológicas fue de 15, 78, 99 y 153 para E, R1, R5 y R9, respectivamente. Estos datos comprueban lo obtenido por Tsubo et al. (1997) en Sudáfrica, y por Morales y Escalante (2007) en una investigación realizada en Texcoco, Méx., cuando utilizaron el cultivar de *H. annuus* 'Victoria' asociado con diferentes genotipos de frijol. Estos últimos autores reportaron un tiempo térmico de 127 °C/d para E, 848 °C/d para R5 y 1357 °C/d para R9.

Los análisis de varianza revelaron diferencias estadísticas para el factor sistemas de siembra en las características BT y RG ($p < 0,01$) y para IC y EE ($p < 0,05$). En el factor niveles de nitrógeno, las pruebas de F mostraron diferencias altamente significativas en todas las variables. Las interacciones sistemas de siembra x niveles de nitrógeno fueron altamente significativas ($p < 0,01$) para RG e IC, y sólo significativas para IAF ($p < 0,05$) (Tabla 1).

La comparación de medias en el sistema de siembra indica que *H. annuus* en monocultivo tuvo un mejor comportamiento que cuando fue asociado con *P. sativum*. Esto se debió a que *H. annuus* obtuvo los mejores promedios en las variables biomasa total, rendimiento de grano y extracto etéreo. Dichos promedios fueron 18,2; 13,7 y 3,1%, respectivamente, mayores cuando la oleaginosa se estableció sola que cuando lo hizo simultáneamente con la leguminosa en (Tabla 1). Estos resultados confirman lo publicado por Kandel et al. (1997) quienes reportaron que *H. annuus* tuvo una mejor performance en monocultivo que asociado con diferentes tipos de leguminosas anuales.

Cuando se adicionaron 80 kg N/ha de urea estabilizada se obtuvieron en promedio los valores más altos en todas las características bajo estudio, con excepción del IC y EE. Los IC obtenidos en los niveles 0 y 40 kg N/ha (0,20 y 0,25, respectivamente) fueron semejantes a los reportados por Vega et al. (2001). Sin embargo, en esta investigación el IC disminuyó a medida que se incrementó el nitrógeno por hectárea (Tabla 1). En el estudio publicado por Vega et al. (2001), sin embargo, el IC (0,24 en promedio) no varió cuando la cantidad de urea común aumentó de 0 a 100 kg N/ha.

El rendimiento de grano en *H. annuus* depende de (1) la eficiencia con que la planta convierte el fertilizante nitrogenado en biomasa, y (2) la fuente de nitrógeno utilizada (Maddonni et al., 2004). Sin embargo, también hay eviden-

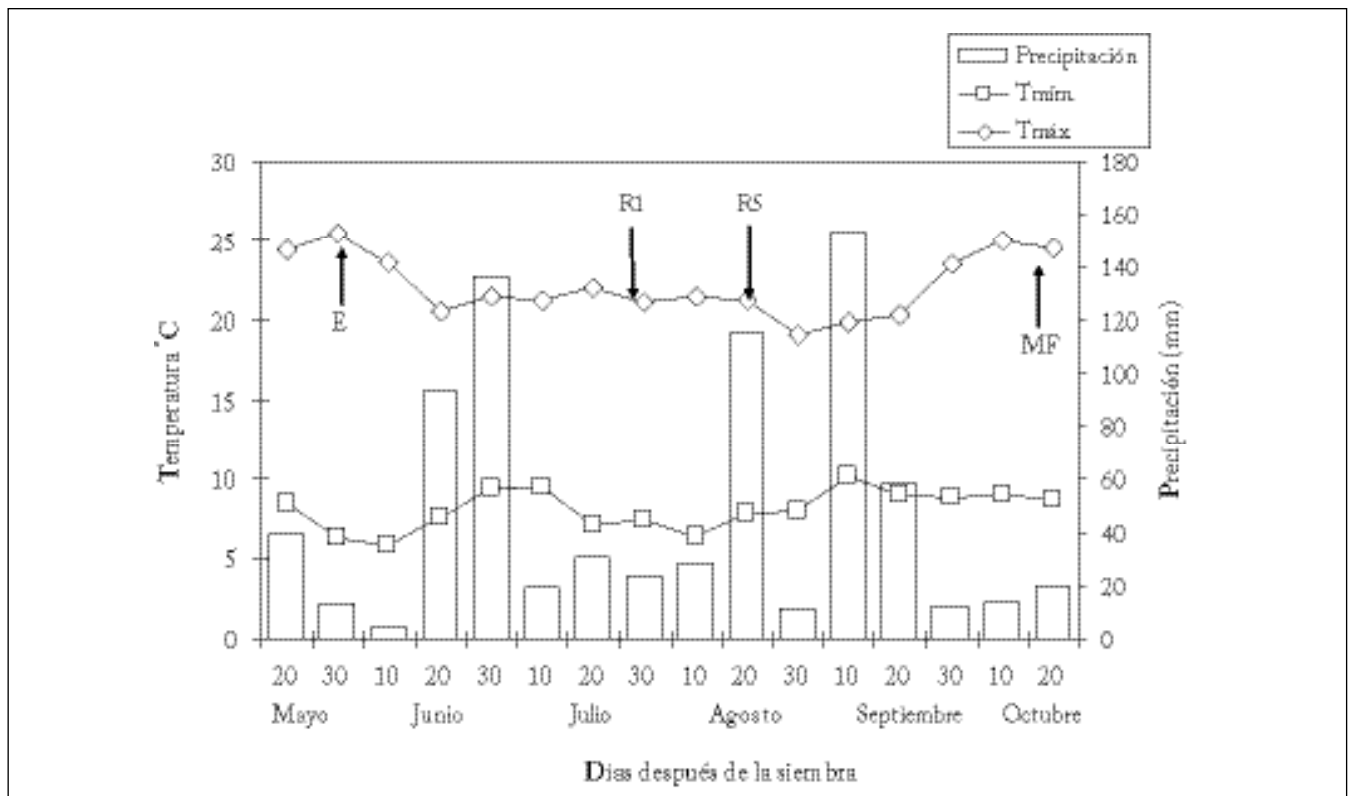


Fig. 1. Temperaturas mínimas y máximas (promedio decenal) y precipitación pluvial (suma decenal), durante la estación de crecimiento de *Helianthus annuus* en El Cerrillo, estado de México. México, 2010. E = emergencia, R1 = botón floral, R5 = inicio de floración, MF = madurez fisiológica.

Fig. 1. Minimum and maximum temperatures (decennial mean) and rainfall (decennial sum) during the growing season of *Helianthus annuus* in El Cerrillo, state of Mexico. Mexico 2010. E = emergence, R1 = boot stage, R5 = beginning of flowering, MF = physiological maturity.

Tabla 1. Efecto de dos sistemas de siembra y tres niveles de nitrógeno en el índice de área foliar (IAF), biomasa total (BT), rendimiento de grano (RG), índice de cosecha (IC), peso de cien granos (PCG) y extracto etéreo (EE) de *Helianthus annuus* en El Cerrillo, estado de México. México, 2010. Letras diferentes en la misma columna para cada factor de estudio indican diferencias significativas al $p < 0,05$.

Table 1. Effects of two planting systems and three nitrogen levels on leaf area index (IAF), total biomass (BT), grain yield (RG), harvest index (IC), weight of a hundred grains (PCG) and ethereal extract (EE) of *Helianthus annuus* in El Cerrillo, state of Mexico, Mexico, 2010. Different letters in the same column for each study factor indicate significant differences at $p < 0.05$.

Sistema de siembra (S)	IAF	BT (g/m ²)	RGN(g/m ²)	IC (%)	PCG (g)	EE (%)
<i>H. annuus</i>	2,71 a	1095,6 a	207,8 a	20	6,8 a	42,0 a
<i>H.annus</i> + <i>P. sativum</i>	2,69 a	896,7 b	179,4 b	21	6,2 a	40,4 b
DSH _(0,05)	0,1	94,1	12,4	0,7	0,6	1,5
kgN/ha urea estabilizada (N)						
0	2,26 b	425,8 c	112,5 c	25 a	5,8 c	42,3 a
40	2,77 a	900,8 b	182,5 b	20 b	6,3 b	40,5 b
80	3,06 a	1661,7 a	285,8 a	16 c	7,4 a	40,8 b
DSH _(0,05)	0,3	101,1	6,8	0,6	0,4	0,7
ANAVA						
S	ns	**	**	*	ns	*
N	***	***	***	***	**	**
S*N	*	ns	**	**	ns	ns

cias que cuando *H. annuus* es asociado con plantas leguminosas se alcanza un óptimo rendimiento con 80 unidades de N/ha utilizando urea común. Morales y Escalante (2007) reportaron un rendimiento de grano de girasol de 257 g/m² en la asociación *H. annuus* + *Phaseolus vulgaris*. Asimismo, Singh (2007) reportó un rendimiento de 123 g/m² de *H. annuus* en siembra combinada con *P. vulgaris*. En el presente estudio, se alcanzó un rendimiento promedio de 285 g/m² con la aplicación de 80 kg N/ha de urea estabilizada. Esta cantidad superó en 9,8% a lo encontrado por Morales y Escalante (2007), y en 56,8% a lo publicado por Singh (2007). Esto refleja una ventaja de la fertilización con urea de lenta liberación, debido a que este tipo de fertilizante libera nitrógeno durante toda la estación de crecimiento de los cultivos (Lamsfus et al., 2003). El peso de 100 granos fluctuó entre 5,8 y 7,4 g para 0 y 80 kg N/ha, respectivamente, valores que se encuentran dentro del rango para este cultivo (Vega et al., 2001; Kruk y Satorre, 2004).

En el extracto etéreo, el promedio más alto se encontró en el testigo sin fertilizante. Este hecho confirma lo presentado por Maddonni et al. (2004) quienes indicaron que a medida que se incrementa la fertilización nitrogenada disminuye el porcentaje de aceite del aquenio. Sin embargo, si consideramos de manera conjunta el EE y el rendimiento de grano, si bien es cierto que al adicionar 80 kg N/ha disminuye el porcentaje de aceite entre 1,5 y 1,8 respecto al testigo, el mayor rendimiento de grano/m² hace que la producción de aceite sea superior al tratamiento sin fertilizante (Tabla 1). Es decir, sin N el rendimiento de grano fue de 112,5 g/m² lo que equivaldría a 47,6 g/m² de EE. Cuando se adicionaron 80 kg N/ha, el rendimiento de grano fue de 285,8 g/m² que equivaldría a 116,6 g/m² de EE.

La interacción sistema de siembra × nitrógeno (Fig. 2A y 2B) sugiere una tendencia positiva al incremento de nitrógeno en ambos sistemas de siembra para las variables IAF y RG. Con 80 kg N/ha de urea estabilizada se obtuvo un rendimiento de *H. annuus* de 286,7 y 285 g/m² en monocultivo y asociado con *P. sativum*, respectivamente. Estos valores son superiores al promedio nacional de producción de esta oleaginosa (103 g/m²; Financiera Rural, 2008). Rendimientos similares obtuvieron Maddonni et al. (2004) en un experimento desarrollado en dos localidades del noroeste de Buenos Aires, Argentina, bajo condiciones de monocultivo y secano. La producción de grano publicada por estos autores osciló entre 220 y 280 g/m² para 5 híbridos diferentes de *H. annuus*. En un ensayo donde se evaluaron dos niveles de N (utilizando urea común) y dos densidades de siembra en el cultivar 'Victoria', el rendimiento de grano se incrementó en un 15% respecto al testigo cuando se utilizaron 100 kg de urea común y 11 plantas/m² (Vega et al., 2001). Cuando se utilizaron 80 kg N/ha (urea común) y una proporción de plantas 1:1 de *H. annuus* y *P. vulgaris*, Kandel et al. (1997) obtuvieron efectos de interacción que se reflejaron en un mayor rendimiento de grano (1231 kg/ha de girasol).

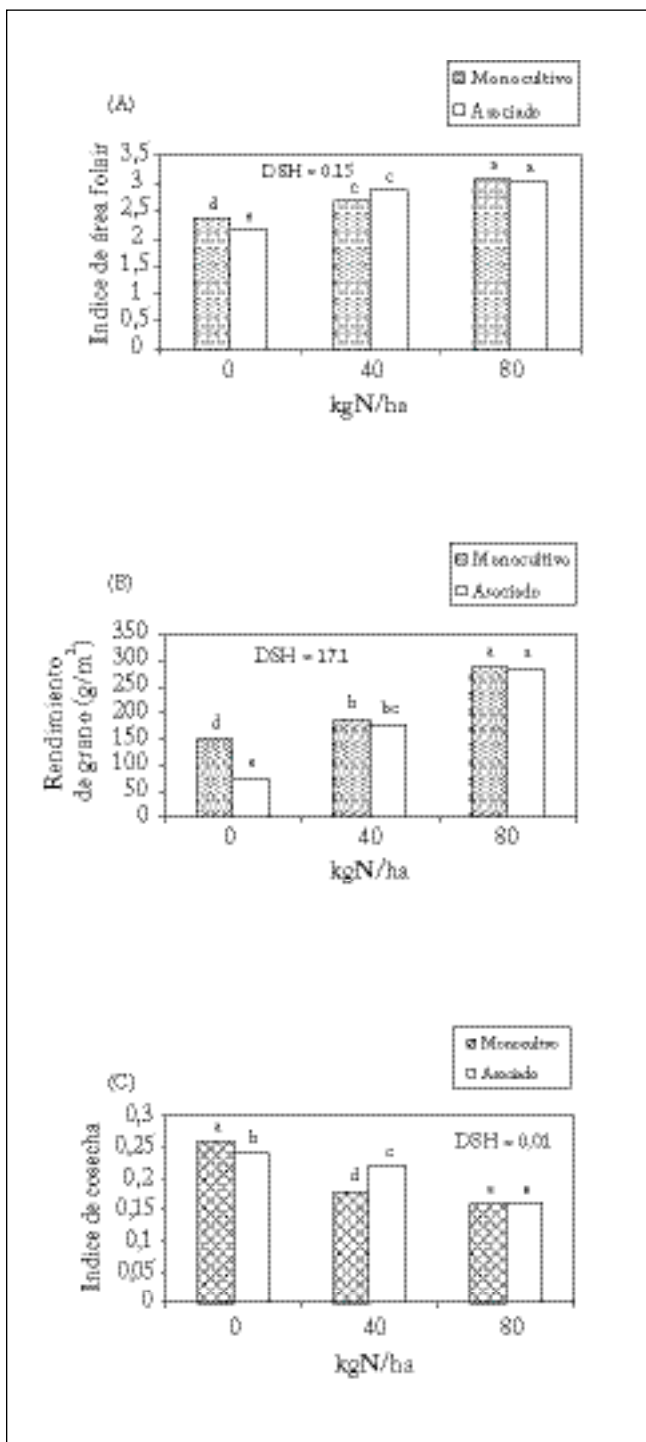


Fig. 2. Índice de área foliar (A), rendimiento de grano (B) e índice de cosecha (C) de *Helianthus annuus* en monocultivo y asociado con *Pisum sativum* en El Cerrillo, estado de México, México 2010. Las barras con la misma letra no difieren significativamente entre sí de acuerdo a la Diferencia Significativa Honesta.

Fig. 2. Leaf area index (A), grain yield (B) and harvest index (C) of *Helianthus annuus* in monoculture and associated with *Pisum sativum* in El Cerrillo, state of Mexico, Mexico 2010. Bars with same letters are not significantly different according to Honestly Significant Difference.

La interacción en el IC presentó una tendencia negativa (Fig. 2C), ya que cuando se utilizó la dosificación de nitrógeno más elevada (80 kg N/ha), esta variable presentó el valor más bajo en ambos sistemas de siembra (0,16). Al mismo tiempo, el testigo logró 0,26 (monocultivo) y 0,24 (en asociación). En ese sentido, Vega et al. (2001) informaron una reducción no significativa en el IC del girasol (de 0,25 a 0,22) cuando se utilizaron 100 kg N/ha en relación a la no aplicación de este elemento químico.

El análisis de componentes principales explicó el 87,9% de la variación total relacionada con las siete variables evaluadas: el componente principal 1 (CP1) explicó el 73,5% y el componente principal 2 (CP2) el 14,4% (Fig. 3).

La dispersión de los seis tratamientos en los cuatro cuadrantes del biplot confirma la existencia de diferencias significativas entre ellos. Esta variabilidad se agrupó principalmente en cuatro categorías: (1) *H. annuus* en monocultivo y asociado con *P. sativum* con 0 unidades de nitrógeno expresaron el mayor promedio en la característica extracto etéreo; (2) *H. annuus* en monocultivo con 40 unidades de nitrógeno contribuyó con la mejor expresión fenotípica de diámetro de capítulo y peso de cien semillas; (3) *H. annuus* en monocultivo (40 unidades de nitrógeno) y asociado con *P. sativum* (80 unidades de nitrógeno) rindieron el mayor promedio para las variables índice de área foliar, biomasa total y rendimiento de grano; y (4) *H. annuus* combinado con *P. sativum* con 40 unidades de nitrógeno se asoció con el índice de cosecha.

Helianthus annuus en monocultivo y asociado con *P. sativum* con 80 unidades de nitrógeno fueron los tratamientos que obtuvieron la mayor producción de semilla (286,7 y 285 g/m², respectivamente). La superioridad de estos tratamientos se atribuye a que sobresalieron en las variables IAF y BT, por lo que estos caracteres son sus principales componentes del rendimiento.

Experimento 2. *Pisum sativum* L. en unicultivo y asociado con *Helianthus annuus* L. Hubo diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0,01$) para los factores sistemas de siembra y niveles de nitrógeno (urea estabilizada). La interacción sistemas de siembra \times niveles de nitrógeno no fue significativa en ninguna de las características en estudio (Tabla 2).

En el factor sistemas de siembra, *P. sativum* en monocultivo presentó un rendimiento de vaina mayor (318 g/m²) en relación a *P. sativum* asociado con *H. annuus* (154 g/m²). Resultados similares fueron presentados por Díaz et al. (2010) en un experimento en donde asociaron *P. vulgaris* (para la producción de vaina) y *H. annuus*. Estos investigadores encontraron que el rendimiento de vaina de la leguminosa en asociación (325,9 g/m²) se redujo en 68,4% con respecto a su cultivo puro (1031,1 g/m²).

La comparación de medias en el factor nitrógeno mostró una respuesta positiva a la adición de urea estabilizada. El rendimiento de vaina con 40 y 80 unidades de nitrógeno no difirió estadísticamente entre sí, y superaron en rendimiento al testigo

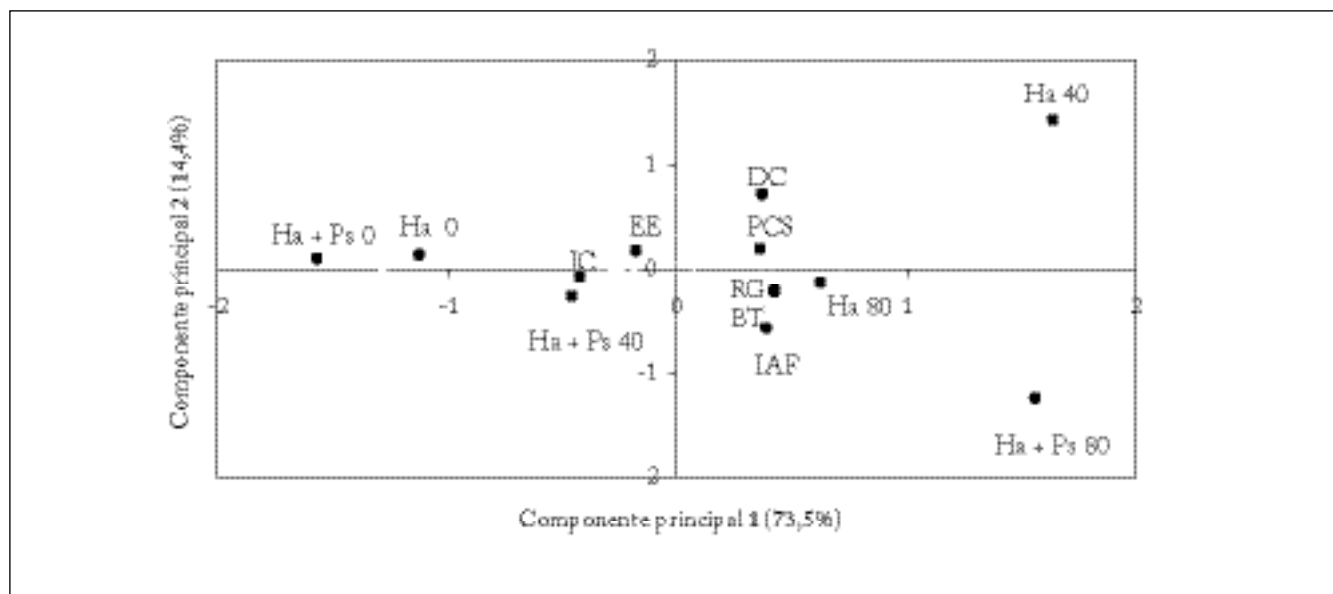


Fig. 3. Interrelación entre los seis tratamientos combinación de dos sistemas de siembra (*Helianthus annuus* en monocultivo y asociado con *Pisum sativum*) y tres niveles de nitrógeno (0, 40 y 80 kg N/ha de urea estabilizada). Ha = *Helianthus annuus*, Ha + Ps = *Helianthus annuus* + *Pisum sativum*. IAF = índice de área foliar, BT = biomasa total, RG = rendimiento de grano, IC = índice de cosecha, PCG = peso de cien granos, EE = extracto etéreo.

Fig. 3. Interrelation between the six treatments: two seeding systems (*Helianthus annuus* in monoculture and associated with *Pisum sativum*) and three nitrogen levels (0, 40 and 80 kg N/ha of stabilized urea). Ha = *Helianthus annuus*, Ha + Ps = *Helianthus annuus* + *Pisum sativum*. IAF = leaf area index, BT = total biomass, RG = grain yield, IC = harvest index, PCG = weight of 100 grains, EE = ethereal extract.

Tabla 2. Efecto de los cortes de vaina en dos sistemas de siembra y tres niveles de nitrógeno sobre el rendimiento de vaina (RV) de *Pisum sativum* en El Cerrillo, estado de México. México, 2010. Letras diferentes en la misma columna para cada factor de estudio indican diferencias significativas a $p < 0,05$.

Table 2. Effects of sheath clipping in two planting systems and three nitrogen levels on pod yield (RV) of *Pisum sativum* in El Cerrillo, state of Mexico, Mexico, 2010. Different letters in the same column for each study factor indicate significant differences at $p < 0.05$.

Sistema de siembra (S)	1 ^{er} corte (g/m ²)	2 ^{do} corte (g/m ²)	3 ^{er} corte (g/m ²)	4 ^{to} corte (g/m ²)	RV (g/m ²)
<i>Pisum sativum</i>	98,7 a	84,6 a	84,4 a	50,2 a	318 a
<i>P. sativum</i> + <i>H. annuus</i>	67,6 b	51,1 b	20,9 b	14,4 b	154 b
DSH	9,5	14,7	14,9	11,2	26,5
kg N/ha urea estabilizada (N)					
0	69,1 b	47,5 b	34,0 b	19,1 b	169,8 c
40	77,2 b	69,0 ab	68,7 a	48,5 a	263,3 a
80	103,0 a	87,0 a	55,3 ab	29,4 c	274,8 a
DSH	14,3	22,1	22,6	16,9	39,9
ANAVA					
S	***	***	***	***	***
N	***	***	**	**	***
S*N	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla 3. Razón equivalente de la tierra (RET) de *Helianthus annuus* y *Pisum sativum* en monocultivo y asociados.

Table 3. Land equivalent ratio (LER) of *Helianthus annuus* and *Pisum sativum* on monoculture and under an intercropping system.

Kg N/ha urea estabilizada	'Victoria' (g/m ²)	'Rodgers' (g/m ²)	'Victoria' (RET)	'Rodgers' (RET)	Total
0	150	228,0	-	-	-
40	185	349,7	-	-	-
80	287	376,3	-	-	-
0	75	111,3	0,50	0,48	0,98
40	178	177,0	0,96	0,51	1,47
80	285	173,3	0,99	0,46	1,45

sin fertilizante en 35,5 y 38,2%, respectivamente (Tabla 2). En ese sentido, Financiera Rural (2008) mencionó que la media nacional de *P. sativum* es de 4,8 t/ha. Sin embargo, en la parte norte de nuestra entidad, al ser esta especie un cultivo de secano, la media es de 2,0 t/ha. En nuestro estudio, el rendimiento de vaina en ambos sistemas de siembra con 80 kg N/ha fue en promedio de 2,75, producción inferior a la media nacional, pero superior al rendimiento en la zona (Tabla 2). La interacción entre ambos factores de estudio no fue discutida al ser no significativa.

La razón equivalente de la tierra presentada en la Tabla 3 indica que en ambos niveles de nitrógeno se presentó una relación de complementación en el uso de este recurso en la siembra simultánea de *H. annuus* y *P. sativum*, siendo la oleaginosa el cultivo principal y la leguminosa el cultivo secundario. Los valores de RET cercanos a 1 en *H. annuus* lo confirman (0,96 y 0,99 para 40 y 80 unidades de nitrógeno por hectárea, respectivamente). Este hecho, corrobora lo descrito por Loomis y Connor (2002). Estos autores afirman que la comple-

mentación en el uso de los recursos a través de la cohabitación parcial en el tiempo se puede establecer cuando una sola especie no es capaz de utilizar por completo la estación de cultivo; la duración del crecimiento se puede extender añadiendo otras especies; sin embargo, en esta relación la producción del cultivo principal (*H. annuus*) es equivalente a la que produciría bajo condiciones de monocultivo, mientras que el cultivo secundario (*P. sativum*), tendrá un rendimiento menor al que se esperaría si se estableciera como cultivo puro.

Por otra parte, las RET de 1,47 (40 kg N/ha) y 1,45 (80 kg/ha) indican ventajas que pueden ser interpretadas de la manera siguiente. El valor de RET de 1,47 indica que para obtener un rendimiento similar de *H. annuus* y *P. sativum* bajo condiciones de monocultivo se necesitaría 47% más de área cultivable; es decir, se tendrían que sembrar 0,74 ha de *H. annuus* y 0,74 ha de *P. sativum* para obtener una producción igual a la obtenida de manera conjunta por ambas especies en una hectárea de terreno.

Finalmente, cuando no se adicionó urea estabilizada al sistema bajo asociación, se estableció una relación de competencia por este elemento químico, ya que el nitrógeno en el suelo no existía en cantidad suficiente para satisfacer las demandas de ambos cultivos.

En síntesis, en ambos sistemas de siembra (monocultivo y asociado) hubo respuesta positiva al suministro de urea estabilizada, lográndose los mayores rendimientos individuales de grano y vaina con la dosis de 80 kg N/ha. En la asociación de cultivos, *H. annuus* fue el cultivo principal ya que su rendimiento de grano fue similar al obtenido bajo condiciones de asociación, y *P. sativum* fue el cultivo secundario ya que la producción de vaina fue inferior respecto a su cultivo puro. Por otra parte, el valor obtenido en la razón equivalente de la tierra muestra ventajas en la siembra combinada de ambas especies sobre sus respectivos monocultivos. Este aspecto convierte a este sistema de siembra en una buena alternativa para los pequeños agricultores de la región ya que el grano de la oleaginosa le proporcionaría un ingreso económico, y la vaina de la leguminosa le abastecería de alimento.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de México por el apoyo en recursos humanos e instalaciones para la realización del presente estudio.

REFERENCIAS

- AOAC (1995). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, 16th ed. AOAC Washington, DC.
- Díaz, L.E., J.A. Escalante, M.T. Rodríguez y A. Gaytán (2010). Producción de frijol ejotero en función del tipo de espaldera. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16: 215-221.
- Financiera Rural (2008). La producción de hortalizas en México. <http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Hortalizas.pdf> (verificado el 10 de octubre de 2011).
- Grace, B.J. (2004). Competencia y facilitación. En: M.J. Reigosa, N. Pedrol y A. Sánchez (eds), pp. 443-479. *La Ecofisiología Vegetal. Una Ciencia de Síntesis*. Ed. Paraninfo, S. A. Madrid, España. 780 p.
- Kruk, B. y E.H. Satorre (2004). Densidad y arreglo espacial del cultivo. En: E. Satorre, R. Benech, G.A. Slafer, E. De la Fuente, D. Miralles, M.E. Otegui y R. Savin (eds), pp. 279-316. *Producción de Cultivos de Granos. Bases Multifuncionales para su Manejo*. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina. 783 p.
- Kandel, H. J., A.A. Schneiter y B.L. Johnson (1997). Intercropping legumes into sunflower at different growth stages. *Crop Science* 37: 1532-1537.
- Lamsfus, C., B. Lasa, P.M. Aparicio y E. Irigoyen (2003). Implicaciones ecofisiológicas y agronómicas de la nutrición nitrogenada. En: M.J. Reigosa, N. Pedrol y A. Sánchez (eds), pp. 361-386. *La Ecofisiología Vegetal: Una Ciencia de Síntesis*. Ed. Paraninfo, S. A. Madrid, España. 780 p.
- Loomis, R.S. y D.J. Connor (2002). *Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios*. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid, España. 538 p.
- Maddonni, A.G., P. Vilarino y I.G. Salamone (2004). Dinámica de los nutrientes en el sistema suelo - planta. En: E. Satorre, R. Benech, G.A. Slafer, E. De la Fuente, D. Miralles, M.E. Otegui y R. Savin (eds), pp. 441-477. *Producción de Cultivos de Granos. Bases Multifuncionales para su Manejo*. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina. 783 p.
- Morales, R.E.J. y J.A. Escalante (2007). 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. *Terra Latinoamericana* 25: 373-381.
- Morales, R.E.J. y O. Franco (2009). Biomass, yield and land equivalent ratio of *Helianthus annuus* L. in sole crop and intercropped with *Phaseolus vulgaris* L. in high valleys of Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 431-439.
- Morales, R.E.J., O. Franco y A. González (2011). Snap bean production using sunflowers as living trellises in the central high valleys of Mexico. *Ciencia e Investigación Agraria* 38: 53-63.
- Quiroz, A.I. y R. Mulas (2005). Acumulación de NPK en tejido y su eficiencia de uso para la producción de granos, en una asociación de trigo (*Triticum aestivum*) y arveja (*Pisum sativum*). *Biagro* 17: 99-1008.
- Sánchez, G.J. (1995). El análisis biplot en clasificación. *Revista Fito-tecnia Mexicana* 18: 188-203.
- Sarandón, S.J. y M.A. Chamorro (2004). Policultivos en los sistemas de producción de granos. En: E. Satorre, R. Benech, G.A. Slafer, E. De la Fuente, D. Miralles, M.E. Otegui, y R. Savin (eds), pp. 353-370. *Producción de Cultivos de Granos. Bases Multifuncionales para su Manejo*. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina. 783 p.
- Schneiter, A.A. y J.F. Miller (1981). Description of sunflower growth stages. *Crop Science* 21: 901-903.
- Singh, J.K. (2007). Response of sunflower (*Helianthus annuus*) and french bean (*Phaseolus vulgaris*) intercropping to different row ratios and nitrogen levels under rainfed conditions of temperate Kashmir. *Indian Journal of Agronomy* 52: 36-39.
- Snyder, R.L. (1985). Hand calculating degree days. *Agricultural Forest Meteorology* 35: 353-358.
- Terradas, J. (2001). *Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Ed. Omega, Barcelona, España, 249 p.
- Tsubo, M., E. Mukhala, H.O. Ogindo y S. Walker (2003). Productivity of maize-bean intercropping in semi-arid region of South Africa. *Water* 29: 381-388.
- Vega, M.R., J.A. Escalante, P. Sánchez, E. Cuenca y C. Ramírez (2001). Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población. *Terra Latinoamericana* 19: 75-81.