

TASA DE ASIMILACIÓN NETA Y RENDIMIENTO DE GIRASOL EN FUNCIÓN DE UREA Y UREA DE LIBERACIÓN LENTA

NET ASSIMILATION RATE AND SUNFLOWER SEED YIELD AS A FUNCTION OF UREA AND SLOW RELEASE UREA

E. Javier Morales Morales¹, E. Jesús Morales-Rosales^{2*}, Ernesto Díaz-López³, A. Josefina Cruz-Luna¹, Norma Medina-Arias¹, Mario Guerrero-De la Cruz¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario El Cerrillo Piedras Blancas. 50200. Toluca, Estado de México. México. ²Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario El Cerrillo Piedras Blancas. 50200 Municipio de Toluca, Estado de México, C.P. , México. ³Ingeniería en Agroindustrias, Universidad de la Cañada. UNCA. Carretera Teotitlán-San Antonio Nanahuatipam Km. 1.7. 68540. paraje Titlacuatitla, Teotitlán de Flores Magón, Oaxaca. México.

RESUMEN

El nitrógeno es un nutrimento que incrementa el crecimiento, la duración del área foliar y la fotosíntesis del cultivo, características que permiten al girasol (*Helianthus annuus* L.) aumentar el rendimiento de semilla por unidad de superficie. El objetivo del presente estudio fue evaluar la tasa de asimilación neta, el rendimiento y sus principales componentes en dos cultivares de girasol (Periquero y Victoria) en función de dos tipos de urea (urea común y urea de liberación lenta) y tres dosis de N (40, 80 y 120 kg N ha⁻¹), en tres localidades del Estado de México (Toluca, Balderas y Chalco). El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo factorial. Los 36 tratamientos resultaron de las combinaciones de las tres localidades, los dos cultivares, los dos tipos de urea y los tres niveles de nitrógeno. Los datos se analizaron con ANDEVA y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba DSH ($p \leq 0.05$). Para conocer la relación entre el rendimiento de semilla y la tasa de asimilación neta se calculó la regresión lineal simple. El análisis de los resultados indicó que en Chalco el girasol rindió (732.0 g m⁻²) más que Toluca (285.9 g m⁻²) y Balderas (467.0 g m⁻²), debido a la mayor tasa de asimilación neta (0.89 g dm⁻² d⁻¹); Victoria, con rendimiento promedio de 508.2 g m⁻² e índice de cosecha de 0.33, fue superior a Periquero en 5.1 % y 11.76 %, respectivamente. Con urea común se alcanzó una producción promedio de grano de 508 g m⁻², superior en 5.2 % al obtenido con urea de liberación lenta. La mejor dosis en este estudio fue 120 kg N ha⁻¹ ya que su rendimiento promedio fue 541.5 g m⁻². Se concluye que la tasa de asimilación neta afectó

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: noviembre, 2014. Aprobado: enero, 2015.

Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 49: 163-176. 2015.

ABSTRACT

Nitrogen is a nutrient which increases growth, leaf area duration and crop photosynthesis, characteristics that permit sunflower (*Helianthus annuus* L.) to increase seed yield per surface unit. The objective of the present study was to evaluate the net assimilation rate, yield and principal components in two sunflower cultivars (Periquero and Victoria) as a function of two types of urea (common urea and slow release urea), and three doses of N (40, 80 and 120 kg N ha⁻¹), in three localities of the Estado de México (Toluca, Balderas and Chalco). The experimental design was complete randomized blocks with factorial arrangement. The 36 treatments resulted from the combinations of the three localities, the two cultivars, the two types of urea and the three nitrogen levels. The data were analyzed with ANOVA and treatments means, were compared with the DSH test ($p \leq 0.05$). In order to know the relationship between seed yield and the net assimilation rate, simple linear regression was calculated. The analysis of the results indicated that in Chalco the sunflower yielded (732.0 g m⁻²) more than Toluca (285.9 g m⁻²) and Balderas (467.0 g m⁻²) due to the higher net assimilation rate (0.89 g dm⁻² d⁻¹); Victoria, with average yield of 508.2 g m⁻² and harvest index of 0.33, was higher than Periquero by 5.1 % and 11.76 %, respectively. With common urea average grain production was 508 g m⁻² were compared, 5.2 % higher than that obtained with slow release urea. The best dose in this study was 120 kg N ha⁻¹, because its average yield was 541.5 g m⁻². It is concluded that net assimilation rate positively affected seed yield, since the regression equation $y = 217.8 + 308.2 (x)$ ($r^2 = 0.69$) means that for each unit of increment in net assimilation rate, yield increases 308.2 g m⁻².

positivamente el rendimiento de semilla, porque la ecuación de regresión $y = 217.8 + 308.2(x)$ ($r^2 = 0.69^{}$) significa que por cada unidad de incremento en la tasa de asimilación neta, el rendimiento aumenta 308.2 g m^{-2} .**

Palabras clave: *Helianthus annuus* L., fertilización nitrogenada, urea con polímero, índice de cosecha.

INTRODUCCIÓN

En México, el girasol (*Helianthus annuus* L.) se produce en los estados de Baja California, Durango, Jalisco, Nayarit, Sonora y Tamaulipas, con una superficie de 1200 ha y una producción de 700 t, esto es un rendimiento de 583.3 kg ha^{-1} (Olalde-Gutiérrez *et al.*, 2000). La evaluación de cultivares de girasol en diferentes localidades y el manejo de fertilizante nitrogenado son estrategias que pueden utilizarse para incrementar la producción de biomasa y el rendimiento de este cultivo (Aguilar-García *et al.*, 2005).

El nitrógeno, después del agua, es el factor de crecimiento más importante para las plantas cultivadas, influye en la producción vegetal cuantitativa y cualitativamente, favorece el crecimiento vegetativo de los tejidos, aumenta el área foliar y la tasa fotosintética (Feoli *et al.*, 1993; González *et al.*, 2003). De la urea producida en el mundo 90 % se emplea como fertilizante y se aplica al suelo; también se utiliza la urea de bajo contenido de biuret (menor de 0.03 %) como fertilizante de uso foliar. Cuando la urea permanece mucho tiempo en el terreno se pierde una proporción de N aplicado por la volatilización de amonio (NH_3) y se reduce su efecto nutricional. Esta pérdida de N puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales (Ferraris *et al.*, 2009).

Hay fuentes de fertilización de liberación lenta que suministran N durante toda la estación de crecimiento del cultivo y poseen ventajas sobre las fuentes convencionales de N, como liberación de N por varios meses, disminución de la lixiviación de nitratos en el agua del suelo y menor pérdida de N por volatilización y desnitrificación (Lamsfus *et al.*, 2003). Los inhibidores de la ureasa retrasan la velocidad de conversión de la urea a amonio; si la tasa de conversión es lenta, se reduce la volatilización del amoníaco. Estos son los fertilizantes estabilizados, cuyos resultados son satisfactorios en varios cultivos y no afectan las propiedades biológicas del suelo (Banerjee *et al.*, 1999).

Key words: *Helianthus annuus* L., nitrogen fertilization, polymer urea, harvest index.

INTRODUCTION

In México, sunflower (*Helianthus annuus* L.) is produced in the states of Baja California, Durango, Jalisco, Nayarit, Sonora and Tamaulipas, with a surface of 1200 ha and a production of 700 t, with a yield of 583.3 kg ha^{-1} (Olalde-Gutiérrez *et al.*, 2000). The evaluation of sunflower cultivars in different localities and the management of nitrogen fertilizer are strategies that can be used to increment the biomass production and yield of this crop (Aguilar-García *et al.*, 2005).

After water, nitrogen is the most important growth factor for cultivated plants. It influences quantitative and qualitative plant production, favors vegetative growth of tissues, increases leaf area and photosynthesis rate (Feoli *et al.*, 1993; González *et al.*, 2003). Of the urea produced in the world, 90 % is used as fertilizer and is applied to soil. Urea of low biuret content (less than 0.03 %) is also used as foliar fertilizer. When the urea remains for a long time in the soil a proportion of applied N from the volatilization of ammonia (NH_3) and its nutritional effect is reduced. This loss of N may be the principal cause of the low efficiency of some ammonia fertilizers (Ferraris *et al.*, 2009).

There are sources of slow release fertilization that supply N throughout the crop growth period which have advantages over the conventional sources of N, such as release of N over several months, reduction of lixiviation of nitrates in the soil water and lower loss of N from volatilization and de-nitrification (Lamsfus *et al.*, 2003). The inhibitors of urease delay the conversion velocity of urea to ammonia. If the conversion rate is slow, volatilization of the ammoniac is reduced. These are the stabilized fertilizers, whose results are satisfactory in several crops and do not affect the biological properties of the soil (Banerjee *et al.*, 1999).

Net assimilation rate (NAR) is a measure of the efficiency of the foliage, which is the principal source of photoassimilates for the production of dry matter. This index registers the velocity of net photosynthesis in a lapse of time, thus it is important to know the change of the values of the leaf area and dry weight of the plant, expressed in $\text{g dm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Morales-Rosales *et al.*, 2011).

La tasa de asimilación neta (TAN) es una medida de la eficiencia del follaje, que es la principal fuente de fotoasimilados para la producción de materia seca. Este índice registra la velocidad de la fotosíntesis neta en un lapso de tiempo, y se debe conocer el cambio de los valores del área foliar y el peso seco de la planta, expresado en $\text{g dm}^{-2} \text{d}^{-1}$ (Morales-Rosales *et al.*, 2011).

El rendimiento es un conjunto de variables, o componentes, que en girasol corresponden a características propias de la fase reproductiva del cultivo en su mayor parte: número de capítulos por unidad de superficie, número de frutos maduros desarrollados en el capítulo y peso individual de los frutos. El girasol cultivado es una especie con un capítulo único. El número de capítulos por unidad de superficie resulta del número de plantas por unidad de superficie capaces de desarrollar esta inflorescencia, mientras que el número de frutos llenos por capítulo resultará de las flores producidas sobre el receptáculo que son fecundadas y desarrollan la semilla, es decir, que no abortan (Hernández, 2004; Karam *et al.* 2007).

Las aplicaciones de fertilizante nitrogenado a cultivares de girasol en diferentes ambientes aumentan la producción de biomasa, el rendimiento de semilla m^{-2} , el número de semillas m^{-2} , el tamaño de capítulo, el peso de 100 semillas y el porcentaje de semillas llenas por capítulo (Aguilar-García *et al.*, 2005; Vega-Muñoz *et al.*, 2001; Olalde-Gutiérrez *et al.*, 2000). Sin embargo, no existen antecedentes sobre la fertilización de esta oleaginosa con urea de liberación lenta, la cual probablemente incrementaría el rendimiento de semilla por unidad de superficie.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la tasa de asimilación neta, el rendimiento y sus principales componentes en dos cultivares de girasol en respuesta a dos tipos de urea y a tres dosis de nitrógeno en tres localidades del Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones generales del área de estudio

La investigación se efectuó en el 2012 en tres localidades del Estado de México: Toluca, Balderas y Chalco. Toluca se ubica a $19^{\circ} 24' \text{N}$, $99^{\circ} 54' \text{O}$, y 2611 m de altitud, su clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano y escasa precipitación pluvial en invierno, la precipitación media anual es 900 mm y su temperatura media anual es 12.8°C . La concentración inicial de N

Yield is a set of values or components, which in sunflower correspond to characteristics of the reproductive phase of the crop for the most part: number of capitulum per surface unit, number of mature fruits developed in the capitulum and individual weight of the fruits. Cultivated sunflower is a species with a single capitulum. The number of capitulum per surface unit results from the number of plants per surface unit capable of developing this inflorescence, while the number of full fruits per capitulum will result from the flowers produced on the receptacle which are fertilized and develop the seed, that is, which are not aborted (Hernández, 2004; Karam *et al.*, 2007).

The applications of nitrogen fertilizer to sunflower cultivars in different environments increase biomass production, seed yield m^{-2} , size of the capitulum, weight of 100 seeds and the percentage of full seeds per capitulum (Aguilat-García *et al.*, 2005; Vega-Muñoz *et al.*, 2001; Olalde-Gutiérrez *et al.*, 2000). However, there are no antecedents of the fertilization of this oilseed with slow release urea, which would probably increase seed yield per surface unit.

The objective of the present study was to evaluate net assimilation rate, yield and its principal components in two sunflower cultivars in response to two types of urea and three doses of nitrogen in three localities of the Estado de México.

MATERIALS AND METHODS

General conditions of the area of study

The investigation was carried out in 2012 in three localities of the Estado de México: Toluca, Balderas and Chalco. Toluca is located at $19^{\circ} 24' \text{N}$, $99^{\circ} 54' \text{W}$, and 2611 m altitude. Its climate is temperate sub-humid, with rains in summer and scant rainfall in winter; mean annual rainfall is 900 mm and mean annual temperature is 12.8°C . The initial concentration of inorganic N in soil was 51.3 kg ha^{-1} (in the three localities it was determined by the Kjeldahl method). Balderas is located at $18^{\circ} 39' \text{N}$, $99^{\circ} 31' \text{W}$, and 2600 m altitude. Its climate is temperate sub-humid with rains in summer (1205 mm mean annual rainfall), and average annual temperature 14.6°C . The initial concentration of inorganic N in soil was 50.7 kg ha^{-1} . Chalco is located at $19^{\circ} 09' \text{N}$ and $90^{\circ} 58' \text{W}$, with a mean altitude of 2550 m. Climate is temperate sub-humid with a long summer, with annual rainfall of 800 mm and mean annual temperature of 15.6°C . The initial concentration of inorganic N in soil was 47.8 kg ha^{-1} .

inorgánico en el suelo fue 51.3 kg ha^{-1} (en las tres localidades se determinó por el método de Kjeldahl). Balderas se localiza a $18^{\circ} 39' \text{ N}$, $99^{\circ} 31' \text{ O}$, y 2600 m de altitud, su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (1205 mm de precipitación media anual), y temperatura promedio anual de 14.6°C . La concentración inicial de N inorgánico en el suelo fue 50.7 kg ha^{-1} . Chalco se ubica a $19^{\circ} 09' \text{ N}$ y $90^{\circ} 58' \text{ O}$, con una altitud media de 2550 m, el clima es templado subhúmedo con verano largo, con precipitación pluvial anual de 800 mm y temperatura media anual de 15.6°C . La concentración inicial de N inorgánico en el suelo fue 47.8 kg ha^{-1} inorgánico.

Estructura del experimento de campo y material genético

En cada localidad, el área experimental tenía parcelas de cuatro surcos, de 0.80 m de ancho y de 5 m de largo; la parcela experimental útil consistió de los dos surcos centrales, eliminando 0.5 m de la orilla de cada surco, para minimizar el efecto de borde. Los tratamientos surgieron del arreglo factorial de los factores A, B, C y D: A fue localidades (L) y era cada uno de los sitios experimentales; B fue los dos cultivares (C) de girasol, Victoria (material mejorado genéticamente) y Periquero (material criollo); C fue urea (U), con urea común y urea de liberación lenta; D fue las dosis de urea (D), con 40, 80 y 120 kg ha^{-1} . Hubo 36 tratamientos en cada sitio experimental y el diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Conducción del experimento

La investigación se realizó bajo condiciones de secano, en cada localidad se hizo un barbecho, rastreo y surcado, y la siembra fue manual depositando tres semillas por mata y una vez germinadas se aclaró a una sola planta, con una distancia de 0.3 m entre plantas y $41\ 667 \text{ plantas ha}^{-1}$. La siembra se efectuó el 28, 29 y 30 de mayo de 2012, en Toluca, Balderas y Chalco, respectivamente. La fertilización nitrogenada se realizó de acuerdo con los tratamientos; la urea común se aplicó la mitad al momento de sembrar y la otra mitad en la escarda. La urea de liberación lenta se suministró al sembrar. Además, en todas las unidades experimentales se adicionó $90 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ con superfosfato de calcio triple (46 % P_2O_5). El control de maleza se realizó a mano y con azadón. No se aplicaron insecticidas, ni fungicidas.

Variables de estudio

Al inicio de floración: 1) Número de hojas verdes (NHV), en cada tratamiento se cortaron cinco plantas de la parcela útil y se contó el número de hojas verdes completamente expandidas y se determinó el promedio. 2) Área foliar (AF), las hojas de

Structure of the field experiment and genetic material

In each locality, the experimental area had plots of four rows of 0.80 m wide and 5 m long. The useful experimental plot consisted of the two central rows, eliminating 0.5 m of the edge of each row to minimize the edge effect. The treatments resulted from the factorial arrangement of factors A, B, C and D: A was localities (L) and was each one of the experimental sites; B was the two sunflower cultivars (C), Victoria (genetically improved material) and Periquero (native material); C was urea (U), with common urea and slow release urea; D was the dose of urea (D), with 40, 80 and 120 kg ha^{-1} . There were 36 treatments in each experimental site and the experimental design was of complete randomized blocks with three replicates.

Conduction of the experiment

The investigation was carried out under rainfed conditions. In each locality plowing, raking and furrowing were made, and planting was manual, depositing three seeds per hill. Once they had germinated, they were thinned to a single plant, with a distance of 0.3 m between plants and $41\ 667 \text{ plants ha}^{-1}$. Planting was made the 28, 29 and 30 of May of 2012, in Toluca, Balderas and Chalco, respectively. Nitrogen fertilization was applied according to the treatments; common urea was applied half at the moment of planting and the other half at weeding. Slow release urea was applied at the moment of planting. Furthermore, in all of the experimental units $90 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ was added with triple calcium superphosphate (46 % P_2O_5). Weed control was carried out manually with a hoe. No insecticides or fungicides were applied.

Study variables

At the onset of flowering: 1) Number of green leaves (NGL), in each treatment five plants were cut from the useful plot and the number of completely green leaves were counted, and the average was determined. 2) Leaf area (LA), the leaves of the sampled plants were measured with leaf area integrator Li-Cor 3100, its average was determined and expressed in square decimeters (dm^{-2}). 3) Leaf area index (LAI), with the leaf area and the number of plants m^{-2} was calculated using the ratio:

$$IAF = \frac{(AF)(DP)}{AS}$$

where PD is plant density and SA is sown area (Morales-Rosales *et al.*, 2011). 4) Net assimilation rate (NAR), with the leaf area and dry weight of the plant; this variable was determined with the following relationship:

las plantas muestreadas se midieron con un integrador de área foliar Li-Cor 3100, se determinó su promedio y se expresó en decímetros cuadrados (dm²). 3) Índice de área foliar (IAF), con el área foliar y el número de plantas m⁻² se calculó esta variable mediante la relación:

$$IAF = \frac{(AF)(DP)}{AS}$$

donde DP es densidad de plantas y AS área sembrada (Morales-Rosales *et al.*, 2011). 4) Tasa de asimilación neta (TAN), con el área foliar y el peso seco de la planta se determinó esta variable mediante la relación:

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

donde PS₂ y PS₁ son peso seco, AF₂ y AF₁ son el área foliar, log es el logaritmo natural del área foliar y t₂ y t₁ son tiempo (X₂ y X₁, valor final e inicial, en todos estos casos); esta variable se expresó en g dm⁻² d⁻¹ (Vernon y Allison, 1963; Morales-Rosales *et al.*, 2011).

A la cosecha, de cinco plantas con competencia completa de la parcela experimental útil, se evaluó: 5) Área de capítulo (AC), con una regla se determinó el diámetro de inflorescencia en dos sentidos, vertical y horizontal, se promedió, se expresó en cm, y con este dato se determinó el área del capítulo mediante la relación: AC=π r², donde π=3.1416 y r es el radio del capítulo. 6) Biomasa (BIO), determinada por la suma de la materia seca de tallo, hojas e inflorescencia que se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C hasta peso constante, y se expresó en g. 7) Peso de cien semillas (PCS), se contaron 100 semillas, se pesaron y el valor se expresó en g. 8) Rendimiento de semilla (REN), se pesó la semilla (que no estaba vana) de los cinco capítulos, se promedió y expresó como rendimiento de semilla en g m⁻². 9) Índice de cosecha (IC), se calculó como la relación entre el rendimiento de grano y la biomasa total (sin considerar la raíz), se expresó en decimales.

Análisis estadístico

Con los datos se realizó un ANDEVA combinado que integró los cuatro factores de estudio (localidades, cultivares, urea y dosis) y las medias se compararon con la prueba DSH (p≤0.05) (Steel y Torrie, 1992) usando SAS (SAS Institute, 2004). En las interacciones la DSH se aplicó así:

$$DSH = q_{t,N_t}(\alpha) \sqrt{\frac{CME}{n}}$$

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

where PS₂ and PS₁ are dry weight, LA₂ and LA₁ are leaf area, log is the natural logarithm of the leaf area and t₂ and t₁ are time (X₂ and X₁, final and initial value, in all these cases); this variable was expressed in g dm⁻² d⁻¹ (Vernon and Allison, 1963; Morales-Rosales *et al.*, 2011).

At harvest, of five plants with complete competence of the useful experimental plot, the following were evaluated: 5) Área of capitulum (AC), a ruler was used to determine the diameter of inflorescence in two ways, vertical and horizontal, which was averaged and expressed in cm. This data was used to determine the area of the capitulum with the following relationship; AC =π r², where π = 3.1416 and r is the radius of the capitulum. 6) Biomass (BIO), determined by the sum of the dry matter of the stem, leaves and inflorescence which were dried in a forced air oven at 60 °C until reaching constant weight, and was expressed in g. 7) Weight of one hundred seeds (WHS), 100 seeds were counted, weighed, and the value was expressed in g. 8) Seed yield (Y), seed was weighed (the seed that was not empty) of the five capitulum, averaged and expressed as seed yield in g m⁻². 9) Harvest index (HI) was calculated as the ratio between grain yield and total biomass (without considering root) and expressed in decimals.

Statistical analysis

The data was used to carry out a combined ANOVA which integrated the four factors of study (localities, cultivars, urea and dose) and the means were compared with the DSH test (p≤0.05) (Steel and Torrie, 1992) using SAS (SAS Institute, 2004). For interactions, DSH was applied as follows:

$$DSH = q_{t,N_t}(\alpha) \sqrt{\frac{CME}{n}}$$

(Gomez and Gomez, 1984); where N is the total number of observations, t number of levels of the factor, MSE is mean square error, q_{t,N_t} is distribution of the Studentized range in parameters t groups and N-t degrees of freedom and with the significance level α. To know the cause-effect relationship, the linear regression was calculated between seed yield and net assimilation rate.

(Gomez y Gomez, 1984); donde N es el número total de observaciones, t número de niveles del factor, n tamaño de muestra de cada nivel del factor, CME cuadrado medio del error, $q_{t,Nt}$ distribución del rango estudentizado en los parámetros t grupos y N-t grados de libertad y con el nivel de significancia α . Además se calculó la regresión lineal entre el rendimiento de semilla y la tasa de asimilación neta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

En el Cuadro 1 se observa que hubo diferencias significativas entre localidades, cultivares, urea y dosis, excepto para NHV, IAF, TAN, BIO, AC y PCS en los factores cultivares y urea; y en NHV, AC y PCS en el factor dosis. Las interacciones dobles fueron significativas en IAF, TAN, BIO e IC en localidad por cultivar (L×C); en NHV, BIO e IC en localidad por urea (L×U); en NHV, IAF, TAN y BIO en localidad por dosis (L×D); en IAF y TAN en cultivar por urea (C×U); en las variables AC, PCS y REN en cultivar por dosis (C×D); en IAF, TAN y REN en urea por dosis (U×D). Las interacciones triples y la cuádruple no fueron significativas. Los coeficientes de variación fueron bajos y oscilaron entre 8.8 y 22.1 %, para PCS y AC, respectivamente.

Comparación de medias

En Chalco el girasol presentó el mayor rendimiento de semilla, como consecuencia de los mejores promedios obtenidos en IAF (4.3), TAN (0.89 g dm² d⁻¹), BIO (2184 g m⁻²), AC (391.4 cm²) e IC (0.34) (Cuadro 1). Los datos climatológicos de las localidades en estudio no se presentan, pero la diferencia en el comportamiento de las variables pudiera atribuirse a la menor y mejor distribución de la precipitación pluvial durante la estación de crecimiento del cultivo en Chalco (500 mm), en relación con Toluca (800 mm) y Balderas (780 mm). Al respecto, López (2003) afirma que el girasol requiere un mínimo de 350 mm de lluvia bien distribuida durante todo su ciclo de cultivo. Lo ideal sería que la mayor parte de las lluvias correspondan con el periodo siembra-floración y un exceso de lluvia en este periodo afecta la fecundación, dando origen a granos vanos (Ávila, 2009). Después de la floración, el cultivo requiere menor cantidad de agua (precipitación pluvial alrededor de 100 mm),

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of variance

In Table 1 it is observed that there were significant differences among localities, cultivars, urea and doses, with the exception of NGL, LAI, NAR, BIO, AC and WHS in the factors cultivars and urea; and in NGL, AC and WHS in the dose factor. The double interactions were significant in LAI, NAR, BIO and HI in locality times cultivar (L×C); in NGL, BIO and HI in locality times urea (L×U); in NGL, LAI, NAR and BIO in locality times dose (L×D); in LAI and NAR in cultivar times urea (C×U); in the variables AC, WHS and Y in cultivar times dose (C×D); in LAI, NAR and Y in urea times dose (U×D). The triple and quadruple interactions were not significant. The coefficients of variation were low and fluctuated between 8.8 and 22.1 %, for WHS and AC, respectively.

Comparison of means

At Chalco the sunflower presented the highest seed yield, as a consequence of the best averages obtained in LAI (4.3), NAR (0.89 g dm² d⁻¹), BIO (2184 g m⁻²), AC (391.4 cm²) and HI (0.34) (Table 1). The climatological data of the localities in the study are not shown, but the difference in the behavior of the variables could be attributed to the lower and better distribution of rainfall presented during the growth season of the crop in Chalco (500 mm), with respect to Toluca (800 mm) and Balderas (780 mm). To this respect, López (2003) affirms that sunflower requires a minimum of 350 mm of well distributed rainfall throughout its crop cycle. Ideally most of the rains would correspond to the planting-flowering period and an excess of rain in this period affects fecundation, resulting in empty seeds (Ávila, 2009). After flowering, the crop requires less water (rainfall of approximately 100 mm), which favors grain formation. As the achene matures a dry environment is preferable.

The Victoria cultivar, with Y of 508.2 g m⁻², surpassed Periquero in seed production by 5.1 % which was due to the higher HI of Victoria (genetically improved material), suggesting a higher translocation of assimilates to the seed which permits it to increase yield (Ortegón and Díaz, 1999). The HI of Victoria

Cuadro 1. Análisis de varianza y prueba de medias de las variables número de hojas verdes (NHV), índice de área foliar (IAF), tasa de asimilación neta (TAN), biomasa (BIO), área de capítulo (AC), peso de cien semillas (PCS), rendimiento de semilla (REN) e índice de cosecha (IC) de girasol, para los factores localidades (L), cultivares (C), urea (U) y dosis (D). Verano de 2012.

Table 1. Analysis of variance and test of means of the variables number of green leaves (NGL), leaf area index (LAI), net assimilation rate (NAR), biomass (BIO), area of capitulum (AC), weight of one hundred seeds (WHS), seed yield (Y) and harvest index (HI) of sunflower, for the factors localities (L), cultivars (C), urea (U) and dose (D). Summer, 2012.

Factor	NHV (m ²)	IAF	TAN (g m ⁻² d ⁻¹)	BIO (g m ⁻²)	AC (cm ²)	PCS (g)	Ren (g m ⁻²)	IC
Localidad (L)	***	***	***	***	***	***	***	**
Toluca	26.0 b [†]	0.6 b	0.22 c	942 c	123.4 b	7.4 c	285.9 c	0.32 b
Balderas	22.7 c	4.2 a	0.69 b	1588 b	363.6 a	13.0 a	467.0 b	0.30 b
Chalco	34.4 a	4.3 a	0.89. a	2184 a	391.4 a	11.9 b	732.0 a	0.34 a
DSH _{0.05}	0.45	0.21	2.0	95.9	36.5	0.54	32.5	0.02
Cultivar (C)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	**
Periquero	27.8 a	3.0 a	0.62 a	1586 a	291.7 a	10.8 a	482.3 b	0.30 b
Victoria	27.4 a	3.1 a	0.58 a	1557 a	293.9 a	10.7 a	508.2 a	0.33 a
DSH _{0.05}	0.3	0.15	0.08	65.2	24.8	0.36	22.1	0.02
Urea (N)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	***
Común	27.3 a	3.1 a	0.6 a	1582 a	295.2 a	10.8 a	508.0 a	0.34 a
Urea LL	27.7 a	2.9 a	0.7 a	1547 a	286.5 a	10.8 a	482.0 b	0.30 b
DSH _{0.05}	0.34	0.2	0.16	72.8	27.7	0.4	20.2	0.02
Dosis (D)	NS	***	***	***	NS	NS	***	*
40 kg ha ⁻¹	27.7 a	2.7 b	0.52 b	1527 b	295.5 a	10.6 a	446.8 c	0.30 a
80 kg ha ⁻¹	26.8 a	3.2 a	0.56 ab	1538 b	296.6 a	11.1 a	497.5 b	0.33 b
120 kg ha ⁻¹	28.6 a	3.4 a	0.69 a	1650 a	286.3 a	10.7 a	541.5 a	0.33 a
DSH _{0.05}	0.45	0.22	0.15	95.9	36.5	0.5	32.5	0.02
L*C	NS	*	*	*	NS	NS	NS	*
L*U	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	*
L*D	*	***	***	*	NS	NS	NS	NS
C*U	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	NS
C*D	NS	NS	NS	NS	**	**	*	NS
U*D	NS	***	***	NS	NS	NS	***	NS
L*C*U	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
L*C*D	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C*U*D	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
L*C*U*D	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	12.2	12.6	12.8	10.8	22.1	8.8	11.6	15.1

[†]Valores medios de tratamientos con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) ♦ Mean values of treatments with different letter within a column are statistically different ($p \leq 0.05$).

CV: coeficiente de variación ♦ coefficient of variation.

*** $p \leq 0.001$, ** $p \leq 0.01$, * $p \leq 0.01$, NS: no significativo ♦ NS: not significant.

lo cual favorece la formación de grano. Al entrar a la madurez el aquenio es preferible un ambiente seco.

El cultivar Victoria, con REN de 508.2 g m⁻², superó a Periquero en la producción de semilla en 5.1 %, lo cual se debió al mayor IC de Victoria (material mejorado genéticamente), que sugiere una mayor translocación de asimilados hacia la semilla y le permite aumentar su rendimiento (Ortegón y Díaz, 1999). Los IC de Victoria (0.33) y Periquero (0.30)

(0.33) and Periquero (0.30) were higher than those reported by Vega-Muñoz *et al.* (2001), in an assay where the amount of nitrogen was varied (0 to 100 kg N ha⁻¹) and the number of plants of Victoria sunflower (5.7 to 11.4 plants m⁻²); they reported HI values between 0.20 and 0.25.

The initial level of inorganic nitrogen at the moment of planting was similar in the three experimental sites, 51.3, 50.7 and 47.8 kg N ha⁻¹

fueron superiores a los reportados por Vega-Muñoz *et al.* (2001), en un ensayo donde variaron la cantidad de nitrógeno (0 a 100 kg N ha⁻¹) y el número de plantas de girasol Victoria (5.7 a 11.4 plantas m⁻²), y los valores de IC fueron 0.20 a 0.25.

El nivel inicial de nitrógeno inorgánico al momento de sembrar fue similar en los tres sitios experimentales, 51.3, 50.7 y 47.8 kg N ha⁻¹ (Toluca, Balderas y Chalco, respectivamente). Así, las diferencias entre las variables podrían ser causadas por el tipo de urea y las dosis de nitrógeno aplicadas. La urea común influyó positivamente en el índice de cosecha (0.34) lo que propició un mayor rendimiento de semilla en relación con la urea de liberación lenta (0.30) (Cuadro 1). Aunque la disponibilidad de nitrógeno afecta la producción de biomasa, rendimiento de semilla e índice de cosecha en girasol, no se ha comprobado de manera fehaciente la liberación de N por varios meses de la urea estabilizada, que le permita a los cultivos aumentar el IC respecto a la urea común (Dreccer *et al.*, 2003).

Investigaciones con girasol muestran que aplicaciones mayores de urea común aumentan el rendimiento de semilla por unidad de superficie, la producción de biomasa y el índice de cosecha (Vivek *et al.*, 1994; Vega-Muñoz *et al.*, 2001). Sin embargo, es importante evaluar fertilizantes de liberación lenta para conocer si los incrementos en la producción de semilla de girasol son significativos y consistentes, además de las implicaciones ecológicas que tiene su uso en la producción agrícola (Sainz *et al.*, 1997).

La dosis de 120 kg N ha⁻¹ causó el rendimiento de grano más alto (541.5 kg ha⁻¹) superando en 8.1 y 17.5 % a 40 y 80 kg N ha⁻¹, respectivamente. Los promedios de rendimiento de grano en la presente investigación fueron superiores a la media nacional de esta oleaginosa en el 2008 (270.8 g m⁻²) (Financiera Rural, 2010), por lo cual este estudio confirma la importancia de aplicar N para aumentar el rendimiento de semilla por unidad de superficie. Estos resultados son parcialmente similares a los observados por Escalante *et al.* (2007) en condiciones de secano, en Iguala, Guerrero, al evaluar la Línea 58 de girasol, con una densidad de población de 4.93 plantas m⁻²; al aplicar 0, 40, 80 y 120 kg N ha⁻¹ ellos encontraron 232, 272, 305 y 412 g m⁻².

Díaz-Zorita (2000) indica que con el manejo agronómico de N se ha logrado un uso eficiente de este nutrimento que se refleja en la cantidad de grano

(Toluca, Balderas and Chalco, respectively). Thus, the differences between variables might be due to the type of urea and the doses of the nitrogen applied. Common urea has positive influence on harvest index (0.34), which resulted in a higher seed yield with respect to slow release urea (0.30) (Table 1). Although the availability of nitrogen affects biomass production, seed yield and harvest index in sunflower, the release of N for various months of stabilized urea allows crops to increase HI with respect to common urea, but it is not fully demonstrated (Dreccer *et al.*, 2003).

Research with sunflower show that higher applications of common urea increase seed yield per surface unit, biomass production and harvest index (Vivek *et al.*, 1994; Vega-Muñoz *et al.*, 2001). However, it is important to evaluate slow release fertilizers to know if the increments in sunflower seed production are significant and consistent, in addition to the ecological implications of its use in agricultural production (Sainz *et al.*, 1997).

The dose of 120 kg N ha⁻¹ caused the highest grain yield (541.5 kg ha⁻¹), surpassing by 8.1 and 17.5 %, 40 and 80 kg N ha⁻¹, respectively. The averages of grain yield in our study were higher than the national mean of this oilseed in 2008 (270.8 g m⁻²) (Financiera Rural, 2010); thus our study confirms the importance of applying N to increase seed yield per surface unit. These results are partially similar to those observed by Escalante *et al.* (2007) under rainfed conditions in Iguala, Guerrero, evaluating Line 58 of sunflower, with a population density of 4.93 plants m⁻²; when 0, 40, 80 and 120 kg N ha⁻¹ were applied, they found 232, 272, 305 and 412 gm⁻².

Díaz-Zorita (2000) indicates that with the agronomic management of N an efficient use of this nutrient has been achieved which is reflected in the amount of grain harvested. Besides, by applying 100 kg of N ha⁻¹ in sunflower in phenological stage V4 (4 pairs of leaves), seed yield is significantly increased.

Interaction cultivar × dose (C × D)

The dose of nutrient applied to each cultivar directly influenced the seed yield (Table 2). In Periquero with 120 kg N ha⁻¹ maximum seed yield was reached with 563.3 g m⁻², surpassing Periquero by 13.4 % 40 and 80 and Victoria 40. The weight of 100 seeds obtained by Periquero with 120 units of

cosechado. Además, al aplicar 100 kg de N ha⁻¹ en girasol en la fase fenológica V4 (4 pares de hojas), aumenta el rendimiento de semilla significativamente.

Interacción cultivar × dosis (C × D)

La dosis de nutrimento aplicado a cada cultivar influyó directamente en el rendimiento de semilla (Cuadro 2). En Periquero con 120 kg N ha⁻¹ se alcanzó el máximo rendimiento de semilla con 563.3 g m⁻² superando en 13.4 % a Periquero 40 y 80 y Victoria 40. El peso de cien semillas obtenido por Periquero con 120 unidades de nitrógeno parece ser el carácter que influyó más en la expresión de rendimiento de grano. En Victoria con 80 y 120 kg N ha⁻¹ el rendimiento fue similar (519.6 y 507.1 g m⁻², respectivamente), lo cual sugiere la utilización de menor cantidad de nutrimento por hectárea en la siembra de esta oleaginosa. Maddonni *et al.* (2003), en Argentina, encontraron que la respuesta del girasol a la fertilización nitrogenada es errática. La baja eficiencia en el uso del nitrógeno y la disminución del porcentaje de aceite en el aquenio, son aspectos que deben considerarse en la cantidad y fuente de fertilizante utilizado; dichos autores reportan un rendimiento de semilla de girasol de 503 g m⁻² al aplicar 81 kg N ha⁻¹.

Cuadro 2. Efecto de la interacción cultivar × dosis en las variables área de capítulo (AC), peso de 100 semillas y rendimiento de semilla (REN). Verano 2012.

Table 2. Effect of the interaction cultivar × dose on the variables area of capitulum (AC), weight of 100 seeds (WHS) and seed yield (Y). Summer, 2012.

Cultivar	Dosis (kg N ha ⁻¹)	AC (cm ²)	PCS (g)	REN (g m ⁻²)
Periquero	40	271.4 b	10.4 ab	473.4 b
	80	291.9 ab	10.9 ab	487.9 b
	120	311.7 ab	11.2 a	563.3 a
Victoria	40	260.8	10.7 ab	420.3 b
	80	301.4 a	11.2 a	519.6 ab
	120	319.9 a	10.3 b	507.1 ab
DSH _{0.05}		47.1	0.8	87.7

† Valores medios de tratamientos con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (DHS; p ≤ 0.05) ♦ Mean values of treatments with different letter in a column are statistically different (DHS; p ≤ 0.05).

nitrogen seems to be the character that influenced the most in the expression of grain yield. In Victoria with 80 and 120 kg N ha⁻¹, yield was similar (519.6 and 507.1 g m⁻², respectively), which suggests the utilization of a lower amount of nutrient per hectare in the planting of this oilseed. Maddonni *et al.* (2003), in Argentina, found that the response of sunflower to nitrogen fertilization is erratic. The low efficiency in the use of nitrogen and the reduction of the oil percentage in the achene are aspects that should be considered in the amount and source of fertilizer used; those authors report a yield of sunflower seed of 503 g m⁻² when applying 81 kg N ha⁻¹.

Interaction urea × dose (U×D)

The application of 80 kg N ha⁻¹ of slow release urea increased seed production with respect to the dose of 40 Kg N ha⁻¹ (Table 3). This result differs from what was observed by Guelfi-Silva *et al.* (2011) in the maize hybrid AG 3051, given that there were no significant differences with 120 kg N ha⁻¹ of urea and 120 kg N ha⁻¹ of slow release urea; the yield of this cereal was 11.89 and 11.25 t ha⁻¹ with urea and slow release urea, respectively. However, it is necessary to carry out further studies on the dose and period of application of slow release urea in sunflower, because the scant efficiency of conversion of the common fertilizer (3 kg of sunflower grain per kg of added N does not contribute to the adoption of fertilization with common urea by farmers (Dreccer *et al.*, 2003). In this sense, the volatilization of ammonia to the atmosphere may be the principal cause of the low efficiency of some ammonia fertilizers (Ferraris *et al.*, 2009).

Interaction locality × cultivar (L×C)

The sunflower cultivars showed different values in the variables LAI, NAR and HI when the locality was changed (Table 4). In Balderas and Chalco LAI was favored in both cultivars; and in Chalco and Toluca, Periquero showed the maximum value in NAR (0.99 g dm⁻²d⁻¹) and in HI (0.36). The changes in these variables can be attributed to the different adaptation of each cultivar to the study zone. In Chalco the HI in Periquero was due to a higher net assimilation rate, while in Victoria the HI was influenced by a higher leaf area index. These results are partially similar to

Interacción urea × dosis (U×D)

La aplicación de 80 kg N ha⁻¹ de urea de liberación lenta aumentó la producción de semilla respecto la dosis de 40 Kg N ha⁻¹ (Cuadro 3). Este resultado difiere del observado por Guelfi-Silva *et al.* (2011) en el híbrido de maíz AG 3051, ya que no hubo diferencias significativas con 120 kg N ha⁻¹ de urea y 120 kg N ha⁻¹ de urea de liberación lenta; el rendimiento de este cereal fue 11.89 y 11.25 t ha⁻¹ con urea y urea de liberación lenta, respectivamente. Pero es necesario realizar más estudios sobre la dosis y época de aplicación de urea de lenta liberación en girasol, ya que la poca eficiencia de conversión del fertilizante común (3 kg de grano de girasol por kg de N agregado) no contribuye a la adopción de la fertilización con urea común por los agricultores (Dreccer *et al.*, 2003). En este sentido, la volatilización del amonio hacia la atmósfera puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacaes (Ferraris *et al.*, 2009).

Interacción localidad × cultivar (L × C)

Los cultivares de girasol mostraron diferentes valores en las variables IAF, TAN e IC cuando cambiaron de localidad (Cuadro 4). En Balderas y Chalco se favoreció el IAF de ambos cultivares; en Chalco y Toluca, Periquero mostró el máximo valor en la TAN

Cuadro 3. Efecto de la interacción urea × dosis en las variables índice de área foliar (IAF), tasa de asimilación neta (TAN) y rendimiento de semilla (REN). Verano 2012.

Table 3. Effect of the interaction urea × dose in the variables leaf area index (LAI), net assimilation rate (NAR) and seed yield (Y). Summer, 2012.

Urea	Dosis (kg N ha ⁻¹)	IAF	TAN g dm ⁻² d ⁻¹	REN g m ⁻²
Común	40	2.66 b	0.54 b	451.6 c
	80	3.29 a	0.65 a	430.5 c
	120	3.27 a	0.74 a	538.9 ab
NBPT	40	2.66 b	0.53 b	495.9 bc
	80	2.67 b	0.68 a	589.2 a
	120	3.58 a	0.74 a	549.2 ab
DSH _{0.05}		0.58	0.09	70.1

[†]Valores medios de tratamientos con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (DHS; p≤0.05) ♦ Mean values of treatments with different letter in a column are statistically different (DHS; p≤0.05).

those reported by Aguilar-García *et al.* (2005), who suggest that the increment in biomass production of Victoria sunflower is due to the increase in leaf area and the production of photosynthates per leaf area unit.

Interaction locality × urea (L×U)

Both types of urea showed their highest effectiveness in Chalco. Common urea increased the amount of biomass and the number of leaves (although it did not differ statistically from slow release urea), whereas the urea with polymer showed the highest harvest index (0.39) (Table 5). Thus, this type of fertilizer in Chalco increased the distribution and assignation of assimilates toward agronomic yield. According to Cárcova *et al.* (2003), these changes in HI are due to the genotype, the environment and the interaction genotype×environment.

Interaction locality × dose (L×D)

Table 6 presents the interaction L × D, and with 120 kg N ha⁻¹ the NGL, LAI, NAR and BIO expressed their maximum values, which suggests that increments in the number of leaves, leaf area index and net assimilation rate result in a higher production of biomass. The application of N has direct effects on leaf expansion and consequently causes a higher LAI.

Cuadro 4. Efecto de la interacción localidad × cultivar en las variables índice de área foliar (IAF), tasa de asimilación neta (TAN) e índice de cosecha (IC). Verano 2012.

Table 4. Effect of the interaction locality × cultivar in the variables leaf area index (LAI), net assimilation rate (NAR) and harvest index (HI). Summer, 2012.

Localidad	Cultivar	IAF	TAN g dm ⁻² d ⁻¹	IC
Toluca	Periquero	0.56 b	0.25 c	0.36 a
	Victoria	0.74 b	0.29 c	0.27 b
Balderas	Periquero	4.31 a	0.64 b	0.29 b
	Victoria	4.13 a	0.75 b	0.30 ab
Chalco	Periquero	4.15 a	0.99 a	0.34 a
	Victoria	4.41 a	0.78 b	0.34 a
DSH0.05		0.68	0.15	0.04

[†]Valores medios de tratamientos con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (DHS; p≤0.05) ♦ Mean values of treatments with different letter in a column are statistically different (DHS; p≤0.05).

(0.99 g dm⁻² d⁻¹) y en el IC (0.36). Los cambios en estas variables se pueden atribuir a la diferente adaptación de cada cultivar a la zona de estudio. En Chalco el IC en Periquero se debió a una mayor tasa de asimilación neta, mientras que en Victoria el IC fue influenciado por un mayor índice de área foliar. Estos resultados son parcialmente similares a los reportados por Aguilar-García *et al.* (2005), quienes sugieren que el incremento de la producción de biomasa de girasol Victoria se debe al aumento del área foliar y a la producción de fotosintatos por unidad de área foliar.

Interacción localidad × urea (L×U)

Ambos tipos de urea mostraron su mayor efectividad en Chalco. La urea común aumentó la cantidad de biomasa y el número de hojas (pero no difirió estadísticamente de la urea de liberación lenta), mientras que la urea con polímero presentó el índice de cosecha más elevado (0.39) (Cuadro 5). Así, este tipo de fertilizante en Chalco aumentó la distribución y asignación de asimilados hacia el rendimiento agronómico. Según Cárcova *et al.* (2003), estos cambios en el IC se deben al genotipo, al ambiente y a la interacción genotipo × ambiente.

Interacción localidad × dosis (L × D)

En el Cuadro 6 se presenta la interacción L × D y con 120 kg N ha⁻¹ el NHV, IAF, TAN y BIO

Cuadro 5. Efecto de la interacción localidad × urea en las variables número de hojas verdes (NHV), biomasa (BIO) e índice de cosecha (IC). Verano 2012.

Table 5. Effect of the interaction locality × urea in the variables number of green leaves (NGL), biomass (BIO) and harvest index (HI). Summer, 2012.

Localidad	Urea	NHV (m ²)	BIO (g m ⁻²)	IC
Toluca	Común	25.2 c	980.9 e	0.28 b
	NBPT	27.3 b	842.7 f	0.40 a
Balderas	Común	22.4 d	1549.2 d	0.29 b
	NBPT	23.1 d	1691.8 c	0.31 b
Chalco	Común	34.7 a	2216.6 a	0.32 b
	NBPT	33.6 a	2102.5 b	0.39 a
DSH _{0.05}		0.97	41.2	0.04

† Valores medios de tratamientos con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes (DHS; p≤0.05) ♦ Mean values of treatments with different letter in each column are statistically different (DHS; p≤0.05).

Similarly, biomass production of a crop is due to the division and lengthening of cells of the differentiated organs, processes that result from the production and accumulation of photoassimilates (NAR) and mineral nutrients. The photoassimilates come from the fixation of the carbon dioxide, product of photosynthesis, which takes place principally in the lamina of the leaves (Cárcova *et al.*, 2003).

Interacción cultivar × urea (C × U)

Maddoni *et al.* (2003) indicate that although common urea presents low efficiency in the use of nitrogen (approximately 33 %), in our study when it is applied to the Victoria cultivar, it showed the highest averages of NAR (Table 7). According to González *et al.* (2003), the response of a crop to the application of a nutrient through fertilization involves both absorption and its utilization for the production of dry matter. The lack of response of a crop to nitrogen fertilization could be related to problems in the absorption of the chemical element, and the type of fertilizer used. In this sense, when slow release urea is applied to sunflower, the best moment for applying the inhibitor has not been

Cuadro 6. Efecto de la interacción localidad × dosis en las variables número de hojas verdes (NHV), índice de área foliar (IAF), tasa de asimilación neta (TAN) y biomasa (BIO). Verano 2012.

Table 6. Effect of the interaction locality × dose in the variables number of green leaves (NGL), leaf area index (LAI), net assimilation rate (NAR) and biomass (BIO). Summer, 2012.

Localidad	Dosis de N (kg ha ⁻¹)	NHV (m ²)	IAF	TAN (g dm ⁻² d ⁻¹)	BIO (g m ⁻²)
Toluca	40	28.6 c	0.60 c	0.19 d	987.5 d
	80	24.4 e	0.65 c	0.22 d	810.8 d
	120	26.5 d	0.69 c	0.27 d	1029.2 d
Balderas	40	22.7 ef	3.92 ab	0.36 d	1535.1 c
	80	22.8 ef	4.15 a	0.51 c	1599.5 c
	120	22.4 f	4.58 a	0.77 b	1631.7 c
Chalco	40	32.3 b	3.46 b	0.68 bc	2060.8 ab
	80	35.0 a	4.61 a	0.80 b	2204.3 ab
	120	36.1 a	4.78 a	1.19 a	2289.7 a
DSH _{0.05}		1.8	1.09	0.25	266.41

† Valores medios de tratamientos con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes (DHS; p≤0.05) ♦ Mean values of treatments with different letter in each column are statistically different (DHS; p≤0.05).

expresaron sus máximos valores, lo cual sugiere que incrementos en el número de hojas, índice de área foliar y tasa de asimilación neta, redundan en una mayor producción de biomasa. La aplicación de N tiene efectos directos en la expansión foliar y, como consecuencia, causa un mayor IAF. Asimismo, la producción de biomasa de un cultivo se debe a la división y el alargamiento celular de los órganos diferenciados, procesos que resultan de la producción y acumulación de fotoasimilados (TAN) y nutrientes minerales. Los fotoasimilados provienen de la fijación del bióxido de carbono, producto de la fotosíntesis, la cual tiene lugar principalmente en las láminas de las hojas (Cárcova *et al.*, 2003).

Interacción cultivar × urea (C × U)

Maddonni *et al.* (2003) indican que aunque la urea común presenta una eficiencia baja en el uso de nitrógeno (cerca de 33 %), en este estudio al ser aplicada al cultivar Victoria mostró los promedios más altos en TAN (Cuadro 7). Según González *et al.* (2003), la respuesta de un cultivo a la aplicación de un nutriente mediante la fertilización involucra absorción y su utilización para la producción de materia seca. La falta de respuesta de un cultivo a la fertilización nitrogenada puede estar relacionada con problemas en la absorción del elemento químico, como el tipo de fertilizante utilizado. En este sentido, cuando se suministra urea de lenta liberación

Cuadro 7. Efecto de la interacción cultivar × urea en las variables índice de área foliar (IAF) y tasa de asimilación neta (TAN). Verano 2012.

Table 7. Effect of the interaction cultivar × urea in the variables leaf area index (LAI) and net assimilation rate (NAR). Summer, 2012.

Cultivar	Urea	IAF	TAN (g dm ⁻² d ⁻¹)
Periquero	Común	3.02 a	0.70 ab
	NBPT	2.99 a	0.62 ab
Victoria	Común	3.13 a	0.74 a
	NBPT	2.49 b	0.61 b
DSH _{0.05}		0.27	0.12

† Valores medios de tratamientos con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes (DHS; p≤0.05) ♦ Mean values of treatments with different letter in each column are statistically different (DHS; p≤0.05).

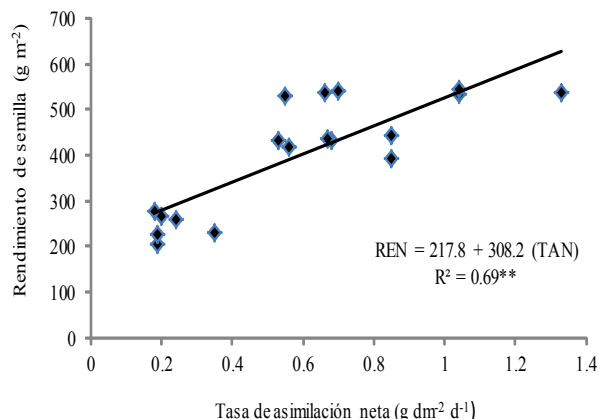


Figura 1. Relación entre el rendimiento de grano y tasa de asimilación neta de dos cultivares de girasol en Toluca, Balderas y Chalco, México (cada observación corresponde al promedio de las tres localidades).

Figure 1. Relationship between grain yield and net assimilation rate of two sunflower cultivars in Toluca, Balderas and Chalco, Mexico (each observation corresponds to the average of the three localities).

established, nor what the activity period is for this inhibitor in sunflower.

Relationship between net assimilation rate and seed yield

The NAR is an indicator of the average photosynthetic efficiency, given that it measures the net gain of assimilates per leaf area unit and per time unit. Consequently, the highest production of cultivated plants can be achieved by a higher photosynthetic efficiency (Santos-Castellanos *et al.*, 2010). The NAR was positively related with seed yield, which agrees with studies in sunflower (Aguilar-García *et al.*, 2005; Escalante-Estrada, 2001; López, 2003), potato (*Solanum tuberosum*) (Santos-Castellanos *et al.*, 2010) and maize (*Zea mays*) (Díaz-López *et al.*, 2013). The regression equation was $Y = 217.8 + 308.2 (NAR)$, that is, for each unit of increase in net assimilation rate, seed yield increased 308.2 g m⁻².

CONCLUSIONS

The cultivars evaluated responded differently to the dose of nitrogen applied. Thus, the maximum

en girasol, todavía no se establece cual es el mejor momento para aplicar el inhibidor y cual es periodo de actividad de dicho inhibidor en esta oleaginosa.

Relación entre la tasa de asimilación neta y el rendimiento de semilla

La TAN es un indicador de la eficiencia fotosintética promedio, ya que mide la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar y por unidad de tiempo. En consecuencia, la mayor producción de las plantas cultivadas puede alcanzarse por una mayor eficiencia fotosintética (Santos-Castellanos *et al.* 2010). La TAN se relacionó positivamente con el rendimiento de semilla, lo cual coincide con estudios en girasol (Aguilar-García *et al.*, 2005; Escalante-Estrada, 2001; López, 2003), papa (*Solanum tuberosum*) (Santos-Castellanos *et al.*, 2010) y maíz (*Zea mays*) (Díaz-López *et al.*, 2013). La ecuación de regresión fue $REN = 217.8 + 308.2 (TAN)$, es decir, por cada unidad de aumento en la tasa de asimilación neta el rendimiento de semilla aumentó en 308.2 g m^{-2} .

CONCLUSIONES

Los cultivares evaluados respondieron de manera diferente a la dosis de nitrógeno aplicada. Así, el máximo rendimiento de semilla se obtuvo con Periquero al aplicar la dosis más alta de nitrógeno y también con la dosis media de la urea de liberación lenta. La tasa de asimilación neta afectó positivamente el rendimiento, ya que por cada unidad de aumento en la tasa de asimilación neta, se obtiene un incremento en la producción de semilla.

LITERATURA CITADA

Aguilar-García L., J. A. Escalante-Estrada, L. Fucikovsky-Zak, L. Tijerina-Chávez, y E. Mark-Engleman. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra Latinoam.* 23: 303-310.

Ávila, M. J. 2009. Manual para el Cultivo de Girasol. Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Maracay, Venezuela. 55 p.

Banerjee, M. R., L. Burton D., and A. Gran C. 1999. Influence of urea fertilization and urease inhibitor on the size and activity of the soil microbial biomass under conventional and zero tillage at two sites. *Can. J. Soil Sci.* 79: 255-163.

Cárcova, J., Abeledo, G. L., y M. López. 2003. Análisis de la generación del rendimiento: Crecimiento, partición y componentes. *In: Satorre, H., R. Benech, G. Slafer, E. De la*

seed yield was obtained with Periquero when applying the highest dose of nitrogen, and also with the medium dose of slow release urea. Net assimilation rate positively affected yield, given that for each unit of increase in net assimilation rate, an increment in seed production is obtained.

—End of the English version—

---*---

Fuente, D. Miralles, M. Otegui, y R. Sávin (eds). Producción de Granos. Bases Funcionales para su Manejo. Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina. pp: 75-98.

Díaz-López E., J. M. Loeza-Corte1, J. M. Campos-Pastelín, E. J. Morales-Rosales, A. Domínguez-López, y O. Franco-Mora. 2013. Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia* 47: 135-246.

Díaz-Zorita, M. 2000. Efecto de dos momentos de aplicación de urea sobre la producción de grano de trigo en Buenos Aires. *Ciencia del Suelo* 18: 125-131.

Dreccer, M. F., A. R. Ruíz, A. G. Maddonni, y E. H. Satorre. 2003. Bases ecofisiológicas de la nutrición en los cultivos de grano *In: Satorre, H., R. Benech, G. Slafer, E. De la Fuente, D. Miralles, M. Otegui, y R. Sávin* (eds). Producción de Granos. Bases Funcionales para su Manejo. Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina. pp: 481-495.

Escalante, E., L., E., Y. Escalante E., y C. Linzaga L. 2007. La fertilización nitrogenada en el rendimiento del girasol en México. *Agron. Costarricense* 31: 95-100.

Escalante-Estrada, J. S. 2001. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y nitrógeno en girasol de humedad residual. *Terra* 19: 19-27.

Feoli, C., E., A. Schneiter A., and B. Johnson. 1993. Agronomic performance of dwarf, and conventional height sunflower hybrids grown at five plants population under rainfall conditions. *Helia* 16 (19): 19-30.

Ferraris, G., L. Couretot, y M. Toribio. 2009. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz en Pergamino. Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. *Inf. Agron. Cono Sur* 41: 1-10.

Financiera Rural. 2010. Monografía de la semilla de girasol. Abril 2010. pp: 1-6.

Gomez, K. A., y Gomez, A. A. 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd edition. John Wiley and Sons. USA. 704 p.

González, M., C., M. González B., y J. Estavillo M. 2003. Nitrógeno, agricultura y medio ambiente. *In: Reigosa, M., N. Pedrol, y A. Sánchez* (eds). La Ecofisiología Vegetal: Una Ciencia de Síntesis. Paraninfo, Vigo, España. pp: 387-412.

Guelfi-Silva D., R., A. Ferreira-Pereira, R. Liberato-Dourado, F. Pinto-Silva, F. William-Ávila, y V. Faquin. 2011. Produtividade e eficiência da adubação nitrogenada em milho sob

- doses de uréa comum e com NBPT. *Ciencias Agrotéc.* 35: 516-523.
- Hernández, F., L. 2004. Gestación de los componentes de rendimiento del girasol. *Agro UNS.* 1: 5-9.
- Karam F., R. Lahoud, R. Masaad, R. Kabalan, J. Breidi, C. Chailita, and Y. Roupheal. 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agric. Water Manage.* 90: 213-223.
- Lamsfús, C., B. Lasa P. Aparicio M., y I. Irigoyen. 2003. Implicaciones ecofisiológicas y agronómicas de la nutrición nitrogenada. *In: Reigosa, M., Pedrol, N., y A. Sánchez (eds). La ecofisiología Vegetal: Una ciencia de Síntesis.* Paraninfo, Vigo, España. pp: 361-386.
- López, L. 2003. *Cultivos Industriales.* Mundi-Prensa, Madrid, España. pp: 638-642.
- Maddonni, G. A., Vilarino, P., y I. García. 2003. Dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta. *In: Satorre, H., R. Benech, G. Slafer, E. De la Fuente, D. Miralles, M. Otegui, y R. Sávin (eds). Producción de Granos. Bases Funcionales para su Manejo.* Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina. pp: 75-98.
- Morales-Rosales E. J., O. Franco-Mora, and A. González-Huerta. 2011. Snap bean production using sunflowers as living trellises in the central high valleys of Mexico. *Cien. Inv. Agr.* 38: 53-63.
- Olalde-Guiterrez, V. M., J. A. Escalante-Estrada, P. Sánchez-García, L. Tijerina-Chávez, A. A. Mastache-Lagunas, y E. Carreño-Román. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra* 18: 313-323.
- Ortegón, S., A., y A. Díaz. 1999. Respuesta de cultivares de girasol a la densidad de población en dos ambientes. *Agron. Mesoam.* 10(2): 17-21.
- Sainz, R., H., H. E. Echeverría, G. A. Studdert, y F. H. Andrade. 1997. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 15: 12-16.
- Santos-Castellanos, M., M. Segura-Abril, y C. E. Núñez-López. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 63: 5253-5266.
- SAS Institute. 2004. *SAS/STAT User's Guide, Version 8.02.* SAS Institut, Cary, NC, USA. 479 p.
- Steel, R. G., y J. H. Torrie. 1992. *Bioestadística: Principios y Procedimientos.* 2a. ed. McGraw-Hill, México. 622 p.
- Vega-Muñoz, R., J. A. Escalante-Estrada, P. Sánchez-García, C. Ramírez-Ayala, y E. Cuenca-Adame. 2001. Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población. *Terra* 29: 75-81.
- Vernon, A. J., y Allison, J. C. 1963. A method of calculating net assimilation rate. *Nature* 200: 814-816.
- Vivek, I. S., Chakor, S., and Sharma, H. K. 1994). Effect of moisture regimes and nitrogen levels on seed yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Indian J. Agron.* 39(1): 140-145.