

Fuentes de nitrógeno en el crecimiento y producción de biomasa en maíz*

Nitrogen sources on growth and biomass production in maize

Jorge Arnaldo Orozco-Vidal¹, Rosibel Ramírez-Torres², Miguel Ángel Segura-Castruita¹, Pablo Yescas-Coronado¹, Radames Trejo-Valencia^{3§} y José Antonio Vidal-Alamilla⁴

¹Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro km 7.5. Ejido Anna, Municipio de Torreón, Coahuila, México. C. P. 27170. ²Maestría en Ciencias en Suelos. División de Estudios de Posgrado del Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro km 7.5. Ejido Anna, Municipio de Torreón, Coahuila, México. C. P. 27170. ³Instituto Tecnológico de Minatitlán. Bulevar Institutos Tecnológicos. Minatitlán, Veracruz. Tel. 922-22-243-45 Ext.433. ⁴Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Oaxaca # 134, Hermosillo, Sonora, México. C. P. 83040. Tel. 6622122049. [§]Autor para correspondencia: radamestv@hotmail.com.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar la dinámica de crecimiento y la eficiencia de producción y distribución de biomasa en un híbrido de maíz forrajero (HT9019Y) fertilizado con dos fuentes de nitrógeno (tradicional y de lenta liberación), a partir de muestreos vegetativos y reproductivos efectuados en diferentes etapas fenológicas. La siembra se realizó en el ciclo primavera-verano 2014. Las fuentes de nitrógeno se distribuyeron en un diseño experimental de bloques al azar con ocho repeticiones. En cuatro fechas diferentes (20, 40, 60 y 80 dds) se realizaron muestreos donde se colectaron dos plantas por unidad experimental para obtener datos de área foliar, peso seco total y peso seco de órganos vegetativos y fructíferos. Índices del crecimiento como la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), índice de área foliar (IAF), relación de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) y relación de peso foliar (RPF) fueron estimados con los datos obtenidos. Los resultados muestran que existió diferencia estadística significativa en los indicadores de la magnitud del aparato fotosintético (RAF y AFE) entre las fuentes de nitrógeno estudiadas, obteniendo los mejores resultados con la fuente de nitrógeno de lenta liberación (Ecology Nitrogen Technology). Así como también para la tasa de producción

Abstract

The objective of this research was to determine the dynamics of growth and efficiency of biomass production and distribution in a hybrid of forage maize (HT9019Y) fertilized with two nitrogen sources (traditional and slow release) from vegetative and reproductive samples made in different growth stages. Sowing was done in the spring-summer 2014. The sources of nitrogen were distributed in an experimental design of randomized blocks with eight repetitions. In four different dates (20, 40, 60 and 80 dds) samples where two plants were collected by experimental data unit for leaf area, total dry weight and dry weight of vegetative and fruitful organs were performed. Rates of growth and crop growth rate (CGR), net assimilation rate (NAR), leaf area index (LAI), leaf area ratio (RAF), specific leaf area (SLA) and leaf weight ratio (RPF) were estimated with the data. The results show that there was a significant statistical difference in indicators of the magnitude of the photosynthetic apparatus (RAF and AFE) between nitrogen sources studied, the best results with the source of slow release nitrogen (Nitrogen Ecology Technology). As well as to the production rate differences 262.4 g m⁻² to use the nitrogen source Entec, resulting in the final stages of growth increased speed of their metabolic processes and greater photosynthetic efficiency to obtain a TCC of 142.00 and Such of 48.75 gm⁻² d⁻¹, respectively.

* Recibido: agosto de 2015
Aceptado: enero de 2016

con diferencias de 262.4 g m^{-2} al utilizar la fuente de nitrógeno Entec, generando en sus últimas fases de crecimiento una mayor velocidad de sus procesos metabólicos y una mayor eficiencia fotosintética al obtener una TCC de 142.00 y una TAN de $48.75 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente.

Palabras clave: *Zea mays* L., TAN, IAF, fotoasimilados, nitrógeno de lenta liberación.

Introducción

En México, el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es el más importante por su superficie sembrada y valor de la producción; en el año del 2013 se reportaron 7.487 millones de hectáreas (SIAP, 2014). El rendimiento y la generación de biomasa aérea de este cultivo, están estrechamente relacionados y dependen de la cantidad de la radiación fotosintéticamente activa (Peil *et al.*, 2005), así como de la humedad y la disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Wojcik, 2001). Razón por la cual en suelos del Norte de México, con bajos contenidos de materia orgánica (<2%) y altas relaciones de carbono-nitrógeno (>10), provocan una disminución en la producción de materia seca por el escaso desarrollo del cultivo, poca duración del follaje y disminución de la eficiencia fotosintética de su área foliar (Cueto *et al.*, 2006).

Diferentes alternativas han sido implementadas con el fin de incrementar la eficiencia de la fertilización nitrogenada, una de ellas es la utilización de inhibidores de la nitrificación (Weiske *et al.*, 2001 y Barth *et al.*, 2001) que se añaden a los fertilizantes granulados, solubles o líquidos. Estos inhibidores contienen la molécula 3,4 - dimetilpirazolfosfato (DMPP), que inhabilitan temporalmente la acción de las bacterias nitrosomonas, de tal manera que retrasa la oxidación de NH_4^+ a NO_2 , e imposibilita la transformación a nitrato, lo que permite la disponibilidad de NH_4^+ , fuente importante en la nutrición nitrogenada de las plantas (Zerulla *et al.*, 2001), reduciendo las pérdidas por lixiviación (Irigoyen *et al.*, 2003) y considerándose de lenta liberación (Carrasco-Martín, 2002). La disponibilidad adecuada de fuentes de nitrógeno, humedad y radiación, contribuyen al incremento de la tasa fotosintética de las plantas, ya que se logran sintetizar los carbohidratos que posteriormente se distribuyen entre los diferentes órganos; esto permite el crecimiento vegetativo en las primeras etapas del cultivo, después en la floración y finalmente en el llenado de fruto, lo que se refleja en el rendimiento del cultivo (Maddoni y Otegui, 2006).

Keywords: *Zea mays* L., TAN, IAF, photoassimilates, slow release nitrogen.

Introduction

In Mexico, maize (*Zea mays* L.) is the most important value for their plantings and production area; in the year of 2013 reported 7.487 million hectares (SIAP, 2014). Performance and generation of biomass of this culture, are closely related and depend on the amount of photosynthetically active radiation (Peil *et al.*, 2005) as well as moisture and nitrogen availability in soil (Wojcik, 2001). Why in Northern Mexico soils with low organic matter content (<2%) and high carbon-nitrogen ratios (>10), causing a decrease in dry matter production by poor crop development, Foliage short duration and decrease in photosynthetic efficiency of the leaf area (Cueto *et al.*, 2006).

Different alternatives have been implemented in order to increase the efficiency of nitrogen fertilization, one is the use of nitrification inhibitors (Weiske *et al.*, 2001 and Barth *et al.*, 2001) that granular fertilizers are added soluble or liquid. These inhibitors contain the molecule 3,4 - dimetilpirazolfosfato (DMPP), temporarily disable the action of bacteria Nitrosomonas, so that delays the oxidation of NH_4^+ to NO_2 , and precludes the transformation nitrate, allowing availability of NH_4^+ , important in plant nitrogen nutrition (Zerulla *et al.*, 2001), reducing losses by leaching source (Irigoyen *et al.*, 2003) and considering release (Carrasco-Martín, 2002). Adequate availability of nitrogen sources, radiation and moisture contribute to increased plant photosynthetic rate as they are able to synthesize carbohydrates are subsequently distributed between different organs; This allows the vegetative growth in the early stages of cultivation, then in bloom and finally fruit filling, which is reflected in crop yield (Maddoni and Otegui, 2006).

A tool that allows assessment of crop development is the growth analysis (Sedano *et al.*, 2005). This technique is based on the ratio of dry weights of the plants and foliar part of its area over time (different stages of cultivation). This allows to determine the growth rate of the culture (Jarma *et al.*, 2010; Orozco *et al.*, 2011) and assimilation rate of photoassimilates (Ramírez- Seañez *et al.*, 2012). By estimating the efficiency indices as crop growth rate (TCC) and net assimilation rate (NAR). Also, calculate the components related to photosynthetic apparatus such

Una herramienta que permite la evaluación del desarrollo del cultivo, es el análisis de crecimiento (Sedano *et al.*, 2005). Esta técnica se basa en la relación de pesos secos de las plantas y de su parte área foliar a través del tiempo (diferentes etapas del cultivo). Esto permite determinar la velocidad de crecimiento del cultivo (Jarma *et al.*, 2010; Orozco *et al.*, 2011) y velocidad de asimilación de fotoasimilados (Ramírez-Seañez *et al.*, 2012), mediante la estimación de índices de eficiencia como la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y tasa de asimilación neta (TAN). Además, calcular los componentes relativos al aparato fotosintético como son la relación área foliar (RAF), relación peso foliar (RPF), índice de área foliar (IAF) y área foliar específica (AFE) (Escalante y Kohashi, 1993; Hunt, 2003). Al respecto, Sedano *et al.* (2005) indica que los índices y componentes permiten estudiar las relaciones entre la fuente de nutrientes y la demanda de los mismos.

Al considerar lo anterior es probable que la variación de las fuentes de nitrógeno en el cultivo de maíz genere un efecto positivo en la eficiencia fotosintética y asignación de fotoasimilados, lo cual se puede identificar mediante un análisis de crecimiento. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue identificar el efecto de dos fuentes de nitrógeno en el cultivo de maíz forrajero mediante la evaluación de la distribución de su biomasa y su dinámica de crecimiento, para determinar su eficiencia de producción.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en Torreón, Coahuila, México (25° 32' latitud norte, 103° 14' a 1 120 msnm). El suelo del área experimental fue un calcisol háplico (INEGI, 2000), cuya capa superficial tiene una clase textural franco arcillosa, su pH es de 8.33, C.E de 1.6 mS cm⁻¹, un P.S.I de 1.36, 0.089% de nitrógeno total y con 1.70% de materia orgánica. El híbrido utilizado fue el HT9019Y (de cruza simple, forrajero, grano amarillo y ciclo precoz). El cultivo se estableció en el ciclo primavera-verano del 2014, el arreglo topológico de las plantas fue de 0.76 m de separación entre surcos, y 15 cm entre plantas, obteniendo una densidad de población de 90 000 plantas por hectárea.

Dos tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con ocho repeticiones, donde la parcela experimental consistió en seis surcos de 12 metros de longitud y 0.76 m entre surcos. Se fertilizó con la dosis de 160-80-00 (N-P₂O₅-K₂O) a partir de dos fuentes de nitrógeno; la primera

as leaf area ratio (RAF), leaf weight ratio (FLR), leaf area index (IAF) and specific leaf area (SLA) (Escalante and Kohashi, 1993; Hunt, 2003). In this regard, Sedano *et al.* (2005) indicates that indexes and components allows to study relationships between nutrient supply and demand for them.

When considering the above variation likely sources of nitrogen in the maize generate a positive impact on photosynthetic efficiency and allocation of photoassimilates, which can be identified by analysis of growth. Therefore, the aim of this study was to identify the effect of two sources of nitrogen in the cultivation of forage maize by evaluating the distribution of biomass and its growth dynamics to determine their production efficiency.

Materials and methods

The work was done in Torreon, Coahuila, Mexico (25° 32' north latitude, 103° 14' to 1 120 m). The soil of the experimental area was a háplico calcisol (INEGI, 2000), the surface layer has a clay loam textural class, its pH is 8.33, CE 1.6 mS cm⁻¹, a PSI 1.36, 0.089% total nitrogen and with 1.70% organic matter. The hybrid used was HT9019Y (single cross, forage, yellow grain and early cycle). The culture was established in the spring-summer of 2014, the topological arrangement of plants was 0.76 m spacing between rows and 15 cm between plants, resulting in a population density of 90 000 plants per hectare.

Two treatments were distributed in a randomized block design with eight replications, where the experimental plot consisted of six rows of 12 meters in length and 0.76 m between rows. It was fertilized with the dose of 160-80-00 (N-P₂O₅-K₂O) from two nitrogen sources; traditional first (T), which consisted of the application of urea with a concentration of 46% nitrogen and second by applying a nitrogen product with 26% of a nitrification inhibitor (3,4-DMPP) of slow release ENTEC® (Ecology Nitrogen Technology). These two sources of nitrogen monoammonium phosphate (MAP: 11-52) was added as a source of phosphorus to complete the dose. Applying splitting 50% + 100% nitrogen phosphorus at planting and 50% nitrogen to the first auxiliary irrigation.

Four irrigations were applied by surface irrigation, applying a full sheet of 0.90 m; one of sowing and other assistance to the 40, 60 and 80 days after sowing (DAS), and that the

Tradicional (T), que consistió en la aplicación de urea con una concentración de 46% de nitrógeno y la segunda mediante la aplicación de un producto nitrogenado con el 26% de un inhibidor de la nitrificación (3,4-DMPP) de lenta liberación Entec® (Ecology Nitrogen Technology). A estas dos fuentes de nitrógeno se adicionó fosfato monoamónico (MAP: 11-52) como fuente de fósforo para completar la dosis. Aplicándose fraccionando el 50 % del nitrógeno + 100 % de fósforo en la siembra y 50 % de nitrógeno al primer riego de auxilio.

Cuatro riegos fueron aplicados mediante riego superficial, aplicando una lámina total de 0.90 m; uno de presiembra y el resto de auxilio a los 40, 60 y 80 días después de la siembra (dds), ya que los mejores rendimientos e índice de cosecha del maíz se obtienen con cuatro riegos (Reta *et al.*, 2000). Las plagas que se presentaron fueron araña roja la cual se controló biológicamente con *Chrysoperla carnea* en una liberación de 10 000 crisopas por hectárea, y gusano cogollero para el cual se aplicó Dimetoato 400 CE y Cipermetrina a razón de 0.25 L ha⁻¹. La presencia de malezas se controló mediante la aplicación del herbicida Faena®.

El registro de la dinámica de producción de materia seca (MS), se realizó mediante muestreos destructivos a los 20, 40, 60 y 80 días después de la siembra (dds). Cada muestreo consistió en la colecta de dos plantas con competencia completa, la muestra fue tomada de los dos surcos centrales en cada parcela experimental bajo la metodología propuesta por Radford (1967), Escalante y Kohashi (1993) y Hunt (2003). A cada planta se le separaron los órganos vegetativos (hojas y tallos) y los reproductivos. Posteriormente, cada uno de ellos se colocó en bolsas de papel, y se sometieron a secado en una mufla a temperatura constante (65 °C) durante 72 h, para obtener el peso de la MS. La suma de estos pesos representó el peso de la MS total por planta o rendimiento biológico (Escalante y Kohashi, 1993). El área foliar se determinó con un medidor de área LI-COR modelo L 1-3100. Con los valores de materia seca de las láminas foliares, materia seca total, área foliar y el tiempo entre muestreos se calcularon los índices de crecimiento siguientes (Sedano *et al.*, 2005):

$$TCC = (P_2 - P_1) / A (t_2 - t_1) \quad 1)$$

Donde= TCC es la tasa de crecimiento de cultivo (g/m²/ d); P₁ peso inicial de la materia seca; P₂ peso final de la materia seca; A es el área donde el peso seco fue registrado; t₁ tiempo inicial; t₂ tiempo final. Por medio de esta función se obtiene el incremento de biomasa por unidad de tiempo.

best yields and harvest index of corn are obtained with four irrigations (Reta *et al.*, 2000). Pests presented were red spider which biologically controlled release *Chrysoperla carnea* in 10 000 lacewings per hectare, and armyworm for which Dimethoate and Cypermethrin EC 400 was applied at 0.25 L ha⁻¹. The presence of weeds are controlled by applying the herbicide Faena®.

The record production of the dynamics of dry matter (MS), was performed by destructive sampling at 20, 40, 60 and 80 days after sowing (das). Each sample consisted of the collection of two plants with complete competence, the sample was taken from the two central rows in each experimental plot under the methodology proposed by Radford (1967), and Kohashi Escalante (1993) and Hunt (2003). Each plant was separated vegetative organs (leaves and stems) and reproductive. Subsequently, each was placed in paper bags and subjected to drying in a muffle furnace at constant temperature (65 °C) for 72 hours to obtain the weight of the MS. The sum of these weights represents the weight of the total DM per plant and biological yield (Escalante and Kohashi, 1993). The leaf area was determined with an area meter LI-COR Model L 1-3100. With the values of dry matter of the leaf blades, total dry matter, leaf area and the time between sampling rates following growth (Sedano *et al.*, 2005) were calculated:

$$TCC = (P_2 - P_1) / A (t_2 - t_1) \quad 1)$$

Where= TCC is the crop growth rate (g/m²/d); P₁ initial weight of the dry matter; P₂ final weight of the dry matter; A is the area where the dry weight was recorded; initial time t₁; end time t₂. Through this function increasing biomass is obtained per unit time.

Net assimilation rate:

$$TAN = [(P_2 - P_1) / (AF_2 - AF_1)] \times [(\ln AF_2 - \ln AF_1) / (t_2 - t_1)] \quad 2)$$

Where is SO= net assimilation rate (g/m² / d); P₁ initial weight of the dry matter (g); P₂ final weight of the dry matter (g); AF₁ initial leaf area (m²), AF₂ end leaf area (m²); lnAF₁ natural logarithm of the initial leaf area (m²); lnAF₂ natural logarithm of the final leaf area (m²); initial time t₁; end t₂ when sampling (days), used to estimate the efficiency of the plant photosynthetic time.

Leaf area ratio:

$$RAF = AF/PS \quad 3)$$

Tasa de asimilación neta:

$$TAN = [(P_2 - P_1) / (AF_2 - AF_1)] \times [(\ln AF_2 - \ln AF_1) / (t_2 - t_1)] \quad 2)$$

Donde= *TAN* es la tasa de asimilación neta (g/m²/d); *P*₁ peso inicial de la materia seca (g); *P*₂ peso final de la materia seca (g); *AF*₁ área foliar inicial (m²), *AF*₂ área foliar final (m²); *lnAF*₁ logaritmo natural del área foliar inicial (m²); *lnAF*₂ logaritmo natural del área foliar final (m²); *t*₁ tiempo inicial; *t*₂ tiempo final al momento del muestreo (días), que sirve para estimar la eficiencia fotosintética de la planta.

Relación de área foliar:

$$RAF = AF / PS \quad 3)$$

Donde= *RAF*: es la relación de área foliar (cm²/g); *AF*: área foliar (cm²); *PS*: peso de la materia seca total (g), este valor es un indicador del tamaño del aparato fotosintético de la planta siendo el producto de los valores de área foliar específica y de la relación de peso foliar.

Área foliar específica:

$$AFE = AF / PS_{AF} \quad 4)$$

Donde= *AFE*: área foliar específica (cm²/g); *AF*: es el área foliar (cm²); *PS*_{AF}: peso de la materia seca del área foliar (g); indica el grosor de la hoja representando la superficie foliar por gramo de hoja.

Relación de peso foliar:

$$RPF = PS_{AF} / PS \quad 5)$$

Donde= *RPF*: relación de peso foliar (g/g); *PS*_{AF}, peso de la materia seca del área foliar (g); *PS*, es el peso de la materia seca total (g), con esta ecuación se estima la utilización del material asimilado para la producción de hojas y la frondosidad de la planta.

$$IAF = AFT / S \quad 6)$$

Donde= *IAF*: índice de área foliar (m²/m²); *AFT*, es el área foliar total (m²); *S*, es el área de suelo ocupada (m²), con esta ecuación se estima el área foliar presente por unidad de superficie de suelo.

Where= *RAF*: is the ratio of leaf area (cm²/g); *AF*: leaf area (cm²); *PS*: weight of the total dry matter (g), this value is an indicator of the size of the photosynthetic apparatus of the plant being the product of the values of specific leaf area and leaf weight ratio.

Specific leaf area:

$$AFE = AF / PS_{AF} \quad 4)$$

Where= *AFE*: specific leaf area (cm²/g); *AF*: the leaf area (cm²); *PS*_{AF}: weight of dry matter of leaf area (g); indicates the thickness of the sheet representing the leaf area per gram of sheet.

Leaf weight ratio:

$$RPF = PS_{AF} / PS \quad 5)$$

Where= *RPF*: leaf weight ratio (g/g); *PS*_{AF}, weight of dry matter of leaf area (g); *PS* is the weight of the total dry matter (g), with the use of this equation for producing assimilated leaves and foliage of the plant material is estimated.

$$IAF = AFT / S \quad 6)$$

Where= *IAF*: leaf area index (m²/m²); *AFT* is the total leaf area (m²); *S* is the area of occupied land (m²), with this equation is estimated leaf area per unit area of land.

The estimates were made by plant and for a square meter (9 plants m⁻²). Submitting the results of an analysis of variance using the SAS statistical package View 9.1 (1999) and mean separation test (Tukey *p* ≤ 0.05).

Results and discussion

Production and distribution of biomass. The dynamics of accumulation of biomass per square meter for the two sources of nitrogen, showed statistically significant differences (*p* ≤ 0.05) in the final stages of growth (Table 1). By using the nitrogen source Entec differences 262.4 g m⁻² were found. This behavior had a slower rate during the first 20 dds, which was gradually increased in the following days, with the maximum accumulation of biomass at 80 dds. While

Las estimaciones se realizaron por planta y para un metro cuadrado (9 plantas m⁻²). Sometiendo los resultados a un análisis de varianza mediante el paquete estadístico SAS Ver. 9.1 (1999) y prueba de Separación de Medias (Tukey $p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Producción y distribución de biomasa. La dinámica de acumulación de biomasa por metro cuadrado, para las dos fuentes de nitrógeno, mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en sus fases finales de crecimiento (Cuadro 1). Al utilizar la fuente de nitrógeno Entec se encontraron diferencias de 262.4 g m⁻². Este comportamiento tuvo una tasa lenta durante los primeros 20 dds, la cual se incrementó gradualmente en los días siguientes, presentando la máxima acumulación de biomasa a los 80 dds. Mientras que a los 60 dds, el cultivo acumuló mayor porcentaje de su peso seco total en los órganos vegetativos (97.4%), en comparación con la otra fuente de nitrógeno (Urea). En esta medición el peso seco acumulado en órganos vegetativos con Entec supero por 51.8 g m⁻² al acumulado con la fuente tradicional; de tal manera que en la fase final de crecimiento, el cultivo acumuló el 30.7% de fotoasimilados en los órganos reproductivos, mientras que con la fuente tradicional solo tuvo el 26.8% (Tabla 1). Pudiéndose atribuir a lo indicado por Zerulla *et al.* (2001) e Irigoyen (2003), quienes mencionan que con la fuente de nitrógeno de lenta liberación (Entec) se presenta una mayor estabilidad y disponibilidad de nitrógeno durante todo el ciclo, con la ventaja de una tasa de pérdida por lixiviación muy baja.

the 60 DAS, the accumulated crop greater percentage of their total dry weight of the plant organs (97.4%) compared with the other nitrogen source (urea). In this measurement, the dry weight accumulated in vegetative organs with Entec exceeded by 51.8 g m⁻² at accumulated with traditional source; so that in the final phase of growth, growing 30.7% accumulated photoassimilate in the reproductive organs, while the traditional source had only 26.8% (Table 1). And can be attributed as indicated by Zerulla *et al.* (2001) and Irigoyen (2003), who mentioned that the source of slow release nitrogen (Entec) greater stability and availability of nitrogen occurs throughout the cycle, with the benefit of a tax loss for very low leaching.

This biomass accumulation throughout the crop cycle using nitrogen source Entec coincides with the highest LAI values as the total dry matter production is the result of the efficiency of the foliage in the interception and use of solar radiation available during the growing season (Díaz *et al.*, 2010).

The largest allocation of photoassimilates to the leaves allowed further growth of reproductive organs when the nitrogen source was used Entec, which represent greater IAF, impacting this in crop yield. This behavior is similar to that reported by Noriega *et al.* (2011), who they indicated that the greater the number of sheets increases performance. Also Azofeifa and Moreira (2004) mention that as the number and size of leaves increases the IAF and light absorption rate and dry matter production.

Growth rates. The analysis of variance of growth rates (TCC, and LAITAN) between sources, showed statistically significant differences ($p \leq 0.05$) among 60-80 dds

Cuadro 1. Peso seco total (PST) de órganos vegetativos y reproductivos (OR), y porcentaje del peso vegetativo (V) y reproductivo (R), de maíz forrajero con dos fuentes de Nitrógeno. Torreón, Coahuila, México. Ciclo primavera-verano 2014.

Table 1. Total dry weight (PST) of vegetative organs and reproductive (OR), and weight percentage of vegetative (V) and reproductive (R) of forage maize with two nitrogen sources. Torreon, Coahuila, Mexico. Spring-summer 2014.

Fuente de N	Muestreo (dds)	Hojas (g m ⁻²)	Tallo (g m ⁻²)	Total (g m ⁻²)	OR (g m ⁻²)	PST (g m ⁻²)	V (%)	R (%)
Tradicional	20	12.8 a*	5.86 a	18.6a		18.6 a	100a	0a
	40	88.2 a	51.0 a	139.2a		139.2 a	100a	0a
	60	176.8 a	169.5 b	346.3b	7.8 a	354.1 a	97.8a	2.2a
	80	211.6 b	862.5 b	1074.1b	392.6 b	1466.7 b	73.2b	26.8b
Entec	20	12.0 a	5.7 a	17.7a		17.7 a	100a	0a
	40	87.8 a	54.5 a	142.3a		142.3 a	100a	0a
	60	193.8 a	204.3 a	398.1a	10.6 a	408.7 a	97.4a	2.6a
	80	279.9 a	917.8 a	1197.7a	531.4 a	1729.1 a	69.3a	30.7a

*Medias con la misma letra entre filas de fuente de nitrógeno son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$); dds= días después de la siembra.

Esta acumulación de biomasa a lo largo del ciclo del cultivo con el uso de la fuente de nitrógeno Entec, coincide con los valores más altos de IAF, ya que la producción de materia seca total es el resultado de la eficiencia del follaje en la intercepción y utilización de la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento (Díaz *et al.*, 2010).

La mayor asignación de fotoasimilados hacia las hojas permitió un mayor crecimiento de los órganos reproductivos cuando se utilizó la fuente de nitrógeno Entec, lo cual represento mayor IAF, impactando esto en el rendimiento del cultivo. Este comportamiento es similar a lo reportado por Noriega *et al.* (2011), quienes indicaron que a mayor número de hojas el rendimiento se incrementa. Asimismo, Azofeifa y Moreira (2004) mencionan que conforme aumenta el número y tamaño de las hojas, aumenta el IAF, así como la absorción de luz y la tasa de producción de materia seca.

Índices de crecimiento. El análisis de varianza de los índices de crecimiento (TCC, TAN e IAF) entre fuentes, mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los 60-80 dds (Cuadro 2). Aunque a los 60 dds con las dos fuentes de nitrógeno, el cultivo alcanza su máximo IAF, fue con la fuente Entec con la que presentó los valores más altos ($3.01 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$).

Los procesos metabólicos del cultivo al utilizar la fuente Entec fueron más rápidos, puesto que los valores de su TCC y TAN fueron superiores a los que presenta la otra fuente de nitrógeno (Cuadro 2).

Los resultados obtenidos con ambas fuentes en las etapas iniciales de crecimiento coinciden con su bajo IAF (Cuadro 2). El IAF en los cultivos es bajo en estadios tempranos del desarrollo debido a la cobertura incompleta y bajo porcentaje de luz (Brown, 1984 y Baracaldo, 2010). Sin embargo, a los 60 dds con la fertilización Entec al presentar el mayor IAF, mantuvo una estructura foliar más grande para la captación de radiación solar y producción de carbohidratos. La tasa de crecimiento del cultivo es directamente proporcional a la luz interceptada, aportada por el índice de área foliar (Saleem *et al.*, 2010).

Asimismo, generó los valores más altos de TAN, indicando con esto una mayor eficiencia fotosintética de las plantas. Un incremento en las fases finales indica variaciones intraespecíficas y relación entre el área foliar y la biomasa total (Mora *et al.*, 2006).

(Table 2). Although 60 dds with both nitrogen sources, the culture reaches its maximum IAF, was with Entec source with which presented the highest values ($3.01 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$).

Cuadro 2. Tasas de crecimiento de maíz forrajero con dos fuentes de nitrógeno. Torreón, Coahuila. México. Ciclo primavera-verano 2014.

Table 2. Growth rates of forage maize with two nitrogen sources. Torreon, Coahuila. Mexico. Spring-summer 2014.

Índice	Período (dds)	Fuentes de Nitrógeno	
		Tradicional	Entec
TCC ($\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	20-40	8.75 a*	8.00 b
	40-60	20.50 a	17.00 b
	60-80	102.75 b	142.00 a
	20-80	44.55 b	56.17 a
TAN ($\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	20-40	8.25 a	8.50 a
	40-60	8.00 a	6.75 a
	60-80	38.00 b	48.75 a
	20-80	41.66 a	42.42 a
IAF ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$)	20	0.33 a	0.33 a
	40	1.70 a	1.77 a
	60	2.52 b	3.01 a
	80	2.22 b	2.99 a

*Medias con la misma letra entre columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$). dds= días después de la siembra; TCC= tasa de crecimiento de cultivo; TAN= tasa de asimilación neta; IAF= índice de área foliar.

The metabolic processes of the crop to use the source Entec were faster, since their values and TCC were so superior to those presented by the other source of nitrogen (Table 2).

The results obtained from both sources in the early stages of growth coincide with its low IAF (Table 2). The IAF crop is low in early stages of development due to incomplete coverage and low percentage of light (Brown, 1984; Baracaldo, 2010). However, at 60 dds fertilization with Entec to submit as IAF, he kept larger to capture solar radiation and leaf structure carbohydrate production. The crop growth rate is directly proportional to the intercepted light, provided by the leaf area index (Saleem *et al.*, 2010).

It also generated the highest values of SO, indicating that higher photosynthetic efficiency of plants. An increase in the final stages indicates intraspecific variation and relationship between leaf area and total biomass (Mora *et al.*, 2006).

En relación a los componentes del tamaño relativo del aparato fotosintético para la RAF y AFE en la última fase de crecimiento, se detectaron diferencias estadísticas significativas entre las fuentes de nitrógeno, al no mantener la misma relación entre la magnitud de su área foliar y su MS (Cuadro 3), presentando Entec una RAF y AFE (13.81 y 113.80 cm² g⁻¹) mayor que la fuente tradicional, con diferencias de 4.46 y 12.76 cm² g⁻¹, respectivamente.

En las fuentes de nitrógeno los valores más altos de RAF, AFE y RPF se registraron en la primera fase de crecimiento de las plantas, y gradualmente disminuyeron conforme avanzó la edad del cultivo, manteniéndose valores similares de RPF con ambas fuentes de nitrógeno (Cuadro 3).

Los valores más altos de AFE, RAF y RPF, al inicio del desarrollo del cultivo se deben a que las plantas utilizan sus fotoasimilados en mayor proporción para el desarrollo y crecimiento de su aparato fotosintético, generando gastos energéticos lo que resulta en un menor peso (Carranza *et al.*, 2009). Ya que independientemente de la fuente de nitrógeno utilizada para las fases finales de crecimiento, las plantas acumularon la misma cantidad de fotoasimilados en sus láminas foliares. Sin embargo, los valores más altos de RAF en la fase final de crecimiento con la fuente Entec, se atribuyen a que la incorporación de inhibidores de la nitrificación generan el mejor aprovechamiento del nitrógeno por el maíz al permanecer estabilizado en forma de NH₄⁺ por más tiempo en el suelo (Gardiazabal *et al.*, 2007).

EL proceso de disminución de éstos índices desde las primeras etapas de crecimiento en los tratamientos se considera normal ya que en las fases iniciales el cultivo invierte la mayor parte de los fotoasimilados en sus estructuras vegetativas y en el desarrollo de su aparato fotosintético; y al final del ciclo estos fotoasimilados se utilizarán en el crecimiento en número y tamaño de sus frutos (Gaytan *et al.*, 2004).

Las plantas que crecieron bajo la influencia de la fuente Entec, presentaron valores altos de AFE indicando un aumento de su área foliar por gramo de peso seco, presentando hojas más grandes pero más delgadas. Estos valores implican que la hoja invierte menos biomasa por unidad de área, lo cual se correlaciona fuertemente con una variedad de parámetros fisiológicos (Porter, 2002). Situación contraria en el tratamiento tradicional, al poseer valores más bajos de AFE, por lo que podría asumirse que poseen mayor contenido de componentes de pared celular, especialmente lignina

In relation to the components of the relative size of the photosynthetic apparatus to the RAF and AFE in the last phase of growth, statistically significant differences between the nitrogen sources were detected, unable to maintain the same relationship between the magnitude of its leaf area and its MS (Table 3), showing an ADR Entec and AFE (13.81 and 113.80 cm² g⁻¹) than the traditional source, with differences of 4.46 and 12.76 cm² g⁻¹, respectively.

Cuadro 3. Relación de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), y relación de peso foliar (RPF) en maíz forrajero con dos fuentes de Nitrógeno. Torreón, Coahuila, México. Ciclo primavera-verano 2014.

Table 3. Relationship of leaf area (RAF), specific leaf area (SLA) and leaf weight ratio (FLR) on forage maize with two nitrogen sources. Torreon, Coahuila, Mexico. Spring-summer 2014.

Índices	Período (dds)	Fuentes de nitrógeno	
		Tradicional	Entec
RAF (cm ² g ⁻¹)	20	143.05 a*	131.68 b
	40	95.81 a	98.44 a
	60	49.72 a	52.66 a
	80	9.35 b	13.81 a
AFE (cm ² g ⁻¹)	20	262.72 a	261.27 a
	40	196.84 b	205.02 a
	60	145.34 b	155.48 a
	80	101.04 b	113.80 a
RPF (g g ⁻¹)	20	0.50 a	0.55 a
	40	0.48 a	0.49 a
	60	0.34 a	0.34 a
	80	0.10 a	0.11 a

*Medias con la misma letra entre columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$); dds= días después de la siembra.

In the nitrogen sources higher values of RAF, AFE and RPF were recorded in the first phase of plant growth, and gradually decreased as advanced culture age, maintaining similar values RPF with both nitrogen sources (Table 3).

Higher values of AFE, RAF and the RPF, early crop development are because plants use their photoassimilates greater extent for the development and growth of the photosynthetic apparatus, generating energy costs resulting in a lower weight (Carranza *et al.*, 2009). Because regardless of nitrogen source for the final stages of growth, the plants accumulated the same amount of photoassimilates in their leaf blades. However, higher values of RAF in the final growth phase with Entec source, attributed to the

generando hojas más duras y gruesas, considerando que el grosor de la hoja determina la disponibilidad de espacio para acomodar cloroplastos por lo que las hojas gruesas presentan espacios vacantes a lo largo de las células del mesófilo que no son ocupadas por cloroplastos y por lo tanto bajas tasas de actividad fotosintética (Oguchi *et al.* (2003).

Los valores similares de RPF demostraron que la planta, independientemente de la fuente de nitrógeno utilizada, regula y distribuye equitativamente los fotoasimilados que produce entre sus órganos vegetativos (Orozco *et al.*, 2011).

Conclusiones

La fuente de nitrógeno de lenta liberación (Entec), influyó en la velocidad de los procesos metabólicos de las plantas y fue más eficiente fotosintéticamente, teniendo un efecto en la distribución de biomasa y la dinámica de crecimiento al presentar los valores más altos de TCC y TAN. Además, aumentó el área foliar por gramo de peso seco, presentando hojas más grandes pero más delgadas. Esto implica que la hoja invierte menos biomasa por unidad de área, lo cual se correlaciona fuertemente con una variedad de parámetros fisiológicos a su favor.

Literatura citada

- Azofeifa, A. y Moreira, M. A. 2004. Análisis de crecimiento de chile jalapeño (*Capsicum annum* L. c v. Hot). Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 28:57-67.
- Baracaldo, A.; Ibagüe, O. A. P. y Flores, R. V. J. 2010. Tasa e índice de crecimiento a segundo pico de cosecha en clavel estándar cv. Nelson cultivado en suelo y en sustrato. Colombia. *Agronomía Colombiana*. 28(2):209-217.
- Barth, G.; Tucher, S. and Schmidhalter, U. 2001. Influence of soil parameters on the effect of 3,4 -dimethylpyrazole-phosphate as nitrification inhibitor. Germany. *Biology and Fertility of Soils*. 2(34):98-102.
- Brown, R. H. 1984. Growth of the green plant. *In: physiological basis of crop growth and development*. American Society of Agronomy, Madison. 153-174 pp.
- Carranza, C.; Lancho, O.; Miranda, D. y Chaves, B. 2009. Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. Colombia. *Agronomía Colombiana*. 27(1):41-48.
- Carrasco-Martín, I. 2002. Nuevas tecnologías en fertilización para el respeto del medio ambiente. España. *Revista Phytoma*. 135: 55-59.

incorporation of nitrification inhibitors generate better nitrogen utilization by the corn to remain stable in the form of NH_4^+ longer on the floor (Gardiazabal *et al.*, 2007).

The process of decline of these indices from the early stages of growth in treatments and is considered normal in the early stages cultivation invests most of photoassimilates in their vegetative structures and the development of their photosynthetic apparatus; and end of the cycle these photoassimilates be used in the growing number and size of fruit (Gaytan *et al.*, 2004).

Plants grown under the influence of Entec source AFE had high values indicating an increase in leaf area per gram dry weight, presenting larger but thinner sheets. These values imply that invests less leaf biomass per unit area, which is strongly correlated with a variety of physiological parameters (Porter, 2002). Which is contrary to the traditional treatment, possessing lower AFE values, so it could be assumed to have a higher content of cell wall components, especially lignin generating more hard and thick leaves, whereas the leaf thickness determines the availability of chloroplasts space to accommodate so thick sheets have vacant spaces along mesophyll cells that are not occupied by chloroplasts and therefore low rates of photosynthetic activity (Oguchi *et al.* (2003).

The RPF demonstrated similar values of the plant, regardless of nitrogen source, regulates and distributes evenly between photoassimilates that produces the vegetative organs (Orozco *et al.*, 2011).

Conclusions

The source of slow release nitrogen (Entec), influenced the rate of metabolic processes in plants and photosynthetically was more efficient, having an effect on the distribution of biomass and growth dynamics in presenting the highest values and TCC SO. In addition, it increased leaf area per gram of dry weight, presenting larger but thinner sheets. This implies that invests less leaf biomass per unit area, which is strongly correlated with a variety of physiological parameters in its favor.

End of the English version



- Cueto, W. J. A.; Reta, S. D. G.; Barrientos, R. J. L.; González, C. G. y Salazar, S. E. 2006. Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29:97-101.
- Díaz, E.; Morales, E. J.; Franco, O y Domínguez, A. 2010. Atenuación de luz, radiación interceptada y rendimiento de maíz en función del fósforo. México. *Terra Latinoam.* 1(29):65-72.
- Escalante, E. J. A. y Kohashi, J. S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para toma de datos. Centro de Botánica-Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 84 p.
- Gardiazabal, F.; Mena, F. y Magdahl, C. 2007. Efecto de la fertilización con inhibidores de la nitrificación (Entec® Solub 21) en paltos (*Persea americana* Mill) cv. Hass. Actas VI Congreso Mundial del Aguacate. Viña del Mar, Chile.
- Gaytán, M. A.; Palomo-Gil, A.; Reta, S. G.; Godoy, A. S. y García, C. E. A. 2004. Respuesta del algodón cv. Cian Precoz 3 al espaciamiento entre surcos y densidad poblacional. I. Rendimiento, precocidad y calidad de fibra. Argentina. *Phyton, Revista Internacional de Botánica Experimental.* 73:57-67.
- Hunt, R. 2003. Growth analysis, individual plants. 579-588. *In: Thomas, B.; Murphy, D. J. and Murray, B. G. (Eds.). Encyclopedia of applied plant sciences.* Academic Press, London. 1618 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2000. Carta de los suelos de México, escala 1: 12 500 000. INEGI. México.
- Irigoyen, I.; Muro, J.; Azpilikueta, M.; Aparicio, P. and Lamsfus, C. 2003. Ammonium oxidation kinetics in the presence of nitrification inhibitors DCD and DMPP at different temperatures. Australia. *Australian J. Soil Res.* 41:177-1183.
- Jarma, A. J.; Degiovanni, V. y Montoya, R. A. 2010. Índices fisiotécnicos, fases de crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. *In: producción eco-eficiente del arroz en América Latina.* Degiovanni, V.; Martínez, C. P. y Motta, R. J. F. Tomo 1. Ed. CIAT. Colombia. 60-82 pp.
- Maddoni, G. A. and Otegui, M. E. 2006. Intra-specific competition in maize: contribution of extreme plant hierarchies to grain yield, grain yield components and kernel composition. *Field Crops Res.* 97:155-166.
- Mora, A. R.; Ortiz, C. J.; Rivera, P. A.; Mendoza, C. M. C.; Colinas, L. M. y Lozoya, S. H. 2006. Índices de eficiencia de genotipos de papa establecidos en condiciones de secano. México. *Revista Chapingo. Serie horticultura.* 12:85-94.
- Noriega, L. A.; Preciado, R. E.; Andrio, E.; Terrón, A. D. y Covarrubias, J. 2011. Fenología, crecimiento y sincronía floral de los progenitores del híbrido de maíz QPM h-374c. México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(2):489-500.
- Oguchi, R.; Hikosaka, K. and Hirose, T. 2003. Does the photosynthetic light-acclimation need change in leaf anatomy? USA. *Plant cell environ.* 26:505-512.
- Orozco V. J. A.; Yescas-Coronado, P. M. A.; Segura-Castruita, R.; Valdez-Cepeda, E.; Martínez-Rubín de Celis, J.; Montemayor-Trejo, A.; Fortis-Hernández M. y Preciado-Rangel P. 2011. Análisis de crecimiento de tres variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en una región árida de México. Argentina. *Phyton Rev. Int. Bot. Exp.* 80:47-52.
- Peil, R. M. y Gálvez, J. L. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante en la producción de hortaliza de fruto cultivado en invernadero. Brasil. *Rev. Brasileira de Agrociencia.* 11:05-11.
- Porter, H. 2002. Environmental sensing and directional growth of plant roots. *In: Waisel, Y.; Eshel, A.; Kafkafi, U. (Eds.). Plant roots: the hidden Half.* New York: Marcel Dekker: 471-487 pp.
- Radford, P. J. 1967. Growth analysis formulae - their use and abuse. USA. *Crop Sci.* 7:171-175.
- Ramirez-Seañez, A. R.; Contreras-Martínez, J. G.; Palomo-Gil, A.; Álvarez-Reyna, V. P.; Rodríguez-Herrera, S. A. y García-Carrillo, M. 2012. Producción de biomasa de algodón en surcos ultra estrechos y densidad poblacional. Costa Rica. *Agro. Mesoam.* 23(2):259-267.
- Reta, S. D. G.; Gaytán, M. A. y Carrillo, A. J. S. 2000. Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. México. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:37-48.
- Saleem, M.; Maqsood, M.; Javaid, A.; Hassan, M. U. and Khaliq, T. 2010. Optimum irrigation and integrated nutrition improves the crop growth and net assimilation rate of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Pakistan. *J. Bot.* 42:3659-3669.
- Sedano-Castro, G.; González-Hernández, V. A.; Engleman, E. M. y Villanueva-Verduzco, C. 2005. Dinámica del crecimiento y eficiencia de la planta de calabacita. *Revista Chapingo Serie Horticultura.* 11:291-297.
- SAS Institute Inc. 1999. SAS for windows. Release 6-12, versión 9.1.1111. SAS Campus Drive. North Carolina, U.S.A.
- Sedano, C. G.; González, H. V. A.; Engleman, E. M. y Villanueva, V. C. 2005. Dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita. México. *Revista Chapingo Serie Horticultura.* 11:291-297.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Atlas agroalimentario. México, D. F. 196 p.
- Weiske, A.; Benckiser, G.; Herbert, T and Ottow, J. 2001. Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. Germany. *Biology and Fertility of Soils.* 2(34):109-117.
- Wojcik, P. 2001. Ecological impact of nitrogen fertilization. Poland. *Journal of Fruit and Ornamental plant. Research.* 9(1):117-127.
- Zerulla, W.; Barth, T.; Dressel, J.; Erhardt, K.; Horchler, K.; Pasda, G.; Radle, M. and Wissemeyer, A. 2001. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP)- a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. Germany. *Biology and Fertility of Soils.* 2(34):79-84.