

Manejo de fertilización nitrogenada sobre los componentes del rendimiento de triticale*

Management of nitrogen fertilization on yield components of triticale

Elia Ballesteros Rodríguez¹, Edgar Jesús Morales Rosales², Omar Franco Mora², Emmanuel Santoyo Cuevas³, Gaspar Estrada Campuzano² y Francisco Gutiérrez Rodríguez^{2§}

¹Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Universitario "El Cerrillo", El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. C. P. 50090. Tel. (722) 296 6574. (ely_br_2002@yahoo.com.mx). ²Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Facultad de Ciencias Agrícolas- UAEM. Campus Universitario "El Cerrillo", El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. C. P. 50200. Tel: 722 296 5529. (ejrosalesm@uaemex.mx; ofrancom@uaemex.mx; gestradac@uaemex.mx). ³Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuicola y Forestal del Estado de México. Conjunto SEDAGRO S/N Rancho Guadalupe - San Lorenzo, Metepec, Estado de México. C. P. 52140. Tel: 722 232 2641. (esantoyo73@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: fgfrfca@hotmail.com.

Resumen

La fertilización nitrogenada es uno de los factores de impacto más importantes en el crecimiento y desarrollo de los cultivos de cereales. Esta investigación tuvo como objetivo, determinar el efecto de la aplicación fraccionada de nitrógeno en diferentes estados fenológicos de dos cultivares de triticale (*X Triticosecale* Wittmack), y su relación con el rendimiento del cultivo y sus componentes. El cultivo se estableció en el municipio de Lerma, Estado de México, durante los ciclos invierno-primavera (I-P) y verano-otoño (V-O) del periodo 2012-2013. Los cultivares evaluados fueron Siglo-TCL21 y Bicentenario, con dos dosis de N en I-P (0 y 150 kg ha⁻¹), y tres dosis en V-O (0, 150 y 250 kg ha⁻¹). El nitrógeno (N) fue fraccionado en tres momentos del desarrollo del cultivo: amacollamiento (AM), espiguilla terminal (ET) y hoja bandera (HB). La dosis de 150 fue fraccionada en: $\frac{1}{3}$ AM, $\frac{1}{3}$ ET y $\frac{1}{3}$ HB, $\frac{1}{2}$ AM y $\frac{1}{2}$ ET y, todo en AM; la dosis de 250 fue fraccionada en: $\frac{2}{5}$ AM, $\frac{2}{5}$ ET y $\frac{1}{5}$ HB y, $\frac{2}{5}$ AM y $\frac{3}{5}$ ET. El diseño experimental consistió en un arreglo de bloques completos al azar. El cultivar Bicentenario presentó mayor número de granos y Siglo-TCL21 mayor peso de grano. Con la dosis de N de 250 kg ha⁻¹ se incrementaron los valores de rendimiento y biomasa en ambos cultivares.

Abstract

Nitrogen fertilization is one of the most important factors in the growth and development of cereal crops impact. This study aimed to determine the effect of split application of nitrogen in different growth stages of two cultivars of triticale (*X Triticosecale* Wittmack), and its relationship with crop yield and its components. The culture was established in the village of Lerma, State of Mexico, during the winter-spring cycles (W-S) and summer-autumn (S-A) for the period 2012-2013. The evaluated cultivars were Siglo-TCL21 and Bicentenario with two doses of N in W-S (0 and 150 kg ha⁻¹) and three doses S-A (0, 150 and 250 kg ha⁻¹). Nitrogen (N) was fractionated into three stages of crop development: tillering (TI), terminal spikelet (TS) and flag leaf (FL). The dose of 150 was divided into: $\frac{1}{3}$ TI, $\frac{1}{3}$ TS and $\frac{1}{3}$ FL, $\frac{1}{2}$ TI and $\frac{1}{2}$ TS and everything in TI; the dose of 250 was divided into: $\frac{2}{5}$ TI, $\frac{2}{5}$ TS and $\frac{1}{5}$ FL, $\frac{2}{5}$ TI and $\frac{3}{5}$ TS. The experimental design was a randomized complete array blocks. The cultivar Bicentenario showed higher number of grains and Siglo-TCL21 higher weight of grain. With the dose of 250 kg N ha⁻¹ values and biomass yield in both cultivars increased. Maximum yields for cultivars Bicentenario and Siglo-TCL21 were obtained with 250 kg ha⁻¹ when it was fractionated into $\frac{2}{5}$ TI and $\frac{3}{5}$ TS.

Los máximos rendimientos para los cultivares Bicentenario y Siglo-TCL21, se obtuvieron con la dosis de 250 kg ha⁻¹ cuando ésta se fraccionó en $\frac{2}{5}$ AM y $\frac{3}{5}$ ET.

Palabras clave: *X Triticosecale* Wittmack, biomasa, fraccionamiento de nitrógeno, rendimiento.

Introducción

Se considera que el nitrógeno (N), es el principal factor limitante en la producción agrícola (Kichey *et al.*, 2007) y, al igual que en otros cereales, es también uno de los factores de impacto más importantes en el crecimiento y desarrollo de triticale (*X Triticosecale* Wittmack). La disponibilidad de N para la planta es indispensable por ser un componente básico de todas las moléculas orgánicas involucradas en el crecimiento y desarrollo vegetal (Salas, 2003). Además, el N es un elemento indispensable para la fotosíntesis; para que las plantas fijen el carbono; para la acumulación de materia orgánica y la producción de rendimientos económicamente atractivos.

Ramírez *et al.* (2010), sostienen que la disponibilidad de N para los cultivos es, en general, deficiente debido al manejo de suelos y a las pérdidas por lixiviación, por lo que es posible que su aplicación no sea totalmente aprovechada por el cultivo en los estados de mayor requerimiento de este nutriente. Ello ocasiona que para satisfacer la demanda de los cultivos, el N deba agregarse al suelo en grandes cantidades como abono orgánico o fertilizante nitrogenado. Esto resulta relevante considerando el impacto ambiental de la lixiviación de N, que constituye un grave problema en algunos países industrializados (Newbould, 1989), por lo que la implementación de tecnologías de manejo del cultivo que incrementen la eficiencia en el uso de insumos fertilizantes se vuelven esenciales (Parodi, 2003).

Aunque la práctica más utilizada para la aplicación de N es mediante la fertilización en siembra, el empleo de dosis elevadas de N que permitan la expresión del potencial de rendimiento de las variedades existentes en el mercado actual, requiere un manejo cuidadoso y eficiente de la parcialización del nutriente, esto con el fin de minimizar las pérdidas por lixiviación durante el desarrollo del cultivo, así como evitar la contaminación de napas freáticas y su efecto nocivo sobre la salud humana y la sostenibilidad ambiental (Campillo *et al.*, 2007). Las aplicaciones fraccionadas de

Keywords: *X Triticosecale* Wittmack, biomass, fractionation of nitrogen yield.

Introduction

Nitrogen (N) is considered the main limiting factor in crop production (Kichey *et al.*, 2007) and, as in other cereals, is also one of the most important factors impact on growth and development triticale (*X Triticosecale* Wittmack). The availability of N to the plant is essential for being a basic component of all organic molecules involved in plant growth and development (Salas, 2003). In addition, the N is an essential element for photosynthesis; for plants fix carbon; to the accumulation of organic matter and production of economically attractive yields.

Ramírez *et al.* (2010) argued that, the availability of N for crops is generally due to poor soil management and leaching losses, so it is possible that the application is not fully utilized by the crop in most states requirement of this nutrient. This brings us to meet the demand of crops, N should be added to the soil in large quantities as organic fertilizer or nitrogen fertilizer. This is relevant considering the environmental impact of leaching of N, which is a serious problem in some industrialized countries (Newbould, 1989), so that the implementation of crop management technologies that increase the efficiency of fertilizer inputs become essential (Parodi, 2003).

Although, the most commonly used for implementing practice by N fertilization in sows, the use of high doses of N permitting expression of yield potential of existing varieties on the market today, requires careful and efficient management of bias the nutrient, this in order to minimize leaching losses during crop development and prevent contamination of groundwater and its harmful effect on human health and environmental sustainability (Campillo *et al.*, 2007). The nitrogen to fractional complications have been widely studied in improving grain yield of crops such as wheat (Xinkai *et al.*, 2011; Mohammed *et al.*, 2013), maize (Amanullah and Paigham, 2010), barley (Cai *et al.*, 2011) and rice (Sreekala *et al.*, 2010). The importance of timing, plus the dose of fertilizer used, can also induce an improvement in the efficiency of absorption, according to investigations related to wheat (Campillo *et al.*, 2007) and barley (Moreno *et al.*, 2003).

nitrógeno han sido ampliamente estudiadas en la mejora del rendimiento de grano de cultivos como trigo (Xinkai *et al.*, 2011; Mohammed *et al.*, 2013), maíz (Amanullah y Paigham, 2010), cebada (Cai *et al.*, 2011) y arroz (Sreekala *et al.*, 2010). La importancia del momento de aplicación, además de la dosis de fertilizante empleado, puede también inducir un mejoramiento en la eficiencia de absorción, según investigaciones relacionadas con el cultivo de trigo (Campillo *et al.*, 2007) y cebada (Moreno *et al.*, 2003).

En México, el triticale se encuentra en una etapa de difusión y se presenta como una alternativa del cultivo de maíz y trigo, especialmente en la región de Valles Altos, debido a su mayor tolerancia a bajas temperaturas, sequía, suelos ácidos y alcalinos, plagas y enfermedades en comparación con los cultivos mencionados (Varughese, 1996). Los efectos del fraccionamiento de fertilizante nitrogenado sobre el rendimiento, producción de biomasa, número y peso de grano a fin de formular estrategias de manejo fertilización que maximicen la producción en triticale aún no han sido reportadas, por lo que la presente investigación se planteó como objetivo, determinar el efecto de la aplicación fraccionada de nitrógeno en diferentes estados fenológicos de dos cultivares de triticale (X *Triticosecale* Wittmack), y su relación con el rendimiento del cultivo y sus componentes.

Materiales y métodos

Descripción del sitio experimental

El experimento se desarrolló en la localidad de Zacamulpa Huitzilapan, en el municipio de Lerma, Estado de México, México (18° 17' 49" latitud norte, 99° 39' 38" longitud oeste; 2 750 msnm). El clima de la localidad se clasifica como semifrío sub-húmedo con lluvias en verano, con un rango anual de precipitación de 800 a 1 300 mm y de temperatura de 8 a 14 °C (INEGI, 2009). El área experimental se estableció en un Cambisol (Sotelo *et al.*, 2010), cultivado por más de 10 años con maíz bajo labranza mínima (un pase de barbecho y uno de rastra, 30% de rastrojo). Los cultivos se establecieron en los ciclos invierno-primavera (I-P 2012-2013; E1), bajo condiciones de riego; y verano-otoño (V-O 2013; E2), bajo condiciones de temporal. Previo a la siembra, en el ciclo I-P 2012-2013, se obtuvieron muestras de suelo del área de estudio, para determinar las condiciones de pH, materia orgánica (MO, %), nitrógeno total (N, kg ha⁻¹), fósforo (P, ppm), potasio (K,

In Mexico, triticale is in a diffusion step and is presented as an alternative to maize and wheat, especially in the region of Valles Altos, due to its higher tolerance to low temperatures, drought, acid and alkaline soils, pests and compared with diseases mentioned crops (Varughese, 1996). The effects of fractionation of nitrogen fertilizer on yield, biomass production, number and weight of grain to formulate management strategies that maximize fertilization triticale production have not yet been reported, so this research is to target determine the effect of split application of nitrogen in different growth stages of two cultivars of triticale (X *Triticosecale* Wittmack) and its relation to crop yield and its components.

Materials and methods

Experimental site description

The experiment was conducted in the locality of Zacamulpa Huitzilapan in the village of Lerma, State of Mexico, Mexico (18° 17' 49" North latitude, 99° 39' 38" west; 2 750 m). The local climate is classified as semi-cold sub-humid with summer rains, with annual precipitation range from 800 to 1 300 mm and temperature of 8-14 °C (INEGI, 2009). The experimental area was established in a "Cambisol" (Sotelo *et al.*, 2010), cultivated for over 10 years with corn under minimum tillage (a pass fallow and one harrow, 30% of stubble). The crops were established in the winter-spring cycles (W-S 2012-2013; E1) under irrigated conditions; and summer-autumn (S-A 2013; E2), under rainfed conditions before sowing, the W-S 2012-2013 cycle, soil samples from the study area were obtained to determine the conditions of pH, organic matter (OM, %), total nitrogen (N, kg ha⁻¹), phosphorus (P, ppm), potassium (K, ppm), bulk density (BD) and textural class. All variables were determined by the methods proposed by the NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002).

Field activities and treatments

Commercial cultivars of triticale Siglo-TCL21 and Bicentenario, released by the Institute of Agricultural and Training, Aquaculture and Forestry of the State of Mexico (ICAMEX), in 2000 and 2009 were evaluated. The fertilization treatments were described in Table 1. The doses of N indicated were complemented by the application in the tillering of 46-30 units phosphorus and potassium (P, K).

ppm), densidad aparente (DA) y clase textural. Todas las variables fueron determinadas bajo los métodos propuestos por la NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002).

Actividades de campo y tratamientos

Se evaluaron los cultivares comerciales de triticale Siglo-TCL21 y Bicentenario, liberados por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), en el 2000 y 2009 respectivamente. Los tratamientos de fertilización se describen en el Cuadro 1. Las dosis de N señaladas se complementaron con la aplicación en el amacollamiento de 46-30 unidades de fósforo y potasio (P, K).

Soil preparation was performed with a pass fallow and a harrow before each crop cycle. The drilling was done manually using biodegradable paper strips equidistant from seeds of 1.5 cm and a planting density of 333 seeds per m² for both experiments. The experimental plot consisted of six rows spaced 3 m 0.20 m (3.6 m²) long; with a distance of 0.5 m between plots. It was considered useful plot for measuring an area of 0.4 m² formed by two central rows 1 m in length. Weed control was manually, performed throughout the crop cycle to avoid competition for N applied. The presence of pests and / or diseases in the crop during the experimental period was recorded.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos de fertilización para los cultivares de triticale en 2012-2013.
Table 1. Description of fertilization treatments for triticale cultivars in 2012-2013.

Tratamientos	Etapa de aplicación†			Fertilizante total kg ha ⁻¹	Experimento††
	AM	ET	HB		
N1	0	0	0	0	1 y 2
N2	1/3	1/3	1/3	150	1 y 2
N3	1/2	1/2	0	150	1 y 2
N4	1	0	0	150	1 y 2
N5	2/5	2/5	1/5	250	2
N6	2/5	3/5	0	250	2

†AM= amacollamiento; ET= espiguilla terminal; HB= hoja bandera. ††Experimento 1= ciclo invierno-primavera 2012-2013; experimento 2= ciclo verano-otoño 2013.

La preparación del suelo se realizó con un pase de barbecho y otro de rastra antes de cada ciclo de cultivo. La operación de siembra se hizo manualmente mediante cintas de papel biodegradable con una distancia equidistante entre semillas de 1.5 cm y una densidad de siembra de 333 semillas por m² para ambos experimentos. La parcela experimental consistió en seis surcos de 3 m de largo separados a 0.20 m (3.6 m²); con una distancia entre parcelas de 0.5 m. Se consideró como parcela útil para mediciones un área de 0.4 m² formada por dos surcos centrales de 1 m de longitud. Se efectuó un control de malezas de forma manual durante todo el ciclo del cultivo para evitar la competencia por N aplicado. No se registró la presencia de plagas y/o enfermedades en el cultivo durante el periodo experimental.

Fenología

Con 50% de plantas en la parcela en la misma etapa fenológica, se registró la emergencia (E), amacollamiento (AM), espiguilla terminal (ET), hoja bandera (HB), anthesis (ANT) y madurez fisiológica (MF), utilizando la escala de Zadoks *et al.* (1974). La etapa de ET se identificó mediante observaciones de microscopía digital (mod.44302-B,

Phenology

With 50% of plants in the plot in the same phenological stage, the emergence (E), tillering (TI), spikelet terminal (TS), flag leaf (FL), anthesis (ANT) and physiological maturity (MF) was recorded, using Zadoks *et al.* (1974). TS stage was identified by digital microscopy observations (mod.44302-B, Celestron, USA), the apices of random plants harvested twice a week, in each experimental unit, when the spigot end differentiation. The MF was determined when the plants present in each experimental unit had lost the characteristic green color of each genotype in 80% of their leaves, stems and spikes (Castañeda, 2006). All of the crop phenological stages were expressed both days calendar and time using a base temperature (Tb) of 0 °C (Kernich and Halloran, 1996) temperature.

Grain yield and its components

The harvest was performed at 164 days after emergence (DAE) in the E1 and E2 165 DDE. For grain yield (RG, gm⁻²), harvested manually plants of the two central rows of each experimental unit; and a sample of 2 m linear was taken to determine harvest index (CI), number of grains per unit

celestron, USA), de los ápices de plantas cosechadas al azar, dos veces por semana, en cada unidad experimental, cuando la espiga terminó su diferenciación. La MF, se determinó cuando las plantas presentes en cada unidad experimental, habían perdido el color verde característico de cada genotipo en 80% de sus hojas, tallos y espigas (Castañeda, 2006). Todas las etapas fenológicas del cultivo se expresaron tanto en días calendario como en tiempo térmico utilizando una temperatura base (T_b) de 0 °C (Kernich y Halloran, 1996).

Rendimiento de grano y sus componentes

La cosecha se realizó a los 164 días después de la emergencia (DDE) en el E1 y a los 165 DDE en el E2. Para el rendimiento de grano (RG, g m⁻²), se cosecharon de forma manual plantas de los dos surcos centrales de cada unidad experimental; y se tomó una muestra de 2 m lineales para determinar el índice de cosecha (IC), número de granos por unidad de área (NG, m⁻²) y peso de los granos (PG, mg grano⁻¹). Las plantas fueron secadas en una estufa de aire forzado a 70 °C durante 72 h, hasta alcanzar peso constante. La biomasa cosechada se trilló y limpió de forma manual. El IC se calculó como el cociente entre el peso de grano y el peso total de las plantas, sin incluir las hojas que tuvieron abscisión; el RG se calculó determinando el peso de la semilla cosechada (g) y dividiéndolo entre la superficie cosechada (m²); el PG se calculó multiplicando el promedio de cuatro muestras de 100 granos (mg) de cada parcela por 1000, y dividiéndolo entre 100; el NG se calculó como el cociente entre el RG y PG por 1000; por último, la biomasa a madurez fisiológica (g m⁻²) se calculó determinando el peso seco (g) de las plantas cosechadas y dividiéndolo entre la superficie cosechada (m²).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) para cada experimento, de manera individual y combinada, usando software Statistical Analysis System (SAS) V.6.12, USA). Todos los parámetros fueron probados por significancia entre tratamientos ($p < 0.05$). Cuando se encontraron diferencias significativas, se utilizó la diferencia mínima significativa honesta (DMSH) para determinar la diferencia entre medias. Las relaciones entre variables se obtuvieron mediante análisis de regresión y se ajustaron a modelos lineales, bilineales o sigmoideos.

area (NG, m⁻²) and grain weight (PG, mg⁻¹ grain). The plants were dried in a forced air oven at 70 °C for 72 h until constant weight. The harvested biomass is threshed and cleaned manually. The IC is calculated as the ratio between the grain weight and the total weight of plants, excluding the leaves had abscission; RG was calculated by determining the weight of the harvested seed (g) and dividing the harvested area (m²); PG was calculated by multiplying the average of four samples of 100 grains (mg) of each plot by 1 000, and dividing by 100; NG was calculated as the ratio between the RG and PG by 1 000; finally, biomass at physiological maturity (g m⁻²) was calculated by determining the dry weight (g) of the harvested plants and dividing the harvested area (m²).

Experimental design and statistical analysis

The experimental design was a randomized complete block design with three replications was used. The data were analysed by analysis of variance (ANOVA) for each experiment individually and in combination, using Statistical Analysis System software (SAS V.6.12, USA). All parameters were tested for significance between treatments ($p < 0.05$). When significant differences were found, honest least significant difference (DMSH) was used to determine the difference between. Relationships between variables were obtained by regression analysis and adjusted to linear, bilinear or sigmoid models.

Results and discussion

Soil physic-chemical properties

The soil textural class was classified as sandy loam with pH 6.6 and contained 6.7% of MO, 35 kg ha⁻¹ of N, P 123 ppm and 564 ppm of K. According to the determination of soil fertility NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002), this is classified as mild, with average levels of organic and inorganic nitrogen, and high levels of phosphorus and potassium.

Phenology and climatic conditions

The average thermal sum necessary to meet emergency periods -leaf flag, flag leaf-anthesis and anthesis-physiological maturity on cultivars in both experiments is shown in Figure 1. The thermal requirements of the crop to MF in E1, were 2 137 °Cd and 2 307 °Cd for E2, this reflects little variation in phenology triticale cultivars in the two experimental cycles.

Resultados y discusión

Propiedades físico-químicas del suelo

La clase textural del suelo se clasificó como franco arenosa, con 6.6 de pH y contenidos de 6.7% de MO, 35 kg ha⁻¹ de N, 123 ppm de P y 564 ppm de K. Según la determinación de la fertilidad del suelo de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002), este se clasifica como neutro, con niveles medios de materia orgánica y nitrógeno inorgánico, y niveles altos de fósforo y potasio.

Fenología y condiciones climáticas

La suma térmica promedio necesaria para cumplir los periodos de emergencia-hoja bandera, hoja bandera-antesis y antesis-madurez fisiológica de los cultivares en los dos experimentos se muestra en la Figura 1. Los requerimientos térmicos del cultivo a MF en el E1, fueron de 2 137 °Cd y 2 307 °Cd para el E2, esto refleja poca variación en la fenología de los cultivares de triticale en los dos ciclos experimentales.

Las condiciones de precipitación y temperatura durante el periodo experimental se muestran en la Figura 2. Se puede apreciar que, con la excepción de la temperatura máxima promedio, las condiciones ambientales resultaron contrastantes para los ciclos de cultivo, esto confirma los datos de constantes climáticas para la zona presentados por INEGI (2009).

Rendimiento de grano y componentes del rendimiento

En el Cuadro 2 se presenta el análisis de varianza combinado para los tratamientos con dosis de 0 y 150 kg ha⁻¹. Para la interacción año-tratamiento, se observó significancia estadística ($p < 0.05$) para las variables evaluadas, lo que indica cambios en el comportamiento relativo de los tratamientos de fraccionamiento de N a través de los ciclos de estudio; esto puede atribuirse al efecto de la variación de las condiciones ambientales en los ciclos, y a la heterogeneidad del contenido de N presente al momento del establecimiento de los experimentos. Con respecto a las condiciones ambientales, los resultados confirman que la disponibilidad de nitrógeno después de su aplicación está sujeta a las condiciones climáticas. Los cambios en el comportamiento de los tratamientos entre ciclos de cultivo, también han sido reportados con relación a las prácticas de fertilización

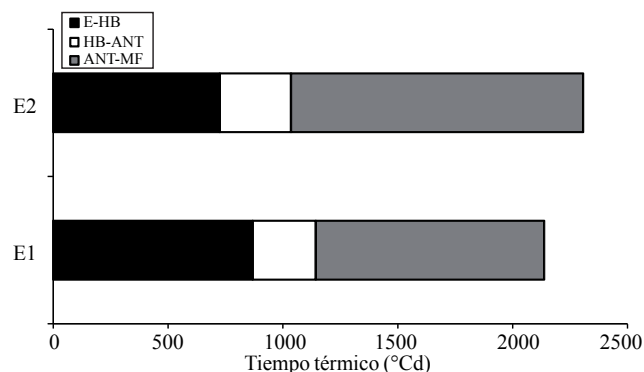


Figura 1. Duración de las principales etapas emergencia-hoja bandera (E-HB), hoja bandera-antesis (HB-ANT) y antesis-madurez fisiológica (ANT-MF), en función del tiempo térmico acumulado (°Cd), para dos ciclos agrícolas invierno-primavera 2012-2013 (E1) y verano-otoño 2013 (E2).

Figure 1. Duration of the main stages flag leaf-emergence (E-FL), flag leaf-anthesis (FL-ANT) and anthesis-physiological maturity (ANT-MF), depending on the accumulated thermal time (°Cd), for two winter-spring crop cycles 2012-2013 (E1) and summer-autumn 2013 (E2).

The conditions of precipitation and temperature during the experimental period are shown in Figure 2. It can be seen that, with the exception of the average maximum temperature, were contrasting environmental conditions for crop cycles, this confirms the constant climatic data for the area presented by INEGI (2009).

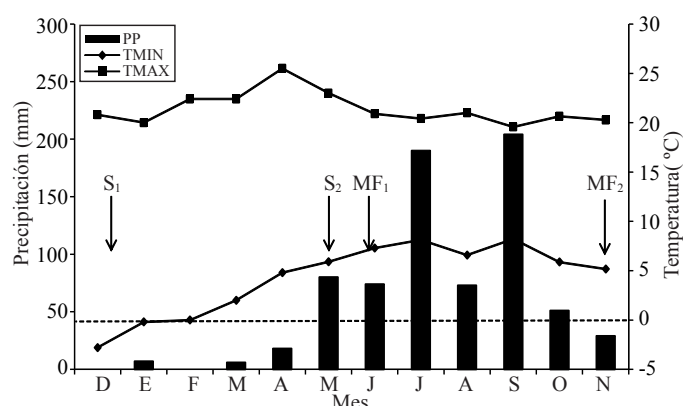


Figura 2. Precipitación (PP) y temperaturas promedio mensual (°C), máxima (TMAX) y mínima (TMIN). S₁=siembra, 15 de diciembre de 2012; S₂=siembra, 15 de mayo de 2013. MF₁=madurez fisiológica, 8 de junio de 2012; MF₂=madurez fisiológica, 15 de noviembre de 2013.

Figure 2. Precipitation (PP) and mean monthly temperature (°C), maximum (TMAX) and minimum (TMIN). S₁=sowing, December 15th, 2012; S₂=sowing, May 15th, 2013. MF₁=physiological maturity, June 8, 2012; MF₂=physiological maturity, November 15th, 2013.

nitrogenada en invierno en trigo. Dichos cambios se reflejaron en una reducción de macollos y en el rendimiento de grano (Hucklesby, 1971; Power y Alessi, 1978).

El número de granos y la biomasa a madurez fisiológica fueron los componentes que tuvieron una asociación clara y concisa con el rendimiento en los dos ciclos experimentales (Figura 3). Estas relaciones se han presentado en investigaciones con otros cereales. Arisnabarreta y Miralles (2006), estudiaron el efecto del N aplicado en el rendimiento de grano y sus componentes en cebada de dos y seis carreras. En ambos tipos de cebada, las variaciones en el rendimiento de grano fueron explicadas por cambios en el número de granos por unidad de área más que por diferencias en el peso de grano. Por otra parte, Abeledo *et al.* (2003), reportaron que el rendimiento de grano en trigo se asoció con el número de granos, que fue dependiente de las espigas por m² y del número de granos por espiga, también reportaron que la biomasa a madurez fisiológica explicó los cambios en el rendimiento.

Grain yield and yield components

The Table 2 shows the combined analysis of variance for treatment with doses of 0 and 150 kg ha⁻¹ is presented. For the year-treatment interaction, statistical significance (*p*< 0.05) for the evaluated variables was observed, indicating changes in the relative performance of treatments N fractionation through cycles of study; this can be attributed to the effect of variation in environmental conditions in cycles, and the heterogeneity of the N content present at the establishment of the experiments. With respect to environmental conditions, the results confirm that the availability of nitrogen after application is subject to weather conditions. Changes in the behaviour of treatments between crop cycles, have also been reported in relation to the practices of nitrogen fertilization on winter wheat. These changes were reflected in a reduction of tillers and grain yield (Hucklesby, 1971; Power and Alessi, 1978).

Cuadro 2. Valores de F del análisis de varianza combinado para el rendimiento de triticale en dos ciclos de cultivo. Table 2. Values of F of the combined analysis of variance for the yield of triticale in two crop cycles.

Fuente	GL	RG	PG	NG	BT	IC
Ciclo (C)	1	41.82**	158.62**	3.15ns	57.29**	5.69*
Repetición (C)	4	1.85ns	0.9ns	1.42ns	1.81ns	2.08ns
Tratamiento (T)	7	16.51**	4.17*	13.36**	14.02**	2.71*
C*T	7	2.64*	10.44*	2.9*	3.12*	2.97*
Error (CM)	28	2497.28	4.55	1510207	15513.85	0.00095
CV (%)		14.31	5.43	13.9	14.76	0.077

*=*p*<0.05; ** *p*<0.01; ns=no significativo; RG= rendimiento de grano; PG= peso de grano; NG= número de granos; BT= biomasa a madurez fisiológica; IC= índice de cosecha; CV= coeficiente de variación.

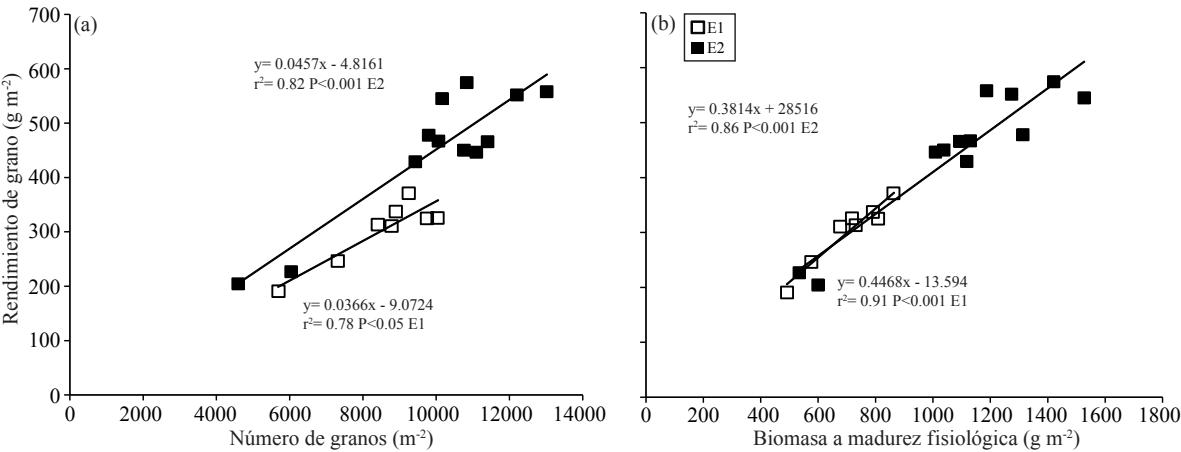


Figura 3. Relaciones entre rendimiento de grano y número de granos (a) y biomasa a madurez fisiológica; y (b) para dos ciclos agrícolas de triticale. Figure 3. Relationship between grain yield and number of grains (a) and biomass at physiological maturity; and (b) for two crop cycles triticale.

Efecto del fraccionamiento de nitrógeno sobre los componentes del rendimiento

Se observó una respuesta distinta del RG ante los tratamientos de fertilización nitrogenada en los dos ciclos experimentales (Figura 4). Siglo-TCL21, fue el cultivar que tuvo la mayor respuesta al incremento de la dosis de N; con 250 kg ha⁻¹, presentó el mayor RG (Figura 4b). Los máximos rendimientos de 5.58 t ha⁻¹ para Bicentenario y 5.74 t ha⁻¹ para Siglo-TCL21, se obtuvieron con 250 kg ha⁻¹, cuando el nitrógeno se fraccionó $\frac{2}{5}$ AM y $\frac{3}{5}$ ET (N6, Figura 4b); sin embargo, no se encontraron diferencias significativas con la aplicación fraccionada en tres etapas del cultivo, $\frac{2}{5}$ AM, $\frac{2}{5}$ ET y $\frac{1}{5}$ HB (N5, Figura 4b). Los resultados confirman lo reportado por Stephen *et al.* (2005), donde no hubo respuesta del rendimiento de grano de trigo a cantidades iguales de fertilizante aplicado en diferentes etapas de crecimiento, en 17 de 19 experimentos.

Ya que el N fue aplicado en una, dos ó tres fracciones en AM, ET y HB, es posible que otros fraccionamientos del N resulten en respuestas diferentes, ya que no se ha cuantificado la respuesta al N aplicado en diferentes etapas de desarrollo del cultivo. Las aplicaciones a la siembra, por ejemplo, han sido cuantificadas como de baja eficiencia, debido a que el N está disponible cuando las necesidades del cultivo son limitadas y el riesgo de pérdida por lixiviación o desnitrificación es mayor. En estudios realizados en trigo por Brian *et al.* (2007), se mostraron mayores rendimientos cuando el N fue aplicado en tres etapas (pre-siembra, amacollamiento y post-antesis) comparados con dos aplicaciones (pre-siembra y amacollamiento), y una aplicación (pre-siembra).

The number of grains and biomass at physiological maturity were the components that had a clear and concise association with performance in the two experimental cycles (Figure 3). These relationships have been presented in research with other cereals. Arisnabarreta and Miralles (2006) studied the effect of N applied in grain yield and its components in barley two six races. In both types of barley, variations in grain yield were explained by changes in the number of grains per unit area rather than differences in grain weight. Moreover, Abeledo *et al.* (2003) reported that grain yield in wheat was associated with the number of grains, which was dependent on spikes per m² and the number of grains per spike, also reported that biomass at physiological maturity explained the changes in performance.

Effect of fractionation of nitrogen on yield components

A different response from the RG to the nitrogen treatments in the two experimental cycles (Figure 4) was observed. Siglo-TCL21 was the cultivar had the highest response to increasing doses of N; 250 kg ha⁻¹, had the highest RG (Figura 4b). The maximum yield of 5.58 t ha⁻¹ for Bicentenario and 5.74 t ha⁻¹ for Siglo-TCL21 were obtained with 250 kg ha⁻¹, when nitrogen was fractionated $\frac{2}{5}$ TI, $\frac{3}{5}$ TS (N6, Figure 4b); however, no significant differences with split application in three stages of cultivation, $\frac{2}{5}$ TI, $\frac{2}{5}$ TS and $\frac{1}{5}$ FL (N5, Figure 4b) were found. The results confirm those reported by Stephen *et al.* (2005), where there was no response from wheat grain yield equal amounts of fertilizer applied at different stages of growth in 17 of 19 experiments.

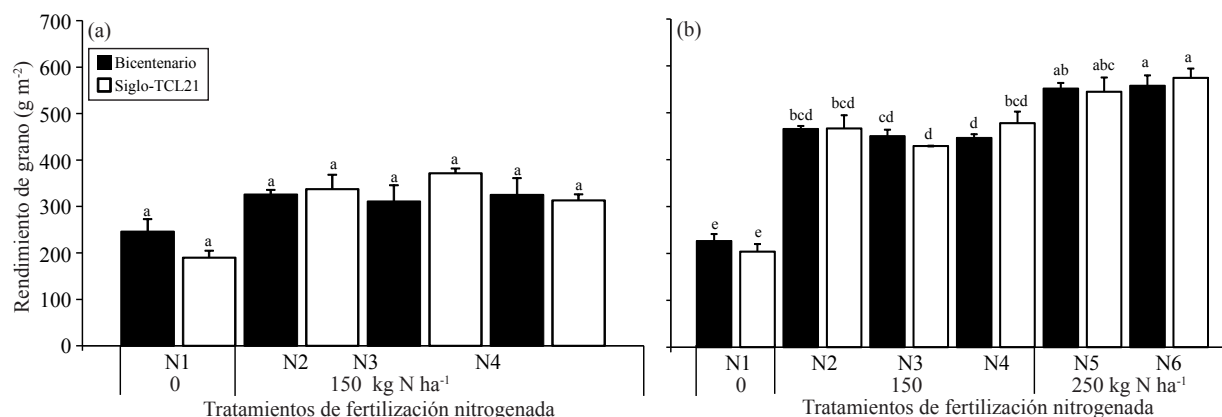


Figura 4. Rendimiento de grano en dos cultivares de triticale, como resultado del fraccionamiento de N en ciclos I-P (a); y (b) V-O.
Figure 4. Grain yield in two triticale cultivars, as a result of fractionation of N W-S (a) cycles; and (b) S-A.

En contraste, Tilahun Gelato *et al.* (2008), reportaron para trigo que, dos aplicaciones de N en siembra y amacollamiento resultaron en rendimientos significativamente mayores.

Since the N was applied in one, two or three fractions TI, TS and FL is possible that other subdivisions of N result in different answers as not quantified the response

Otros estudios concluyeron que la aplicación temprana de N (siembra y seis hojas), crea un mayor potencial de rendimiento que el N fraccionado en cuatro etapas (siembra, embuche, espigamiento y antesis) (Nel y Dijkhuis, 1990). Estas diferencias pueden explicarse por la respuesta al manejo del nitrógeno, determinado principalmente por la dosis de aplicación, momento de aplicación, fuente y forma de aplicación, además de las condiciones del suelo, clima y manejo del riego (Alva, 2004; Zebarth y Rosen, 2007).

La falta de respuesta de los cultivares al fraccionamiento de N en las diferentes etapas de aplicación, puede indicar que el N estuvo presente en las etapas de mayor demanda de este nutriente (amacollamiento, espiguilla terminal y hoja bandera), es decir, la falta de respuesta puede ser atribuida a la sincronía entre el tiempo de mayor demanda de N por el cultivo y el tiempo de disponibilidad de suficiente N para el crecimiento del cultivo en las diferentes etapas. Zafar y Muhammad (2007), reportaron que la sincronización entre la aplicación de N y la demanda del nutriente por el cultivo, especialmente en áreas con altas precipitaciones donde la lixiviación de nitratos es común, mejoró el rendimiento de grano.

Número de granos

A diferencia de lo observado en el E1, la fertilización afectó significativamente el NG en el E2 (Figura 5). En ambos experimentos la dosis de 0 kg ha⁻¹ presentó el menor NG para los dos cultivares. La aplicación de N fraccionado en uno, dos ó tres aportes, con dosis de 150 kg ha⁻¹, no tuvo efecto sobre el NG en ambos experimentos. El mayor NG se obtuvo con el cultivar Bicentenario y el tratamiento N6 (Figura 5b), donde el N se fraccionó en dos aplicaciones ($\frac{2}{5}$ AM y $\frac{3}{5}$ ET) con dosis de 250 kg ha⁻¹; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas con la aplicación fraccionada en tres etapas del cultivo ($\frac{2}{5}$ AM, $\frac{2}{5}$ ET y $\frac{1}{5}$ HB; N5). En ambos experimentos, Bicentenario presentó un mayor NG en los diferentes tratamientos de fertilización.

Estos resultados son similares a los obtenidos en trigo por Nel y Dijkhuis (1990), donde el fraccionamiento de N en diferentes etapas (200 kg ha⁻¹ de N en siembra, embuche, espigamiento y antesis), resultó en un menor NG que cuando el N se fraccionó en dos aportes (siembra y seis hojas). A su vez, en colza, Tamagno *et al.* (1999), reportaron mayor número de granos por m², cuando el N fue fraccionado en dos y tres etapas del cultivo, que en una sola aplicación (siembra). La mejor respuesta del cultivo a dosis de N repartidas en dos o tres aportes a lo largo de su ciclo de crecimiento, en

to N applied at different stages of crop development. Applications for planting have been quantified as low efficiency, because the N is available when the crop needs are limited and the risk of loss is higher lixiviación or denitrification. Studies in wheat by Brian *et al.* (2007), higher yields were shown when N was applied in three stages (pre-sowing, tillering and post-anthesis) compared with two applications (pre-sowing and tillering) and an application (pre-sowing).

In contrast, Tilahun Gelato *et al.* (2008) reported for wheat, two applications of N and tillering in planting resulted in significantly higher yields. Other studies concluded that early application of N (planting and six sheets) creates a higher yield potential than the N split into four stages (seed, boot stage, bolting and anthesis) (Nel and Dijkhuis, 1990). These differences can be explained by the response to nitrogen management, mainly determined by the application rate, timing, source and method of application, in addition to soil conditions, climate and irrigation management (Alva, 2004; Zebarth and Rosen, 2007).

The lack of response of cultivars fractionation of N at different stages of implementation, may indicate that the N was present in the periods of high demand for this nutrient (tillering, spikelet terminal and flag leaf), i.e., lack of response can be attributed to the synchrony between the time of peak demand for N by the crop and time of availability of sufficient N for crop growth at different stages. Zafar and Muhammad (2007) reported that the synchronization between the application of N and nutrient demand by the crop, especially in areas with high rainfall where nitrate leaching is common, improved grain yield.

Number of grains

Unlike the E1, fertilization significantly affect the NG in the E2 (Figura 5). In both experiments the dose of 0 kg ha⁻¹ presented the NG lower for the two cultivars. The application of N split into one, two or three contributions at doses of 150 kg ha⁻¹ had no effect on the NG in both experiments. The biggest NG was obtained with the cultivar Bicentenario and N6 (Figure 5b) treatment, where N is partitioned into two applications ($\frac{2}{5}$ TI and $\frac{3}{5}$ TS) with 250 kg ha⁻¹; however, no significant differences with split application in three stages of the crop ($\frac{2}{5}$ TI, $\frac{2}{5}$ TS and $\frac{1}{5}$ FL; N5) were found. In both experiments, Bicentenario presented a higher NG in different fertilization treatments.

comparación a la aplicación del N en sólo una etapa o dos aplicaciones tempranas, probablemente sea consecuencia de una mayor pérdida del N por lixiviación y volatilización.

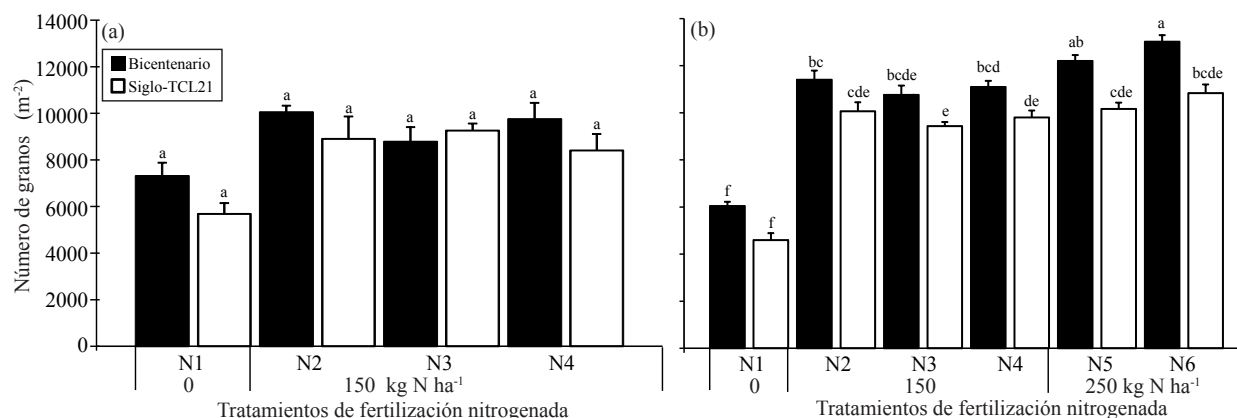


Figura 5. Número de granos en dos cultivares de triticale, como resultado del fraccionamiento de N en ciclos (a) I-P; y (b) V-O.
Figure 5. Number of grains of two triticale cultivars, as a result of fractionation of N cycles (a) W-S; and (b) S-A.

Peso de grano

En el E2 se obtuvieron mayores PG que en el E1 (Figura 6). En el ciclo I-P, (Figura 6a), el N fraccionado mostró PG similares en los tratamientos con aplicaciones en uno o dos aportes. Para el ciclo V-O, no se observaron diferencias en el PG de los cultivares cuando el N se fraccionó en dos o tres aportes con dosis de 250 kg ha⁻¹ (Figura 6b); los mayores PG se obtuvieron en el cultivar Siglo-TCL21, en los tratamientos N5 y N6, que fueron similares al PG obtenido en el tratamiento N4. El cultivar Siglo-TCL21, mostró mayor PG con el fraccionamiento de N en tres aportes (N5), con dosis de 250 kg ha⁻¹; sin embargo, no hubo diferencia con la aplicación de N en dos aportes (N6). El menor PG, se obtuvo con el cultivar Bicentenario con dosis de 0 kg ha⁻¹; sin embargo, este fue estadísticamente similar a la mayoría los tratamientos con excepción del N5 (Figura 3b). Esto confirma lo reportado en trigo por Lerner *et al.* (2013), donde no se presentaron diferencias significativas en el peso de 1000 granos cuando el N fue aplicado en dos etapas.

Biomasa a madurez fisiológica

Para ambos ciclos experimentales, la producción de biomasa a madurez fisiológica se incrementó en función del aumento de la dosis de fertilización nitrogenada (de 491 a 864 g m⁻² en el E1 y de 535 a 1527 g m⁻² en el E2). En el E2, con dosis de N comparables, la producción de biomasa fue mayor que en el E1 (Figura 7). En el E1, la mayor producción

These results are similar to those obtained in wheat Nel and Dijkhuis (1990), where N fractionation in different stages (200 kg N ha⁻¹ sowing boot stage, bolting and anthesis),

resulted in a lower NG when N is partitioned into two inputs (seed and six sheets). In turn, in rapeseed, Tamagno *et al.* (1999) reported higher number of seeds per m² when the N was split in two and three stages of the crop, which in one application (seeding). The best crop response to N rate spread over two or three contributions throughout their growth cycle, compared to the application of N in just a step or two early applications, probably due to a higher loss of N by leaching, and volatilization.

Grain weight

In the obtained PG E2, higher than E1 (Figure 6). In the W-S, (Figure 6a) cycle, the fractional N PG showed similar treatments applications in one or two contributions. For S-A cycle, no difference in the PG of the cultivars were observed when the N was fractionated into two or three contributions to 250 kg ha⁻¹ (Figure 6b); PG older were obtained in the cultivar Siglo-TCL21, N5 and N6 in the treatments were similar to that obtained in treatment PG N4. The cultivar Siglo-TCL21 showed higher PG N splitting into three contributions (N5), with 250 kg ha⁻¹ however, there was no difference with the application of N into two contributions (N6). The lower PG, was obtained with the cultivar Bicentenario with doses of 0 kg ha⁻¹; however, this was statistically similar to most treatments except N5 (Figure 3b). This confirms that reported in wheat by Lerner *et al.* (2013), where no significant difference in the weight of 1 000 grains when the N is up and filed was applied in two stages.

de biomasa a MF fue del cultivar Siglo-TCL21, con 150 kg ha⁻¹, fraccionado en ½ AM y ½ ET; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas cuando el N se aplicó todo en AM o se fraccionó en tres aplicaciones (⅓ AM, ⅓ ET y ⅓ HB); la producción de biomasa en ambos cultivares no presentó diferencias significativas entre los tratamientos con dosis de 0 y 150 kg ha⁻¹ (Figura 7a). En la Figura 7b, se observa que para los tratamientos con dosis de 150 kg ha⁻¹ en ambos cultivares, la producción de biomasa fue similar cuando el N se aplicó en una, dos o tres fracciones. La mayor producción de biomasa a MF, fue la del cultivar Siglo-TCL21 con 250 kg ha⁻¹, fraccionado en ⅔ AM, ⅔ ET y ⅓ HB, tratamiento superior en 17% a la producción de biomasa del cultivar Bicentenario para ese mismo tratamiento. El incremento en la producción de materia seca con el aumento de la dosis de aplicación de N, ha sido reportado en trigo por diversas investigaciones (Oscarson, 2000; Adjetej *et al.*, 2001).

Biomass at physiological maturity

In both experimental, the production of biomass to physiological maturity increased according to the increase of N fertilizer (from 491 to 864 g m⁻² and the E1 535-1 527 in the E2 g m⁻²). In E2, with comparable N rate, biomass production was higher than E1 (Figure 7). In E1, increased production of biomass MF was the cultivar Siglo-TCL21 with 150 kg ha⁻¹, fractionated in ½ TI and ½ TS; however, no significant differences were found when N was applied in all TI or split into three applications (⅓ TI, ⅓ TS and ⅓ FL); biomass production in both cultivars showed no significant differences between treatments with doses of 0 and 150 kg ha⁻¹ (Figure 7a). In Figure 7b, it is observed that for the treatments with 150 kg ha⁻¹ in both cultivars, biomass production was similar when the N was applied in one, two or three fractions. Increased production of biomass MF was the cultivar Siglo-TCL21 with 250 kg ha⁻¹, split in ⅔ TI, ⅔

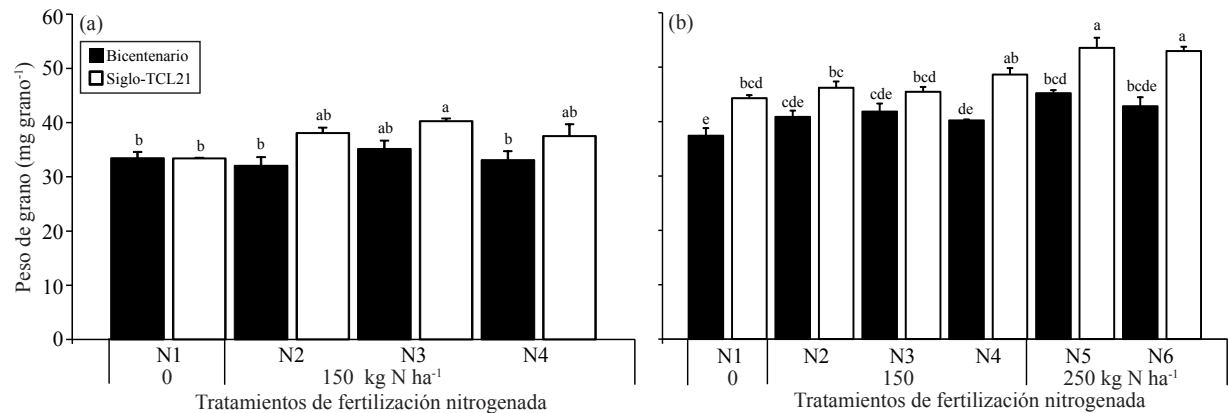


Figura 6. Peso de grano en dos cultivares de triticale, como resultado del fraccionamiento de N en ciclos (a) I-P; y (b) V-O.
Figure 6. Grain weight in two triticale cultivars, as a result of fractionation of N cycles (a) W-S; and (b) S-A.

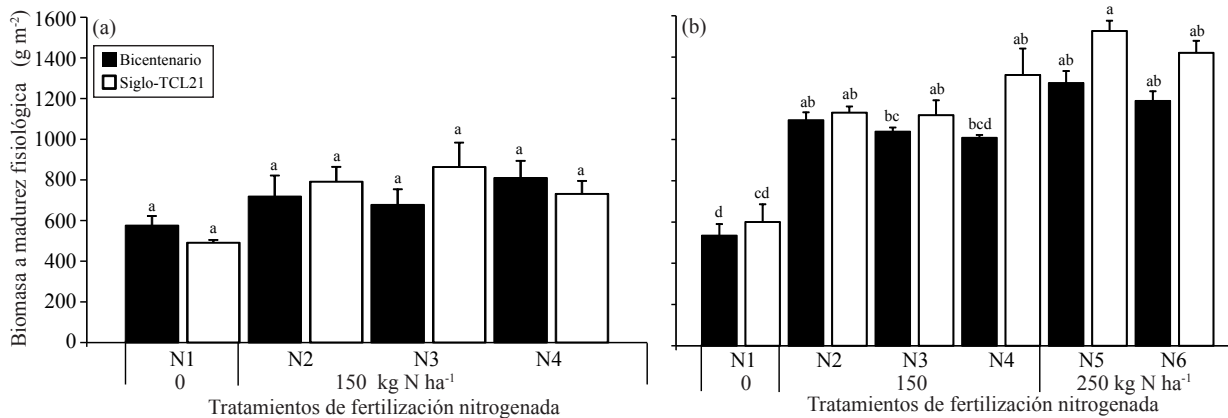


Figura 7. Biomasa a madurez fisiológica en dos cultivares de triticale, como resultado del fraccionamiento de N en ciclos (a) I-P; y (b) V-O.
Figure 7. Biomass to physiological maturity of two triticale cultivars, as a result of fractionation of N cycles (a) W-S; and (b) S-A.

Conclusiones

Con las condiciones experimentales propuestas, de los resultados obtenidos se puede concluir:

La disponibilidad de N genera una respuesta positiva en el rendimiento y biomasa de triticale.

Cuando todo el N se aplica en la etapa de amacollamiento, no se justifican posteriores fraccionamientos del fertilizante.

Se considera que el aprovechamiento del nitrógeno disponible y, por ende, la respuesta del cultivo a la fertilización, están asociados principalmente, a las condiciones climáticas del ciclo de cultivo.

Agradecimientos

Esta investigación fue desarrollada bajo los auspicios del proyecto 3091/2011 de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), y financiada por beca del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), de México. Los materiales vegetativos fueron proporcionados por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX).

Literatura citada

- Abeledo, L. G.; Calderini, D. F. and Slafer, G. A. 2003. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley. *Euphytica* 133:291-298.
- Adjetey, J. A.; Searle, P. G. E. and Campbell, L. C. 2001. Rate and timing of nitrogen fertilizer applications on wheat grown under dryland and supplementary irrigation, South African J. Plant Soil. 18(1):15-20.
- Alva, A. 2004. Potato nitrogen management. *J. Veg. Crop Prod.* 10:97-130.
- Amanullah and Paigham S. 2010. Nitrogen rates and its time of application influence dry matter partitioning and grain yield in maize planted at low and high densities. *J. Plant Nutr.* 34(2):224-242.
- Arisnabarreta, S. and Miralles, D. J. 2006. Yield responsiveness in two- and six-rowed barley grown in contrasting nitrogen environments. *J. Agron. Crop Sci.* 192(3):178-185.
- Brian, N. O.; Mohamed, M. and Joel, K. R. 2007. Seeding rate and nitrogen management effects on spring wheat yield and yield components. *Am. J. Agron.* 99:1615-1621.
- TS and $1/5$ FL, superior treatment in 17% to the production of biomass cultivar Bicentenario for the same treatment. The increase in dry matter yield with increasing N application rate, has been reported by several research wheat (Oscarson, 2000; Adjetey *et al.*, 2001).

Conclusions

With the experimental conditions proposed, the results concluded:

The availability of N generates a positive response in biomass yield and triticale.

When all the N is applied to the tillering stage, subsequent divisions are not justified fertilizer.

It is considered that the use of the available nitrogen and therefore, crop response to fertilization, are associated principally with the climatic conditions of the crop cycle.

End of the English version



- Cai, J.; Jiang, D.; Liu, F.; Dai, T. and Cao, W. 2011. Effects of split nitrogen fertilization on post-anthesis photoassimilates, nitrogen use efficiency and grain yield in malting barley. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 61(5):410-420.
- Campillo, R. R.; Jobet, F. C. y Undurraga, D. P. 2007. Optimización de la fertilización nitrogenada para trigo de alto potencial de rendimiento en andisoles de la región de la araucanía, Chile. *Chile. Agric. Téc.* 67(3):281-291.
- Golik, S. y Chidichimo, H. 2002. Biomasa y acumulación de nitrógeno en trigo bajo dos sistemas de labranza y fertilización nitrogenada. *Ciencia del suelo*. 20(2):122-124.
- Hucklesby, D. P.; Brown, C. M.; Howell, S. E. and Hageman, R. H. 1971. Late spring applications of nitrogen for efficient utilization and enhanced production of grain and grain protein of wheat. *Agron. J.* 63:274-276.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Toluca, México. Clave geoestadística 15106. INEGI. México, D. F.
- Kernich, G. C. and Halloran, G. M. 1996. Temperature effects of the duration of the spikelet growth phase and spikelet abortion in barley. *J. Agron. Crop Sci.* 176:23-29.
- Kichey, T.; Hirel, B.; Heumez, E.; Dubois, F. and Le Gouis, J. 2007. In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilisation to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. *Field Crops Res.* 102:22-32.

- Ledesma, L.; Solís, E.; Suaste, M del P. y Rodríguez, M. F. 2010. Relación de métodos de labranza, siembra, riego y dosis de nitrógeno con el rendimiento de trigo. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(1):55-63.
- Lerner, S. E.; Arrigoni, A. C. y Arata, A. F. 2013. Uso del nitrógeno y calidad industrial en cultivares argentinos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.). *Rev. Inv. Agrop.* 39(1):77-87.
- López-Castañeda, C. 2006. Eficiencia en el uso de la precipitación en cereales en ambientes de secano. *Terra Latinoamericana.* 24(4):477-487.
- Mohammed, A.; Kelly, J.; Chim, K.; Rutto, E.; Waldschmidt, K.; Mullock, J.; Torres, G.; Girma, K. and Raun, W. 2013. Nitrogen fertilizer management for improved grain quality and yield in winter wheat in oklahoma. *J. Plant Nutrit.* 36(5):749-761.
- Moreno, A.; Moreno, M. M.; Ribas, F. and Cabello, M. J. 2003. Influence of nitrogen fertilizer on grain yield of barley (*Hordeum vulgare* L.) under irrigated conditions. *Spanish J. Agric. Res.* 1:91-100.
- Nel, A. A. and Dijkhuis, J. F. 1990. The effect of seeding rate, timing of nitrogen application and frequency of irrigation on wheat growth, yield and water use South African. *J. Plant Soil.* 7(3):163-166.
- Newbould, P. 1989. The use of nitrogen fertilizer in agriculture. Where do we go practically an ecologically? *Ecology of arable land* (Eds.). Clarholm, M. and Bergström, L. Kluwer, Dordrecht. 281-295 pp.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. 2002. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial (Segunda Sección)*. México, D. F., 85 p.
- Oscarson, P. 2000. The strategy of the wheat plant in acclimating growth and grain production to nitrogen availability. *J. Exp. Bot.* 51(352):1921-1929.
- Parodi, P. 2003. Mayor eficiencia en el uso del nitrógeno puede aumentar la rentabilidad del trigo y hacerlo más amigable hacia el ambiente. *In: Kohli, M. M.; Díaz, M. y Castro, M. (Eds.). In: Seminario Internacional Estrategias y Metodologías Utilizadas en el Mejoramiento de Trigo, La Estanzuela, Uruguay. 8-11 de octubre de 2001. CIMMYT-INIA, Colonia, Uruguay. 275-283 pp.*
- Power, J. F. and Alessi J. 1978. Tiller development and yield of standard and semidwarf spring wheat varieties as affected by nitrogen fertilizer. *J. Agric. Sci.* 90:97-108.
- Salas, C. 2003. Nutrición mineral de plantas y el uso de fertilizantes. *In: Meléndez, G. y Molina, E. (Eds.). Fertilizantes: características y manejo. Centro de Investigaciones Agronómicas, UCR, San José. 1-19 pp.*
- Sreekala, G.; Bajwa, A. M. and Norman, J. R. 2010. Dynamics of plant nitrogen accumulation in rice in response to nitrogen management. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 41(4):454-471.
- Sotelo, E.; González, A.; Cruz, G.; Moreno, F. y Ochoa, S. 2010. La clasificación FAO-WRB y los suelos del Estado de México. *INIFAP. México, D. F.*, 159 p.
- Stephen, R. C.; Saville, D. J. and Drewitt, E. G. 2005. Effects of wheat seed rate and fertiliser nitrogen application practices on populations, grain yield components and grain yields of wheat (*Triticum aestivum*). *New Zealand J. Crop Hortic. Sci.* 33(2):125-138.
- Tamagno, L. N.; Chamorro, A. M. y Sarandón, S. J. 1999. Aplicación fraccionada de nitrógeno en colza (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera forma annua*). Efectos sobre el rendimiento y la calidad de la semilla. *Rev. Fac. Agron. La Plata.* 104(1):25-34.
- Tilahun, G.; Feyissa, T.; Kedir, N.; Genene, G.; Habtamu, S.; Ashinie, B. and Abdo. W. 2008. Recommendations of production management practices. *In: Kedir, N.; Tilahun, G. and Allo, A. (Eds.). Fifteen years achievements. Oromia Agricultural Research Institute, Sinana Agricultural Research Center, Bale Robe, Ethiopia. 259:39-46.*
- Varughese, G. 1996. Triticale: present status and challenges ahead. *In: Guees-Pinto, H.; Darvey, N. and Carnide, V. P. (Eds.). Triticale: today and tomorrow. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. 13-20 pp.*
- Xinkai, Z.; Wenshan, G.; Jinfeng, D.; Chunyan, L.; Chaonian, F. and Yongxin, P. 2011. Enhancing nitrogen use efficiency by combinations of nitrogen application amount and time in wheat. *J. Plant Nutrit.* 34(12):1747-1761.
- Zafar, J. and Muhammad, F. C. 2007. Effects of soil and foliar application of different concentrations of NPK and foliar application of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ on growth and yield attributes in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Pl. Sci.* 13(2):119-128.
- Zebarth, B. J. and Rosen, C. J. 2007. Research perspective on nitrogen BMP development for potato. *Amer. J. Potato Res.* 84:3-18.