

Fraccionamiento de nitrógeno: eficiencia de recuperación y concentración proteica en triticale (*xTriticosecale* Wittmack)*

Fractionation of nitrogen recovery efficiency and protein concentration in triticale (*xTriticosecale* Wittmack)

Elia Ballesteros Rodríguez¹, Víctor Manuel Vaca García¹, Edgar Jesús Morales Rosales², Omar Franco Mora², Benjamín Zamudio González³ y Francisco Gutiérrez Rodríguez^{2§}

¹Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales- Universidad 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; vic.charger@gmail.com). ²Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento- Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma del Estado de México. 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). ³Campo Experimental del Valle de Toluca-INIFAP. Boulevard Adolfo López Mateos, km 4.5 de la carretera Toluca a Zitácuaro, Col. San José Barbabosa, Zinacantepec, Estado de México, C. P. 51350. Tel: 55 3871 8700 Ext. 85639. (bzamudiog@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: fgfrfca@hotmail.com.

Resumen

La eficiencia de recuperación de fertilizante nitrogenado es afectada por el momento de aplicación y la forma en que se distribuye el nitrógeno en los cultivos. El objetivo del presente estudio, fue determinar la eficiencia de recuperación de nitrógeno (ERN), aplicado al suelo en forma fraccionada en tres etapas fenológicas del cultivo, del triticale (*xTriticosecale* Wittmack). Se realizaron dos experimentos en campo (E1 y E2) en diferentes sitios del Estado de México, durante 2013. Los tratamientos consistieron en la aplicación fraccionada de dosis de 0, 150 y 250 kg ha⁻¹ de nitrógeno, durante tres etapas fenológicas del cultivo: macollaje, espiguilla terminal y hoja bandera. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se cuantificó el contenido de nitrógeno en grano, biomasa aérea, porcentaje de proteína y el nitrógeno recuperado por el cultivo. La ERN en grano en el E1 fue entre 29 y 34.5%, mientras que para el E2, se obtuvieron valores entre 13 y 36%. En el E1 no se observaron diferencias por el fraccionamiento de N aplicado en los tratamientos y entre cultivares; para E2, se observaron diferencias entre cultivares. El triticale presentó 0.5% de nitrógeno en su parte aérea para el E1, y 1.2% para el E2; en

Abstract

The recovery efficiency of nitrogen fertilizer is affected by the timing and the mood in which the nitrogen is distributed in crops. The aim of this study was to determine the recovery efficiency of nitrogen (ERN), applied to the soil in installments in three phenological stages of the crop, triticale (*xTriticosecale* Wittmack). Two experiments in the field (E1 and E2) at different sites of the State of Mexico were conducted during 2013. The treatments consisted of application of fractional doses of 0, 150 and 250 kg ha⁻¹ nitrogen for three phenological stages of the crop: tillering, terminal spikelet and leaf flag. The experimental design was randomized complete block design with three replications. The nitrogen content in grain, biomass, and the percentage of protein nitrogen recovered by cultivation quantitated. The grain ERN in E1 was 34.5% between 29 and while for E2, values between 13 and 36% were obtained. In the E1 no differences were observed by the fractionation of N applied in treatments and among cultivars; E2, differences between cultivars were observed. Triticale showed 0.5% nitrogen in the aerial part for E1 and E2 1.2% for grain a value of 1.8% was achieved for both experiments. Fractionation of nitrogen

* Recibido: enero de 2016
Aceptado: marzo de 2016

grano se alcanzó un valor de 1.8% para ambos experimentos. El fraccionamiento de la fertilización nitrogenada no afectó los parámetros de concentración de nitrógeno en los tejidos, ni la ERN, aún en las aplicaciones en la etapa de hoja bandera.

Palabras clave: *xTriticosecale* Wittmack, biomasa aérea, grano.

Introducción

La fertilización nitrogenada (FN) en cereales, juega un papel relevante en la absorción de nitrógeno (N) y en el rendimiento de grano; asimismo, es un factor significativo en el impacto económico de la producción de estos cultivos (Shrawat *et al.*, 2008; Campillo *et al.*, 2010). Actualmente, se considera que la utilización de altas dosis de N en la fertilización de cereales, requiere de un manejo cuidadoso del fraccionamiento de este nutriente, a fin de minimizar sus pérdidas y mejorar su eficiencia de uso (Campillo *et al.*, 2007). Diversos estudios sostienen que, la aplicación fraccionada de N, mediante la aplicación de diversas dosis con base en las necesidades del cultivo, ha mejorado su aprovechamiento en términos de rendimiento y contenido de N en grano (Ron y Loewy, 2000; Johansson *et al.*, 2001; López- Bellido *et al.*, 2004; Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2012); en este sentido, Arregui *et al.* (2008), también sostienen que es necesaria una mayor sincronización entre la demanda del cultivo y el suplemento de nutrientes del suelo, con el fin de mejorar la eficiencia de su utilización y lograr el máximo aprovechamiento en la absorción de N. Por otra parte, Ron y Loewy (1996), afirman que en suelos con altas deficiencias de N, el fraccionamiento de la FN es un recurso adecuado para solucionar el problema.

El momento de fertilización tiene importantes efectos en la recuperación del N por parte del cultivo (Golik *et al.*, 2003). Baligar *et al.* (2001) y Tonitto *et al.* (2006) estiman que, debido a un momento de fertilización inapropiado, más de 50% del N no es aprovechado por el cultivo. La eficiencia de recuperación del N (ERN), es afectada por el momento de aplicación y la forma en que se distribuye de acuerdo a la demanda del cultivo y a la capacidad fisiológica del mismo (Raun y Johnson, 1999; Castro-Luna *et al.*, 2005; Shanahan *et al.*, 2008). Se ha reportado que dicha eficiencia en cereales, a nivel mundial, es de 33% (Raun y Johnson, 1999). En México, también se estima una baja ERN (alrededor de 39%), debido a pérdidas por lixiviación, desnitrificación y volatilización (Hatch *et al.*, 1998; Ortiz, 2009).

fertilization did not affect the parameters of nitrogen concentration in tissues, or ERN, even in applications in the flag leaf stage.

Keywords: *xTriticosecale* Wittmack, biomass, grain.

Introduction

Nitrogen fertilization (FN) in cereals, plays an important role in the absorption of nitrogen (N) and grain yield; it is also a significant factor in the economic impact of the production of these crops (Shrawat *et al.*, 2008; Campillo *et al.*, 2010). Currently, it is considered that the use of high doses of N in the fertilization of cereal, requires careful management division of this nutrient, in order to minimize losses and improve efficiency of use (Campillo *et al.*, 2007). Several studies argue that the split application of N, by applying various doses based on crop needs, has improved its utilization in terms of yield and N content in grain (Ron y Loewy, 2000; Johansson *et al.*, 2001; Lopez- Bellido *et al.*, 2004; Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2012); in this regard, Arregui *et al.* (2008) also argue that greater synchronization between crop demand and soil nutrient supplement in order to improve the efficiency of its use and maximum utilization in the absorption of N. Moreover it is necessary, Ron and Loewy (1996) state that in soils with high deficiencies of N, fractionation of FN is an appropriate remedy to solve the problem.

The moment of fertilization has important effects on the recovery of N by the crop (Golik *et al.*, 2003). Baligar *et al.* (2001) and Tonitto *et al.* (2006) estimate that, due to inappropriate time of fertilization, over 50% of N is not utilized by the culture. The recovery efficiency of N (ERN), is affected by the timing and the way it is distributed according to crop demand and physiological capacity (Raun y Johnson, 1999; Castro-Luna *et al.*, 2005; Shanahan *et al.*, 2008). It has been reported that such efficiency cereals, worldwide, is 33% (Raun and Johnson, 1999). In Mexico, one ERN (about 39%) is also lower estimated losses due to leaching, denitrification and volatilization (Hatch *et al.*, 1998; Ortiz, 2009).

The effects of fractionation of the FN in the ERN in triticale (*xTriticosecale* Wittmack), has not yet been reported, so this research was proposed as objectives, determine the effect of soil application of FN, in different doses and times on

Los efectos del fraccionamiento de la FN en la ERN en triticale (*xTriticosecale* Wittmack), aún no se han reportado, por lo que la presente investigación se planteó como objetivos, determinar el efecto de la aplicación al suelo de FN, en distintas dosis y momentos, sobre el contenido de proteína en grano, el contenido de nitrógeno en la biomasa aérea en madurez fisiológica y en la ERN del cultivo de triticale.

Materiales y métodos

Se establecieron dos experimentos bajo condiciones de campo y temporal durante el ciclo de cultivo verano-otoño de 2013. El experimento 1 (E1), se ubicó en la localidad de Zacamulpa Huitzilapan, Lerma, Estado de México, México (18° 17' 49" latitud norte, 99° 39' 38" 0; 2 750 msnm), con un clima para la localidad clasificado como semifrío sub-húmedo con lluvias en verano, un rango anual de precipitación de 800 a 1 300 mm y temperatura media anual de 11 °C (INEGI, 2009). El suelo del área experimental se clasificó como Cambisol (Sotelo *et al.*, 2010), con prácticas de cultivo de maíz bajo labranza mínima (un pase de barbecho y uno de rastra, con 30% de rastrojo) por más de 10 años.

El experimento 2 (E2), fue establecido en el municipio de San Antonio La Isla, Estado de México, México (19° 43' 33 latitud norte, 98° 53' 45" 0; 1 300 msnm), en un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación total anual de 800 milímetros y temperatura media anual de 14 °C (INEGI, 2009). El suelo del E2 fue clasificado como Fluvisol (Sotelo *et al.*, 2010), con prácticas de cultivo de maíz y avena, bajo labranza convencional, por un periodo no menor a cinco años. Previo a la siembra, se obtuvieron muestras de suelo (de 0 a 30 cm de profundidad) de cada área de estudio para la determinación de pH, materia orgánica (MO, %), nitrógeno total (N, kg ha⁻¹) y densidad aparente (DA, g cm³) según la NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002).

En ambos experimentos se evaluaron las variedades comerciales de triticale correspondientes a los cultivares Siglo-TCL21 y Bicentenario, con tratamientos de FN descritos en el Cuadro 1. Además de las dosis de N señaladas, se aplicaron en amacollamiento 46 unidades de fósforo (kg ha⁻¹, P) y 30 unidades de potasio (kg ha⁻¹, K). La siembra se realizó manualmente utilizando 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

the grain protein content, nitrogen content in aboveground biomass at physiological maturity and the ERN cultivation of triticale.

Materials and methods

Two experiments under field conditions and time were established during the growing season summer-autumn 2013. Experiment 1 (E1), was located in the town of Zacamulpa, Huitzilapan, Lerma, State of Mexico, Mexico (18° 17' 49" north latitude, 99° 39' 38" 0; 2 750 m), with a climate for local classified as semi-cold sub-humid with summer rainfall, annual precipitation range from 800 to 1 300 mm and average temperature annual of 11 °C (INEGI, 2009). The soil of the experimental area was classified as Cambisol (Sotelo *et al.*, 2010), with maize cultivation practices under minimum tillage (a pass fallow and one of Dredge, with 30% of stover) for more than 10 years.

The experiment 2 (E2), it was established in the municipality of San Antonio La Isla, State of Mexico, Mexico (19° 43' 33" north latitude, 98° 53' 45" 0; 1 300 m), in a temperate climate subhumid with summer rains, with a total annual rainfall of 800 millimeters and an average annual temperature of 14 °C (INEGI, 2009). The soil E2 was classified as Fluvisol (Sotelo *et al.*, 2010), with practices corn and oats, under conventional tillage, for not less than five years. Before planting, soil samples (from 0 to 30 cm depth) of each area of study for the determination of pH, organic matter (MO, %), total nitrogen (N, kg ha⁻¹) and density were obtained apparent (DA, g cm³) according to NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002).

In both experiments commercial varieties of triticale corresponding to the century-TCL21 and Bicentennial cultivars with FN treatments described in Table 1. In addition to the doses of N identified were evaluated, they were applied in tillering 46 units of phosphorus (kg ha⁻¹, P) and 30 units of potassium (kg ha⁻¹, K). Planting was done manually using biodegradable paper tapes with equidistant between 1.5 cm seeds and planting density of 333 seeds per m² for both experiments. The experimental plot consisted of six rows 3 m long spaced 0.20 m (3.6 m² of total area), with a distance between plots of 0.5 m. The useful plot for measurements consisted of an area of 0.4 m², consisting of two central rows of 1 m in length. Weeds were controlled

en seis surcos de 3 m de largo separados a 0.20 m (3.6 m² de área total), con una distancia entre parcelas de 0.5 m. La parcela útil para mediciones consistió en un área de 0.4 m², formada por dos surcos centrales de 1 m de longitud. Las malezas se controlaron manualmente durante todo el ciclo del cultivo para evitar la competencia por N aplicado. Durante el periodo experimental no se registró presencia de plagas y/o enfermedades en el cultivo.

Obtención de muestras

Se cosecharon de forma manual plantas de los dos surcos centrales de cada unidad experimental, tomando una muestra de 2 m lineales para determinar la biomasa a madurez fisiológica (g m⁻²) y el rendimiento de grano (RG, g m⁻²). 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.

De las muestras colectadas, se tomó una submuestra de biomasa aérea (tallo + paja) y otra de grano, moliéndose cada una por separado para determinar el contenido de proteína en grano y el contenido de N total por el método Kjeldahl (Golik *et al.*, 2003).

Eficiencia de recuperación de nitrógeno

La ERN, se calculó mediante el método de la diferencia entre el N absorbido en las parcelas por las plantas fertilizadas (NPF, kg ha⁻¹) y las no fertilizadas o testigo (NPT, kg ha⁻¹), según la fórmula propuesta por Lerner (2013):

$$ERN = \frac{NPF - NPT}{N} \times 100$$

Donde: N es el nitrógeno aplicado en kg ha⁻¹.

A su vez, los parámetros relacionados con la acumulación de nitrógeno fueron calculados de acuerdo con las fórmulas propuestas por Nikolic *et al.* (2012):

$$ICN = \frac{N_g}{N_b}$$

Donde: ICN es índice de cosecha de nitrógeno, N_g es nitrógeno en grano (kg ha⁻¹) y N_b es contenido de nitrógeno en biomasa aérea (kg ha⁻¹).

Por último, el porcentaje relativo de partición de nitrógeno (PRPN, %) se calculó mediante la siguiente fórmula:

manually throughout the crop cycle to avoid competition for N applied. During the experimental period no presence of pests and / or diseases in the crop was recorded.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos de fertilización nitrogenada para los cultivares de triticales en ambos sitios experimentales en primavera-verano, 2013.

Table 1. Description of nitrogen fertilization treatments for triticales cultivars in both experimental sites in spring-summer, 2013.

Tratamientos en: (AM, ET y HB)	Fracción de N y etapa de aplicación [†]			Dosis total de N kg ha ⁻¹
	AM	ET	HB	
N1 (testigo)	0	0	0	0
N2 (50,50,50)	1/3	1/3	1/3	150
N3 (75,75,0)	1/2	1/2	0	150
N4 (150,0,0)	1	0	0	150
N5 (100,100,50)	2/5	2/5	1/5	250
N6 (100,150,0)	2/5	3/5	0	250

[†]AM= amacollamiento; ET= espiguilla terminal; HB= hoja bandera.

Sampling

Harvested manually plants of the two central rows of each experimental unit, taking a sample of 2 linear m to determine the biomass at physiological maturity (g m⁻²) and grain yield (RG, g m⁻²). 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.

Of the samples collected, a subsample of biomass (stem + straw) and other grain was taken, stoneground each separately to determine the protein content in grain and total N content by Kjeldahl method (Golik *et al.*, 2003).

Nitrogen recovery efficiency

The ERN, was calculated by the method of the difference between the N absorbed into parcels for fertilized plants (NPF, kg ha⁻¹) and unfertilized or witness (NPT kg ha⁻¹), according to the formula proposed by Lerner (2013):

$$ERN = \frac{NPF - NPT}{N} \times 100$$

Where: N is the nitrogen applied in kg ha⁻¹.

$$\text{PRNP} = \frac{\text{NYP}}{\text{N}_g \text{ ó } \text{N}_{ba}} \times 100$$

Donde: NYP es el contenido de nitrógeno total en la planta (grano + paja); N_g es el contenido de nitrógeno en grano; y N_{ba} es el contenido de nitrógeno en biomasa aérea.

Diseño experimental y análisis estadístico

En ambos sitios experimentales, el arreglo de los tratamientos fue bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) para cada experimento, de manera individual y combinada, utilizando el software SAS (Statistical Analysis System, 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.

Resultados y discusión

Propiedades del suelo del área experimental

Según la determinación de la fertilidad del suelo de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002), los suelos de los sitios experimentales se clasifican como neutros (6.6-7.1 pH), con niveles medios de MO (6.6-6.7%) y niveles de N total de medios (35 kg ha⁻¹ para E1) a muy altos (100 kg ha⁻¹ para E2); a su vez, los valores obtenidos de DA (1.07 y 0.7 g cm³ para E1 y E2 respectivamente), refieren a suelos con bajos niveles de compactación.

Contenido de nitrógeno y porcentaje de proteína

En el Cuadro 2 se presenta un análisis de varianza combinado de las distintas variables para los dos ciclos experimentales. El RG y la biomasa a madurez fisiológica se relacionaron con el contenido de N total en la planta en los dos sitios experimentales (Figura 1); estos resultados corresponden con los obtenidos por Emam *et al.* (2009) y Nikolic (2009), en cereales, y los de Samonte *et al.* (2006), en otros cultivos. En ambos ciclos experimentales se observa una tendencia de mayor (%), de N en grano con el aumento de la dosis de N;

In turn, the parameters related to the accumulation of nitrogen were calculated according to the formula proposed by Nikolic *et al.* (2012):

$$\text{ICN} = \frac{\text{N}_g}{\text{N}_b}$$

Where: ICN is nitrogen harvest index, grain, N_g is nitrogen (kg ha⁻¹) and N_b is nitrogen content in aboveground biomass (kg ha⁻¹).

Finally, the relative percentage of nitrogen partition (PRPN, %) was calculated by the following formula:

$$\text{PRNP} = \frac{\text{NYP}}{\text{N}_g \text{ ó } \text{N}_{ba}} \times 100$$

Where: NYP is the total nitrogen content in the plant (grain + straw); N_g is the nitrogen content in grain; and N_{ba} is the nitrogen content in aboveground biomass.

Experimental design and statistical analysis

In both experimental sites, the arrangement of treatments under an experimental design was randomized complete block with three replications. The data obtained were subjected to an analysis of variance (ANOVA) for each experiment, individually and combined, using SAS (Statistical Analysis System, V.6.12, USA) software. 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. The relationships between variables were obtained by regression analysis and adjusted to linear, bilinear or sigmoid models.

Results and discussion

Soil properties of the experimental area

According to the determination of soil fertility NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002), the soils of the experimental sites are classified as neutral (pH 6.6-7.1), with average levels of MO (6.6-6.7%) and levels of total N of means (35 kg ha⁻¹ for E1) to very high (100 kg ha⁻¹ for E2); in turn, the values obtained from DA (1.07 and 0.7 g cm³ E1 and E2 respectively), refer to soils with low levels of compaction.

es decir, el N aplicado tuvo efecto, aunque relativamente bajo, sobre el contenido de N en grano (incrementos de 0.35 y 0.29% en promedio de los tratamientos E1 y E2, respectivamente), comparado con el contenido de N nativo del suelo de los tratamientos dónde no se realizó aplicación de fertilizante (N1).

Nitrogen content and protein content

In the Table 2 provides an analysis of variance combined different variables for the two experimental cycles is presented. The RG and biomass at physiological maturity related to the content of total N in the plant

Cuadro 2. Valores de F del análisis de varianza combinado para (%) de nitrógeno en grano, biomasa aérea y proteína en grano. Table 2. Values of F combined analysis of variance (%) of nitrogen in grain, biomass and grain protein.

Fuente	GL	N _G	N _{BA}	PRO _G	ERN	ICN
Sitio (S)	1	12.8**	2384.7**	17.7**	36.32**	579*
Repetición (S)	4	0.52ns	2.31ns	0.47ns	0.66ns	1.01ns
Tratamiento (T)	11	28.36**	63.13**	24.47**	35.81**	9.55*
S*T	11	2.77**	13.42**	1.73ns	8.83*	7.25*
Error (CM)	44	0.005	0.003	0.223	16.41	0.0012
CV (%)		4.06	6.41	4.19	16.05	7.21

*=*p*< 0.05; **=*p*< 0.01; ns=no significativo; N_G= nitrógeno en grano; N_{BA}= nitrógeno en biomasa aérea; PRO_G= contenido de proteína en grano; ERN= eficiencia de recuperación de nitrógeno; ICN= índice de cosecha de nitrógeno; CV=coeficiente de variación.

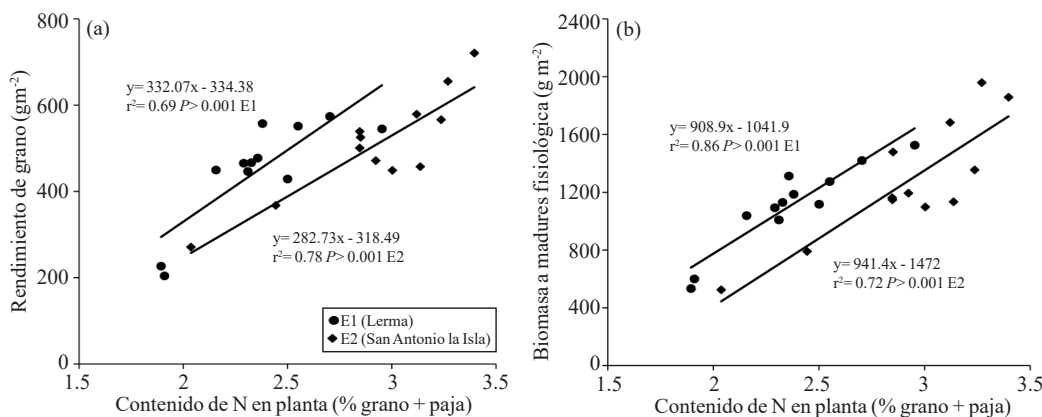


Figura 1. Relaciones entre rendimiento de grano (a); y biomasa (b) contra el contenido de nitrógeno en la planta (grano+paja) en madurez fisiológica en dos cultivares de triticale y dos sitios experimentales, E1 (a); y E2 (b). Figure 1. Relationship between grain yield (a); and biomass (b) against the nitrogen content in the plant (grain + straw) at physiological maturity in two cultivars of triticale and two experimental sites, E1 (a); and E2 (b).

La dosis de 150 kg ha⁻¹, fraccionada en una, dos o tres etapas del cultivo (N2, N3, N4), en ambos sitios experimentales, no mostró diferencias significativas en el contenido de N en grano en los cultivares de triticale (Figura 2). Asimismo, la fertilización en dos o tres etapas del cultivo (N5 y N6), con dosis de 250 kg ha⁻¹, no expresó diferencias significativas del contenido de N en el grano en los cultivares (Figura 2). Estos resultados coinciden con la investigación de Palta y Fillery (1993), y contradicen lo propuesto por Delogu *et al.* (1998), quienes reportaron un incremento en el N absorbido por el grano trabajando con dosis de N de 140 a 210 kg ha⁻¹.

in the two experimental sites (Figure 1); These results correspond to those obtained by Emam *et al.* (2009) and Nikolic (2009), cereals, and of Samonte *et al.* (2006), in other crops. In both experimental runs a trend of higher (%) of N in grain observed with increasing dose of N; that is, the N applied had an effect, albeit relatively low, on the N content in grain (increments of 0.35 and 0.29% on average of E1 and E2, respectively treatments) compared with the content of indigenous N of treatments where no fertilizer application (N1) was performed.

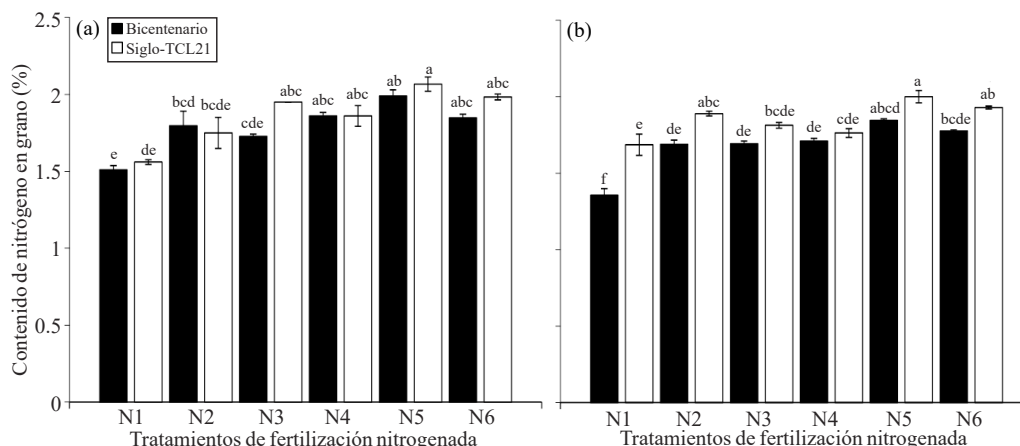


Figura 2. Contenido de nitrógeno en grano en dos cultivares de triticale, como resultado dosis y fraccionamiento de N, en dos cultivares de triticale y dos sitios experimentales, E1 (a); y E2 (b).

Figure 2. Nitrogen content in grain in two cultivars of triticale as a result of N dose and fractionation in two triticale cultivars and two experimental sites, E1 (a); and E2 (b).

Si bien, una aplicación tardía de N o el mantenimiento de una alta concentración en etapas avanzadas del cultivo se asocia, generalmente, a una mayor absorción (Calderini *et al.*, 1996), en la presente investigación, la falta de una respuesta diferencial entre tratamientos con el aporte de N en una sola aplicación inicial y en las aplicaciones fraccionadas, probablemente estén asociadas a que la segunda o tercera fracción de la aplicación fue incorporada en etapas tempranas del cultivo (espiguilla terminal y/o hoja bandera). Echagüe *et al.* (2001), señalan que la respuesta de concentración de N en los granos a la aplicación de fertilizante nitrogenado es muy variable y depende de las condiciones ambientales del cultivo.

Para el contenido de N en biomasa aérea, se observaron diferencias entre los sitios experimentales, en E1 osciló entre 0.35-0.88% y 0.68-1.42% para E2 (Figura 3). El mayor contenido de N en E2, puede explicarse por el contenido de N nativo presente en la siembra (100 kg ha⁻¹). En este sentido, Falotico *et al.* (1999) y Calviño *et al.* (2002), también reportaron que una mayor concentración de N se debió a las diferencias del contenido de N nativo al momento de la siembra.

En la Figura 3 se aprecia que el menor porcentaje de N en biomasa en los ciclos experimentales se presentó con 0 kg ha⁻¹ de N. La dosis de 150 kg ha⁻¹ de N, fraccionada en dos o tres aportes para ambos cultivares y experimentos, no modificó el porcentaje de N en biomasa aérea respecto al tratamiento de dosis total de 150 kg ha⁻¹ en amacollamiento. Respecto a la dosis de 250 kg ha⁻¹, en el E2 no modificó el contenido de N en biomasa para ambos cultivares, sin embargo, en el E1 se observó que el cultivar Siglo-TCL21

The dose of 150 kg ha⁻¹, fractional in one, two or three stages of cultivation (N2, N3, N4), in both experimental sites showed no significant differences in the content of N in grain cultivars of triticale (Figure 2). Similarly, fertilization in two or three stages of cultivation (N5 and N6), with 250 kg ha⁻¹, did not express significant differences in N content in the grain cultivars (Figure 2). These results are consistent with research Palta and Fillery (1993), and contradict proposed by Delogu *et al.* (1998), who reported an increase in grain N absorbed by working with doses of N from 140 to 210 kg ha⁻¹.

Although a late application of N or maintaining a high concentration in advanced stages of the culture is usually associated with increased absorption (Calderini *et al.*, 1996), in this research, the lack of a differential response between treatment with N supply in a single initial application and split applications, they are probably associated with the second or third section of the application was incorporated in the early stages of cultivation (spikelet terminal and/or flag leaf). Echagüe *et al.* (2001) indicate that the response concentration N in grains to the application of nitrogen fertilizer is highly variable and depends on the environmental conditions of the crop.

For the content of N in aboveground biomass, differences between experimental sites, ranged from 0.35-0.88% E1 and 0.68-1.42% for E2 (Figure 3) were observed. The highest content of N in E2 can be explained by the content of native N present in the seed (100 kg ha⁻¹). In this regard, Falotico *et al.* (1999) and Calvin *et al.* (2002) also reported that a higher concentration of N was due to differences in the content of native N at planting time.

mostró mayor contenido de N y, que el fraccionamiento de N en $2/5$ AM, $2/5$ ET y $1/5$ HB (N5), resultó en un mayor contenido que la aplicación en sólo dos aportes $2/5$ AM y $3/5$ ET (N6). Golik *et al.* (2003), reportaron diferencias entre la aplicación de N en una sola dosis y la aplicación dividida, consistentes en que cuando hubo mayor disponibilidad de N inicial, el contenido en biomasa fue mayor.

De manera general, con dosis de 250 kg ha^{-1} , se obtuvo la mayor absorción de N en biomasa aérea para ambos experimentos (Figura 3). Estos resultados están de acuerdo con lo reportado por López *et al.* (2002), donde se presentó mayor absorción de nitrógeno por la biomasa en la cosecha en las plantas fertilizadas que en las no fertilizadas. De igual manera, Golik *et al.* (2003), reportaron que el N acumulado en madurez en trigo aumentó con la fertilización y presentó diferencias entre cultivares. También Santamaría *et al.* (2004), reportaron para trigo que la fertilización nitrogenada provocó diferencias en acumulación de N en biomasa en madurez fisiológica.

In Figure 3 we see that the lowest percentage of N in biomass in experimental cycles are presented with 0 kg ha^{-1} of N. The dose of 150 kg ha^{-1} of N, fractionated into two or three inputs for both cultivars and experiments, did not change the percentage of N in aboveground biomass on the treatment of total dose of 150 kg ha^{-1} in tillering. Regarding the dose of 250 kg ha^{-1} , E2 did not modify the content of N in biomass for both cultivars, however, in E1 was observed to grow Siglo-TCL21 showed higher content of N and the fractionation $2/5$ AM, $2/5$ ET and $1/5$ HB (N5), resulted in a higher content the application in only two inputs $2/5$ AM and $3/5$ ET (N6). Golik *et al.* (2003) reported differences between the application of N in a single dose and split application, consisting when there was greater availability of initial N, the biomass content was higher.

Generally, a dose of 250 kg ha^{-1} , the greater absorption of N in aboveground biomass for both experiments (Figure 3) was obtained. These results agree with those reported

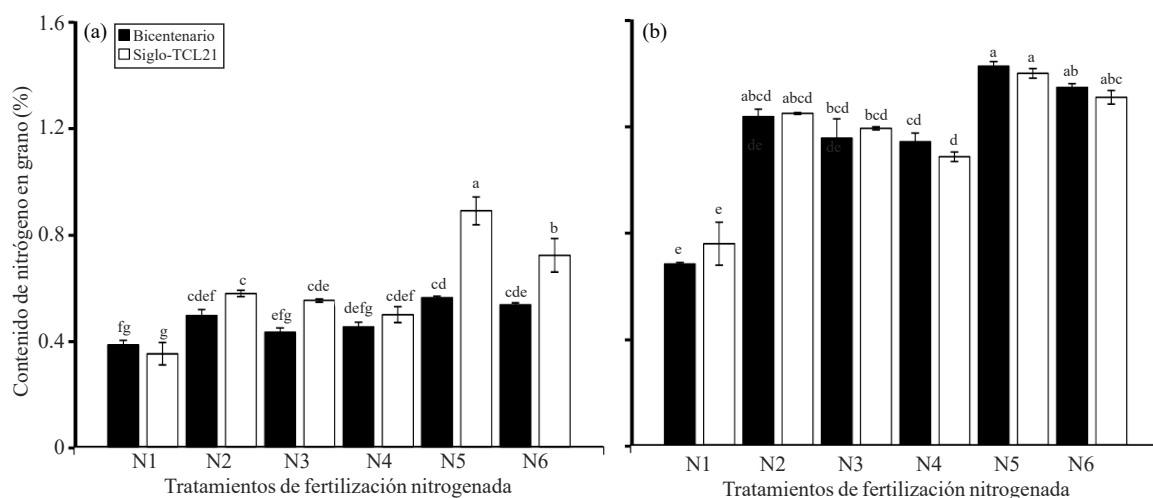


Figura 3. Contenido de nitrógeno en biomasa aérea, en dos cultivares de triticale, como resultado dosis y fraccionamiento de N, en dos cultivares de triticale y dos sitios experimentales, E1 (a); y E2 (b).

Figure 3. Nitrogen content in aboveground biomass in two cultivars of triticale as a result of N dose and fractionation in two triticale cultivars and two experimental sites, E1 (a); and E2 (b).

La FN incrementó la concentración de proteína en grano, pero no de manera significativa en todos los tratamientos (Figura 4). El contenido de proteína fue similar en ambos experimentos, oscilando entre 9.4-12.9% para E1 y 8.4-12.5% para E2. El menor contenido de proteína en ambos cultivares se observó en los tratamientos sin aplicación de fertilizante, mientras que el tratamiento N5 (100,100,50) registró la mayor concentración de proteína en ambos experimentos. El fraccionamiento de

by Lopez *et al.* (2002) where higher nitrogen uptake was presented by biomass harvesting fertilized plants than in unfertilized. Similarly, Golik *et al.* (2003) reported that the N accumulated at maturity in wheat increased with fertilization and presented differences between cultivars. Also Santamaria *et al.* (2004) reported for wheat nitrogen fertilization caused differences in accumulation of N in biomass at physiological maturity.

dos de 150 kg ha⁻¹, de manera general en ambos cultivares y ciclos experimentales, no modificó el contenido de proteína en grano. De manera similar, el fraccionamiento de 250 kg ha⁻¹ no modificó el contenido de proteína en grano.

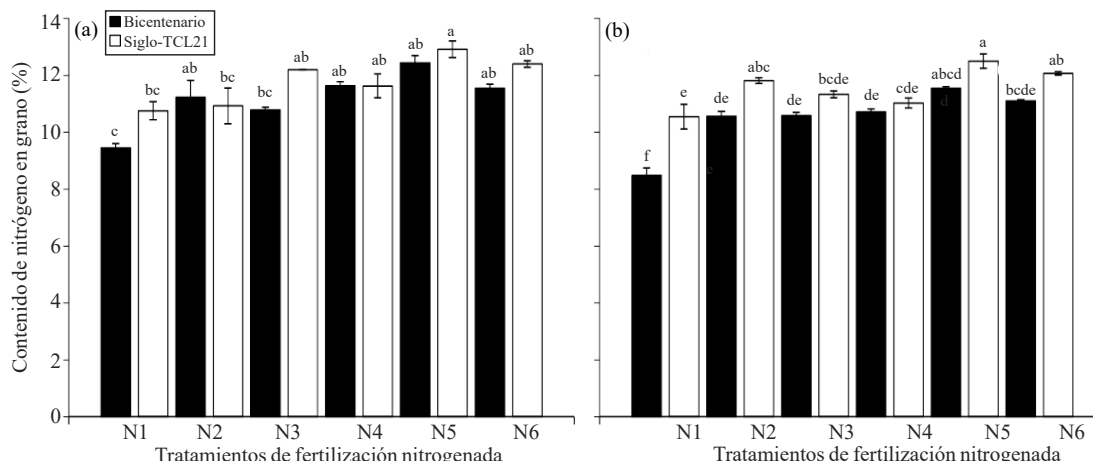


Figura 4. Contenido de proteína en grano en dos cultivares de triticale, como resultado dosis y fraccionamiento de N, en dos cultivares de triticale y dos sitios experimentales, E1 (a); y E2 (b).

Figure 4. Protein content in grain in two cultivars of triticale as a result of N dose and fractionation in two triticale cultivars and two experimental sites, E1 (a); and E2 (b).

Sin aplicación de nitrógeno, ambos experimentos arrojaron porcentajes similares de proteína en sus granos (8.9% para cultivar Bicentenario y 10.6% en promedio para Siglo-TCL21). Datos reportados por distintos autores indican que aplicaciones de N al cultivo posteriores al estado de hoja bandera son responsables de incrementos en el contenido de N en el grano (Porsborg *et al.*, 2005; Varga y Svecnjak, 2006). La falta de respuesta en el contenido de proteína, probablemente se deba a que, en este estudio, la última aplicación de fertilizante se realizó en estado de espiguilla terminal y/o hoja bandera, por lo que no se observaron cambios significativos para esta variable en los tratamientos. Los valores de porcentaje de proteína en grano, fueron significativamente mayores sólo en algunos tratamientos con FN en ambos experimentos, sobre todo en E1.

Para ambos sitios experimentales y cultivares, se observó, en promedio, un incremento de 2 puntos porcentuales de proteína en grano al adicionar 250 kg ha⁻¹. De manera similar, Brown (2000), registró incrementos de dos puntos porcentuales (de 13 a 15%), en el contenido de proteína en grano al adicionar 20 kg ha⁻¹ de N en estados tardíos de desarrollo de trigo. Echeverría y Studdert (1998), encontraron que la aplicación de 20 y 40 kg ha⁻¹ de N en espigamiento en trigo, incrementó el contenido de proteína entre 2.1 y 2.6%. Otros estudios reportan variaciones similares en el contenido de proteína en trigo (Doekes y Wennekes, 1982; Peltonen y Virtanen, 1994;

The FN increased grain protein concentration, but not significantly in all treatments (Figure 4). The protein content was similar in both experiments, ranging from 9.4-12.9% for E1 and 8.4-12.5% for E2. The lower protein

content in both cultivars was observed in treatments without fertilizer application, while N5 (100, 100, 50) treatment had the highest protein concentration in both experiments. Fractionation of dose of 150 kg ha⁻¹, generally in both cultivars and experimental cycles, did not modify the protein content in grain. Similarly, the fractioning of 250 kg ha⁻¹ did not alter the protein content in grain.

Without nitrogen application, both experiments yielded similar percentages of protein in grains (8.9% to cultivate Bicentenario and 10.6% on average for Siglo-TCL21). Data reported by different authors indicate that later N applications to crop the state of flag leaf are responsible for increases in the N content in the grain (Porsborg *et al.*, 2005; Varga y Svecnjak, 2006). The lack of response in the protein content, probably due to that in this study, the last application of fertilizer was conducted in state herringbone terminal and/or flag leaf, so no significant changes for this variable were observed in treatments. Percentage values of grain protein, were significantly higher only in some treatments FN in both experiments, especially in E1.

For both experimental sites and cultivars, it was observed, on average, an increase of 2 percentage point's grain protein by adding 250 kg ha⁻¹. Similarly, Brown (2000), recorded increases of two percentage points (from 13 to 15%) in the protein content in grain by adding 20 kg ha⁻¹ of N in late

Jia *et al.*, 1996 y Zijlstra *et al.*, 1999), atribuidas a diversos factores genéticos, ambientales y agronómicos (Cornell y Hovelling, 1998), pero principalmente a diferencias en la FN (Peltonen y Virtanen, 1994).

En la Figura 5 se observa que, del N total en la planta, un mayor porcentaje corresponde a los granos en ambos ciclos experimentales. Estos resultados coinciden con lo reportado por Lerner *et al.* (2013), evidenciando una elevada partición de N hacia los granos. Del contenido total de fertilizante nitrogenado en la planta, en E1 el 78% (promedio de tratamientos) correspondió al grano y, en E2, 60% (promedio de tratamientos), lo que sugeriría que en este último (E2), hubo una menor partición de N del fertilizante hacia el grano. En este sentido, Lazzari *et al.* (2001), reportaron, para dos tipos de suelos, diferencias en la partición de nitrógeno hacia el grano. Golik *et al.* (2003), reportaron que los cultivares utilizados difirieron en su distribución de N al grano.

development stages of wheat. Echeverría and Studdert (1998) found that the application of 20 and 40 kg N ha⁻¹ in gleaming wheat, increased protein content between 2.1 and 2.6%. Other studies report similar variations in protein content in wheat (Doekes y Wennekes, 1982; Peltonen y Virtanen, 1994; Jia *et al.*, 1996 y Zijlstra *et al.*, 1999), attributed to genetic, environmental and agronomic factors (Cornell y Hovelling, 1998), but mainly to differences in the FN (Peltonen and Virtanen 1994).

In the Figure 5 shows that, of the total plant N, a higher percentage equals grains in both experimental cycles. These results agree with those reported by Lerner *et al.* (2013), showing an elevated partition of N into the grains. The total content of nitrogen fertilizer on the ground, in E1 78% (average of treatments) corresponded to the point and, in E2, 60% (average of treatments), suggesting that in the latter (E2), was a minor fertilizer N partition towards the grain.

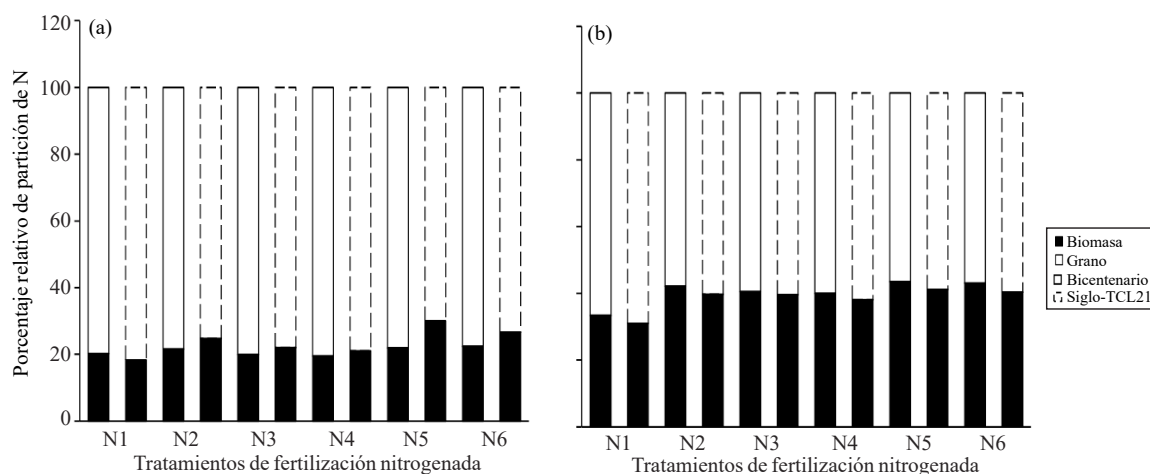


Figura 5. Porcentaje relativo de partición de nitrógeno en grano y biomasa en dos cultivares de triticale, como resultado dosis y fraccionamiento de N, en dos cultivares de triticale y dos sitios experimentales, E1 (a); y E2 (b).

Figure 5. Relative percentage nitrogen partition beans and biomass in two cultivars of triticale, resulting dose and fractionation of N, triticale two cultivars and two experimental sites, E1 (a); and E2 (b).

Eficiencia de recuperación

La ERN en el E1 varió entre 29 y 34.5%; en contraste, para E2, se obtuvieron valores entre 13 y 36% (Figura 6). En general, en E1 no se observaron diferencias sobre la fracción de N del fertilizante aplicado en los tratamientos y entre cultivares, mientras que, para E2, se observaron diferencias entre cultivares. El cultivar Bicentenario presentó mayores valores de ERN en los tratamientos que Siglo-TCL21. Lo anterior coincide con la investigación de Golik *et al.* (2003), quienes reportaron diferencias en la eficiencia de recuperación entre cultivares. De manera similar, Lerner

In this regard, Lazzari *et al.* (2001) reported, for two soil types, differences in the partition of nitrogen to the grain. Golik *et al.* (2003) reported that cultivars used differed in their distribution of N to the point.

Recovery efficiency

The ERN in the E1 varied between 29 and 34.5%; in contrast to E2, values between 13 and 36% (Figure 6) were obtained. In general, no differences E1 on the fraction of N fertilizer applied in treatments among cultivars were observed, whereas for E2, differences among cultivars were observed.

et al. (2013), en dos ciclos experimentales reportaron para un mismo cultivar diferencias en ERN de hasta 38% de un ciclo a otro. Apesar de que los valores de ERN reportados en este estudio son bajos, el método de la diferencia utilizado para calcular la ERN, atribuye el mayor N acumulado en las plantas fertilizadas sólo al aporte del N del fertilizante, por esta razón, el método de la diferencia sólo permite calcular la recuperación aparente del fertilizante, que no siempre es igual a la recuperación real (Mora *et al.*, 2014).

Con dosis de 150 kg ha⁻¹, no se obtuvieron diferencias en ERN cuando el nitrógeno se aplicó en una, dos o tres etapas fenológicas del cultivo, en ambos cultivares y ciclos experimentales (Figura 5). Tampoco se obtuvieron diferencias con dosis de 250 kg ha⁻¹, fraccionando el nitrógeno en dos o tres etapas del cultivo. Esto coincide con los resultados de Golik *et al.* (2003), quienes no observaron diferencias en ERN para los tratamientos fertilizados y momentos de aplicación. Los mayores valores de ERN, se obtuvieron con dosis de 150 kg ha⁻¹ y, aunque la comparación de medias señala que no hubo diferencias estadísticas significativas, la tendencia indica que al aumentar la dosis de N, la ERN disminuye. Esto coincide con resultados similares reportados en otros estudios (Ramos *et al.*, 2002; Lester *et al.*, 2009). En cebada, se han obtenido valores entre 28 y 39% de ERN (espiga+grano); en términos generales, estas eficiencias de recuperación se consideran bajas, y pueden asociarse a las aplicaciones únicas de N-fertilizante en la siembra (Vos *et al.*, 1993). Sin embargo, los resultados en triticale muestran eficiencias de recuperación similares entre una sola aplicación y aplicaciones fraccionadas (Figura 6).

The Bicentenario cultivar showed higher values to ERN in treatments Siglo-TCL21. This coincides with research Golik *et al.* (2003), who reported differences in recovery efficiency among cultivars. Similarly, Lerner *et al.* (2013) reported two experimental cycles for the same cultivar differences ERN of up to 38% of one cycle to another. Although values ERN reported in this study are low, the difference method used to calculate the ERN, attributes the higher N accumulated in plants fertilized only to the contribution of N fertilizer, for this reason, the method of the only difference calculates the apparent recovery of fertilizer, which is not always equal to the actual recovery (Mora *et al.*, 2014).

With doses of 150 kg ha⁻¹, no difference in ERN were obtained when nitrogen was applied in one, two or three crop growth stages in both cultivars and experimental cycles (Figure 5). No differences were obtained with 250 kg ha⁻¹, fractionating the nitrogen in two or three stages of the crop. This coincides with the results of Golik *et al.* (2003), who ERN no difference in treatments for fertilized and application time. The highest values of ERN, were obtained with a dose of 150 kg ha⁻¹, although comparing means indicates that no statistically significant differences, the trend indicates that increasing the dose of N, the ERN decreases. This is consistent with similar findings reported in other studies (Ramos *et al.*, 2002; Lester *et al.*, 2009). In barley, values were obtained between 28 and 39% of ERN (spike + grain); generally, these recovery efficiencies are considered low, and may be associated to the unique applications of N-fertilizer at planting (Vos *et al.*, 1993). However, the results show triticale similar recovery efficiencies between one application and split applications (Figure 6).

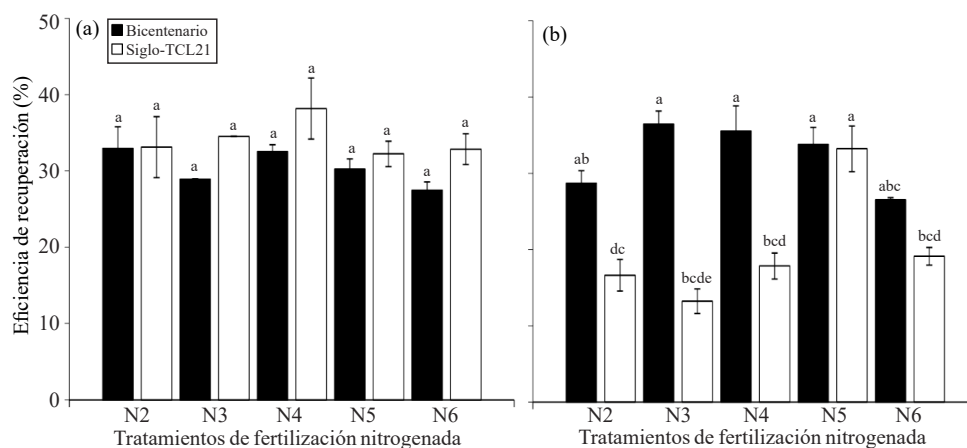


Figura 6. Eficiencia de recuperación de nitrógeno (ERN) en dos cultivares de triticale, como resultado dosis y fraccionamiento de N, en dos cultivares de triticale y dos sitios experimentales, E1 (a); y E2 (b).

Figure 6. Efficiency of recovery of nitrogen (ERN) in two cultivars triticale, resulting dose and fractionation of N, triticale two cultivars and two experimental sites, E1 (a); and E2 (b).

Conclusiones

La mayor concentración de nitrógeno en los tejidos de la planta se asociaron a una mayor producción de biomasa aérea y grano de triticale.

En triticale, el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada no afectó los parámetros de concentración de nitrógeno en los tejidos, ni la eficiencia de recuperación del fertilizante nitrogenado aplicado al suelo, ni aún en las aplicaciones en la etapa de hoja bandera.

La eficiencia de recuperación por el cultivo fue de 32 y 25% (promedio de sitios de prueba, E1 y E2, respectivamente), indistintamente para el momento de aplicación.

Los cultivares no presentan diferencias en la concentración de N acumulado, pero si se observaron diferencias en la partición del mismo hacia el grano en los dos sitios de prueba.

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

- Arregui, L. M. and Quemada, M. 2008. Strategies to improve nitrogen use efficiency in winter cereal crops under rainfed conditions. *Agron. J.* 100(2):277-284.
- Baligar, V. C.; Fageria, N. K. and He, Z. I. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 32(7-8):921-950.
- Brown, B. 2000. Increasing wheat protein. Nitrogen management for hard wheat protein enhancement. University of Idaho. ID, USA. Fertilizer facts. 2:1-15.
- Calderini, D. F.; Miralles, D. J.; Slafer, G. A. y Savin, R. 1996. Desarrollo, crecimiento y generación del rendimiento en el cultivo de trigo. Buenos Aires: área de comunicaciones de asociación Argentina de consorcios regionales de experimentación agrícola. Cuaderno de Actualización Técnica. 56(1):6-17.

Conclusions

The highest concentration of nitrogen in plant tissues were associated with increased production of biomass and grain triticale.

In triticale, fractionation of nitrogen fertilization did not affect the parameters of nitrogen concentration in tissues, and the recovery efficiency of nitrogen fertilizer applied to the soil, even in applications flag leaf stage.

The recovery efficiency by culture was 32 and 25% (average test sites, E1 and E2, respectively), either for the time of application.

The cultivars no differences in the concentration of N accumulated, but if differences in the partition of the same to the grain in the two test sites were observed.

End of the English version



- Calviño, P. A. and Sadras, V. O. 2002. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the southeastern Pampas. *Field Crops Res.* 74(1):1-11.
- 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. *Agric. Técnica.* 67(3):281-291.
- Campillo, R.; Jobet, F. C. and Undurraga, D. P. 2010. Effects of nitrogen on productivity, grain quality and optimal nitrogen rates in winter wheat cv. Kumpa-INIA in andisols of southern Chile. *Chilean J. Agric. Res.* 70:122-131.
- Castro-Luna, I.; Gavi-Reyes, F.; Peña-Cabriales, J. J.; Núñez-Escobar, R. y Etchevers-Barra, J. D. 2005. Eficiencia de recuperación de N y K de tres fertilizantes de lenta liberación. *Terra Latinoam.* 24:277-282.
- Cornell, J. H. and Hovelling, A. W. 1998. Wheat chemistry and utilization. Technomic Publishing. Melbourne, Australia. 426 pp.
- Delogu, G.; Cattivelli, L.; Pecchioni, N.; De Falcis, D.; Maggiore, T. and Stanca, A. M. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *Eur. J. Agron.* 9(1):11-20.
- Doekes, G. J. and Wennekes, M. J. 1982. Effect of nitrogen fertilization on quantity and composition of wheat flour protein. *Cereal Chem.* 59:276-278.
- Echagüe, M.; Landriscini, M. R.; Venanzi, S. y Lázzari, M. A. 2001. Fertilización nitrogenada en cebada cervecera. *INPOFOS Informaciones Agronómicas del Cono Sur.* 10:5-8.
- Echeverría, S. y Studdert, J. 1998. Fertilización y calidad en trigo. INTA Pergamino. Argentina. 5 p.

- Emam, Y.; Salimi K. S. and Shokoufa, A. 2009. Effect of nitrogen levels on grain yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigation and rainfed conditions. Iranian J. Field Crop Res. 7:323-334.
- Falotico, J.; Studdert, G. A. y Echeverría, H. E. 1999. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. Ciencia del Suelo. 17(2):9-20.
- Fuertes-Mendizábal, T.; González-Murua, C.; González-Moro, M. B. and Estavillo, J. M. 2012. Late nitrogen fertilization affects nitrogen remobilization in wheat. J. Plant Nutr. Soil Sci. 175(1):115-124.
- Golik, S. I.; Chidichimo, H. O.; Pérez, D. y Pane, L. 2003. Acumulación, removilización, absorción postantes y eficiencia de utilización de nitrógeno en trigo bajo diferentes labranzas y fertilizaciones. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 38(5):619-626.
- Hatch, D. J.; Jarvis, S. C. and Parkinson, R. J. 1998. Concurrent measurements of net mineralization, nitrification and leaching from field incubated soil cores. Biol. Fertility Soils. 26(4):323-330.
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Toluca, México. Clave geoestadística 15106. INEGI. Aguascalientes, México. <http://www.inegi.org.mx>.
- Jia, Y.; Masbou, V.; Aussenac T.; Fabre J. and Debaeke P. 1996. Effects of nitrogen fertilization and maturation conditions on protein aggregates and on the breadmaking quality of Soissons, a common wheat cultivar. Cereal Chem. 73(1):123-130.
- Johansson, E.; Prieto-Linde, M. L. and Jönsson, J. Ö. 2001. Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. Cereal Chem 78(1):19-25.
- Lazzari, M. A.; Landriscini, M. R.; Cantamutto, M. A.; Miglierina A. M.; Rosell, R. A.; Möckel, F. E. y Echagüe, M. E. 2001. Absorción de nitrógeno por cebada cervecera en dos suelos del sur bonaerense, Argentina. Ciencia del Suelo. 19(2):101-108.
- 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.). Revista de Investigaciones Agropecuarias. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Buenos Aires, Argentina. 39(1):77-87.
- Lester, W. D.; Birch, J. C. and Dowling, W. C. 2009. Fertiliser N and P application on two vertosols in north-eastern Australia. 3. Grain N uptake and yield by crop/fallow combination, and cumulative grain N removal and fertiliser N recovery in grain. Crop Pasture Sci. 61(1):24-31.
- López-Bellido, L.; López-Bellido, R. J. and Redondo R. 2004. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. Field Crops Res. 94(1):86-97.
- López, S.; Guevara, E.; Maturano, M.; Melaj, M.; Bonetto, J. P.; Meira, S.; Martin, O. y Bárbaro, N. 2002. Absorción de nitrógeno en trigo en relación con la disponibilidad hídrica. Terra Latinoam. 20(1):7-15.
- Mora, R. G. S.; Gavi, R. F.; Tijerina, C. L.; Pérez, M. J. y Peña, C. J. J. 2014. Evaluación de la recuperación del nitrógeno y fósforo de diferentes fuentes de fertilizantes por el cultivo de trigo irrigado con aguas residuales y de pozo. Acta Agron. Colom. 63(1):1-12.
- Nikolic, O. 2009. Geneticka divergentnost genotipova pšenice za parameter efikasnosti ishrane azotom. Doctoral thesis. Faculty of Agriculture Zemun, Belgrade, Serbia. 112 p.
- Nikolic, O.; Zivanovic, T.; Jelic, M. and Djalovic I. 2012. Interrelationships between grain nitrogen content and other indicators of nitrogen accumulation and utilization efficiency in wheat plants. Chilean J. Agric. Res. 72(1):111-116.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Martes 31 de diciembre de 2002, México. 5 p.
- Ortiz, M. I. 2009. Manejo de nitrógeno en trigo. <http://www.cimmyt.org/spanish/wps/mexico/nitrogenotrigo.htm>. Palta, J. A. and Fillery, R. P. 1993. Postanthesis remobilization and losses of nitrogen in wheat in relation to applied nitrogen. Plant and Soil. 155:179-181.
- Peltonen, J. and Virtanen, A. 1994. Effect of nitrogen fertilizers differing in release characteristics on the quantity of storage proteins in wheat. Cereal Chem. 71:1-5.
- Porsborg, M.; González, M. J. and Di Napoli, M. 2005. Late application of nitrogen fertilizer in wheat. In: 7th International Wheat Conference. Mar del Plata, Argentina. 210 p.
- Ramos, L. C.; Alcántar, G. G.; Galvis, S. A.; Peña, L. A. y Martínez, G. A. 2002. Eficiencia de uso del nitrógeno en tomate de cáscara en ferriiriego. Terra. 20:465-469.
- Raun, W. R. and Johnson, G. V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agron. J. 91(3):57-351.
- Ron, M. M. y Loewy, Y. 2000. Modelo de fertilización nitrogenada y fosforada para trigo en el sudoeste bonaerense, Argentina. Ciencia del Suelo. 18(1):44-49.
- Ron, M. y Loewy, T. 1996. Análisis de la respuesta de cebada cervecera a nitrógeno y fósforo en tres suelos del sudoeste bonaerense (Argentina). Ciencia del Suelo. 14:47-49.
- Samonte, S. O.; Wilson, L. T.; Medley, J. C.; Pinson, S. R. M.; McClung, A. M. and Lales, J. S. 2006. Nitrogen utilization efficiency: relationships with grain yield, grain protein, and yield-related traits in rice. Agron. J. 98(1):168-176.
- Santamaría, S. M.; Studdert, A. G. y Echeverría, E. H. 2004. Sistemas de labranza y fertilización nitrogenada en trigo bajo distintas historias agrícolas. Rev. Inv. Agrop. 33(3):55-75.
- Shanahan, J. F.; Kitchen, N. R.; Raun, W. R. and Schepers, J. S. 2008. Responsive in season nitrogen management for cereals. Comp. Elec. Agric. 61(1):51-62.
- Shrawat, A. K.; Carroll, R. T.; DePauw, M.; Taylor, G. J. and Good, A. G. 2008. Genetic engineering of improved nitrogen use efficiency in rice by the tissue-specific expression of alanine aminotransferase. Plant Biotech. J. 6(7):722-732.
- 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. 159 p.
- Tonitto, C.; David, M. B. and Drinkwater, L. E. 2006. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: a meta-analysis of crop yield and N dynamics. Agric. Ecosyst. Environ. 112(1):58-72.
- Varga, B. and Svecnjak, Z. 2006. The effect of late-season urea spraying on grain yield and quality of winter wheat cultivars under low and high basal nitrogen fertilization. Field Crops Res. 96(1):125-132.

Vos, J. M.; Duquet B.; Vedy, J. C. and Neyroud, J. A. 1993. The course ¹⁵N-ammonium nitrate in a spring barley cropping system. *Plant Soil*. 150(2):167-175.

Zijlstra, R. T.; De Lange, C. F. M. and Patience, J. F. 1999. Nutritional value of wheat for growing pigs: chemical composition and digestible energy content. *Can. J. Anim. Sci.* 79(2):187-194.