

EFICIENCIA DE USO DE NITRÓGENO EN CEBADA EN EL SUDESTE BONAERENSE: EFECTO DE APLICACIONES DIVIDIDAS

JUAN MANUEL ORCELLET^{1*}; NAHUEL IGNACIO REUSSI CALVO²⁻³; HERNÁN EDUARDO ECHEVERRÍA³; HERNÁN RENÉ SAINZ ROZAS³; NATALIA DIOVISALVI² & ANGEL BERARDO²

Recibido: 30-08-14

Recibido con revisiones: 12-11-14

Aceptado: 19-11-14

RESUMEN

El nitrógeno (N) es el principal nutriente que limita el rendimiento y la calidad industrial de cebada (*Hordeum vulgare* L). El fraccionamiento del N en ambientes húmedos, permitiría maximizar la eficiencia de uso de N (EUN). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del fraccionamiento de N en el sudeste bonaerense (SEB) sobre el rendimiento, la EUN, porcentaje de proteína (PB) y la eficiencia de recuperación de N en grano (ERNg). Se realizaron dos experimentos (Lobería y Miramar) durante la campaña 2012. Se evaluaron cuatro dosis de N aplicadas en dos hojas (Z12) (0, 40, 80 y 120 kg N ha⁻¹) y cuatro dosis (80Nf, 120Nf, 180Nf₁ y 180Nf₂) fraccionadas en diferentes momentos. Se observaron incrementos significativos en el rendimiento y PB por efecto de la dosis de N. El fraccionamiento incrementó el rendimiento para la dosis de 80N ($p < 0,05$), siendo en promedio de 674 kg ha⁻¹, mientras que para la dosis de 120N el incremento no fue significativo (280 kg ha⁻¹). Las aplicaciones fraccionadas (80 kg N ha⁻¹) incrementaron la EUN en 5,3 y 10 kg grano kg N⁻¹ respecto a las completas, para Lobería y Miramar, respectivamente. Por otro lado, el fraccionamiento de N no afectó el contenido de PB. La ERNg fue mayor en los tratamientos con dosis divididas respecto a las completas. En Lobería la ERNg aumentó un 0,15 y 0,08 kg N kg N f⁻¹, para la dosis de 80 y 120 kg N ha⁻¹, respectivamente, mientras que en Miramar fue superior en un 0,11 kg N kg N f⁻¹, para ambas dosis. Para el SEB, el fraccionamiento de la dosis de N representa una práctica de manejo recomendable en pos de maximizar el rendimiento, la EUN y reducir las externalidades de la práctica de fertilización.

Palabras clave. Nutrición, Nitrógeno, Momento de aplicación.

NITROGEN USE EFFICIENCY OF BARLEY IN THE SOUTHEASTERN BUENOS AIRES: EFFECT OF SPLIT APPLICATIONS

ABSTRACT

Nitrogen (N) is the main nutrient limiting yield and industrial quality of barley (*Hordeum vulgare* L). Nitrogen split applications under humid environments should maximize N use efficiency (EUN). In southeastern Buenos Aires (SEB), the effect of split N rates on yield, EUN, protein percentage (PB) and N recovery efficiency in grain (ERNg) was evaluated. Two experiments (Lobería and Miramar) were conducted during 2012. Treatments consisted in four N rates applied at the two-leaves stage (Z12) (0, 40, 80 and 120 kg N ha⁻¹) and four rates split at different moments (80Nf, 120Nf, 180Nf₁ and 180Nf₂). Nitrogen rates and split applications affected yield and PB significantly. The N split application with the 80N rate increased yield 674 kg ha⁻¹ in average ($p < 0,05$), however the yield increase with 120N was not significant (280 kg ha⁻¹). Split applications (80 kg N ha⁻¹) increased EUN in 5,3 and 10 kg grain kg N⁻¹ with respect to a single application, for Lobería and Miramar, respectively. Furthermore, fractionation did not affect PB content. The ERNg was higher in the treatments with split rates compared to a single application. In Lobería, the ERNg increased 0,15 and 0,08 kg N kg N f⁻¹ for the 80 and 120 kg N ha⁻¹ rates, respectively, while in Miramar the ERNg was 0,11 kg N kg N f⁻¹ higher for both rates. For SEB, split N rates is a recommended management practice towards maximizing grain yield, EUN and for minimizing the N contamination impact on the environment.

Key words. Nutrition, Nitrogen, application time.

¹ Estación Experimental INTA-Rafaela

² Laboratorio de suelos FERTILAB;

³ Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Mar del Plata (FCA-UNMdP) - Estación Experimental INTA Balcarce.

* Autor de contacto: orcellet.juan@inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L) es el cuarto cereal en importancia a nivel mundial, siendo la Argentina el mayor productor de Sudamérica (4,7 millones de Mg año⁻¹). La provincia de Buenos Aires abarca aproximadamente el 90% de la producción nacional, con una participación del sudeste bonaerense (SEB) del 30% (MAGPyA, 2014). Su difusión en el SEB se basa principalmente en la menor duración del ciclo respecto a trigo (*Triticum aestivum* L), lo cual permite anticipar la siembra de soja (*Glycine max* L) de segunda, aspecto fundamental en sitios con alta probabilidad de heladas tempranas (Calviño *et al.*, 2003).

El nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia limita la producción de los cereales, debido a los altos requerimientos y a la frecuencia con que se observan deficiencias en los suelos (Echeverría & Sainz Rozas, 2005). El cultivo de cebada posee las máximas necesidades de N desde fines de macollaje hasta espigazón. Por lo tanto, la deficiencia de N en dicho período impacta directamente en la tasa de aparición y número final de macollos, afectando finalmente el número de grano por unidad de superficie (Prystupa *et al.*, 2004). No obstante, dado que el principal destino de la cebada es la elaboración de malta, es importante no solo la obtención de altos rendimientos sino también de adecuada calidad industrial. Entre otros requisitos, el estándar maltero demanda un contenido de proteína bruta (PB) mínimo de 9,5 y máximo de 13% (CACBUE, 2013). Por ende, la fertilización con N es una práctica frecuente en los sistemas actuales de producción, siendo imprescindible un manejo racional de la misma en pos de incrementar la eficiencia de uso de N (EUN) y la calidad del grano.

El SEB se caracteriza por tener una baja probabilidad de déficit hídrico (menor al 5%) desde la siembra hasta la espigazón del cultivo de trigo. Sin embargo, para realizar un manejo racional del N es necesario considerar la probabilidad de excesos hídricos, siendo esta del 33% para la segunda década de julio (Reussi Calvo & Echeverría, 2006). Estas condiciones conjuntamente con la escasa demanda atmosférica, generan un ambiente propicio para la pérdida de N del sistema. Para el cultivo de trigo, Barbieri *et al.* (2008) determinaron que la lixiviación de N es la principal vía de pérdida. Por lo tanto, el fraccionamiento de la dosis de N sería una práctica recomendable con el objetivo de maximizar el rendimiento y la EUN. Además, Lazzari *et al.* (2005) determinaron que la cebada posee baja absorción de N hasta principios de macollaje, y que la mayor proporción puede provenir del N disponible en el suelo al momento de la

siembra. Sin embargo, en el norte de la provincia de Buenos Aires, Ferraris *et al.* (2006) no determinaron diferencias en rendimiento por efecto de la dosis y momento de fertilización. Mientras que para el Sudoeste Bonaerense, el fraccionamiento de N sería una práctica agronómica promisoría para mejorar el rendimiento y EUN (Echagüe *et al.*, 2001).

En la actualidad, el estudio del manejo nutricional de los cultivos puede ser abordado en base a las mejores prácticas de manejo de nutrientes y fertilizantes (MPM). Las MPM involucran la aplicación del concepto de 4 Cs (4 rights): la dosis correcta de nutrientes, aplicada con la fuente correcta, en la forma y momento correctos (Brulsema *et al.*, 2008; García, 2009). Las MPM de los fertilizantes se generan a partir de principios científicos probados con un enfoque global y son aplicables a diferentes escalas (García, 2009). Para N, esto permitiría maximizar la EUN en los sistemas de producción. Es válido mencionar, que para el cultivo de cebada no hay registros de trabajos que evalúen el efecto del momento de aplicación de N bajo las condiciones edafoclimáticas del SEB. Sin embargo, para el cultivo trigo se han determinado mayores rendimientos y eficiencias de recuperación de N en grano (ERNg) para aplicaciones al macollaje respecto de la siembra (Melaj *et al.*, 2003; Barbieri *et al.*, 2008). Por lo tanto, el presente trabajo tiene por objetivos evaluar el efecto del fraccionamiento de N sobre el rendimiento, la EUN, PB en grano y la ERNg, para las condiciones edafoclimáticas del SEB.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la campaña 2012 se realizaron dos experimentos a campo en el SEB (Lobería y Miramar) bajo siembra directa. Los mismos fueron sembrados el 9 y 16 de Junio, donde se lograron 230 y 220 plantas m⁻² y las variedades utilizadas fueron Shakira y Scarlett para Lobería y Miramar, respectivamente. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, donde se evaluaron ocho tratamientos: cuatro dosis de N aplicadas en dos hojas (Z12) (Zadoks *et al.*, 1974) (**0**, **40**, **80** y **120 kg N ha⁻¹**) y cuatro dosis fraccionadas [**80Nf**= 40N en (Z12) y 40N en cuatro macollos (Z24); **120Nf** = 60N en Z12 y 60N Z24 y **180Nf₁** = 60N en Z12 y 120N en Z24 y **180Nf₂**: 60N en Z12, 60N en Z24 y 60N en un nudo (Z31)]. El cultivo alcanzó el estadio de Z12 entre el 20-25 de Julio y Z24 entre el 10-15 Septiembre. La fuente de N utilizada fue Urea (46-0-0) granulada aplicada al voleo en cobertura total. Para que no existan limitaciones de fósforo y azufre se aplicó a la siembra 25 y 20 kg ha⁻¹, respectivamente.

A la siembra del cultivo se realizaron muestreos de suelo para caracterizar cada sitio, donde se determinó el contenido de materia orgánica (MO) (Walkley & Black, 1934), fósforo extractable (Pe) (Bray & Kurtz I, 1945), pH (potenciométrico en agua 1:2,5), y nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan), (Gianello & Bremner, 1986) en superficie (0-20 cm) y N-NO_3^- (Keeney & Nelson, 1982) y humedad gravimétrica en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm). Para el cálculo del N-NO_3^- en kg ha^{-1} se asumió un valor medio de densidad aparente de $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ (Fabrizzi *et al.*, 2005). En la Tabla 1 se presenta la caracterización inicial de ambos sitios.

A cosecha se evaluó el rendimiento y se expresó al 14% de humedad. Además, se determinó el peso de 1000 granos (P 1000) y se obtuvo la concentración de N total en grano (N gr) por combustión seca mediante el método Dumas (Jung *et al.*, 2003) utilizando un analizador TruSpec CN (LECO, 2010). La concentración de N gr se transformó a proteína utilizando un factor de 6,25 (CACBUE, 2013). Además, se calculó la EUN del fertilizante mediante el cociente entre la diferencia de rendimiento del tratamiento fertilizado y el testigo, y los kg de N aplicados. La ERNg se determinó de forma similar, empleando el contenido de N gr (Stewart, 2007). Por otra parte, en base a las precipitaciones y humedad inicial, se realizó balance de agua utilizando el método de Della Maggiora *et al.* (2003).

Para evaluar las diferencias entre tratamientos, se realizó análisis de la varianza utilizando el procedimiento incluido en las rutinas del programa R commander (Fox, 2005). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas, se empleó el Test de la diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de probabilidad de 0,05. Además, se empleó el mismo procedimiento para evaluar el efecto del fraccionamiento, agrupando para cada sitio las dosis completas y fraccionadas (80 y 120 kg N ha^{-1}). Por último, para determinar coincidencia entre modelos de regresión, se utilizaron variables indicadoras (dummy) al 0,05 de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para ambos sitios experimentales los valores de pH y MO (Tabla 1), fueron similares a los reportados para el SEB por Sainz Rozas *et al.* (2011), sin embargo, los contenidos de Pe fueron superiores al promedio de 12,9 (mg kg^{-1}) determinado para dicha zona (Sainz Rozas *et al.*, 2012). Por otro lado, el contenido inicial de N-NO_3^- (kg ha^{-1}) y Nan (mg kg^{-1}) fueron similares a los reportados para trigo por Reussi Calvo *et al.* (2013), siendo estos valores típicos en presiembrado de cultivos de invierno.

Durante el ciclo del cultivo las precipitaciones registradas fueron de 580 y 440 mm para Lobería y Miramar, respectivamente; ambas superiores a la media histórica para el cultivo de trigo en el SEB (380-400 mm). Esto se vio reflejado en el balance de agua del suelo, dado que el contenido hídrico se ubicó por encima del umbral fisiológico durante la mayor parte del ciclo. Se observó un exceso hídrico de 280 y 215 mm para Lobería y Miramar, respectivamente durante los primeros estadios del cultivo (mes de Agosto) (Fig. 1). Sin embargo, durante el llenado de grano se determinó déficit hídrico, el cual probablemente haya afectado el peso de grano y por lo tanto el rendimiento (Fig. 1).

El rendimiento de los tratamientos testigos fue de 4039 y 3685 kg ha^{-1} para Lobería y Miramar, respectivamente (Tabla 2). Se determinó aumento significativo de rendimiento por efecto de la dosis de N, siendo la respuesta media al agregado de N de 881 y 1282 kg ha^{-1} (Tabla 2) para Lobería y Miramar, respectivamente, con valores en un rango entre 213 y 1638 kg ha^{-1} . Similares resultados han sido obtenidos en otras zonas de la Región Pampeana (Landriscini *et al.*, 2004; Prystupa *et al.*, 2008). No obstante, el número de espigas m^{-2} no fue afectado por el agregado de N (Tabla

Tabla 1. Propiedades químicas de los suelos en cada sitio. MO = materia orgánica, Pe = fósforo extractable, Nan = nitrógeno anaeróbico.

Table 1. Soil chemical properties for each site. MO = organic matter, Pe = extractable phosphorus, Nan = anaerobic nitrogen.

Sitio	Profundidad (cm)	pH	Pe (mg kg^{-1})	M.O. (g kg^{-1})	Nan (mg kg^{-1})	N-NO_3^- (mg kg^{-1})	N-NO_3^- (kg ha^{-1})
Lobería	0-20	5,9	25,7	45,3	58,8	12,9	56,7
	20-40					5,8	
	40-60					5,0	
Miramar	0-20	5,9	14,3	55,0	60,7	15,1	78,3
	20-40					10,2	
	40-60					7,4	

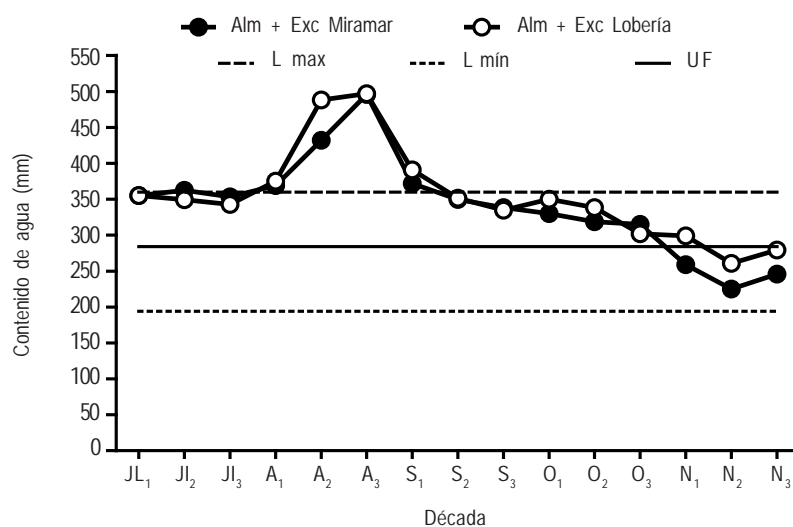


Figura 1. Balance hídrico decádico durante el ciclo del cultivo. L min: límite mínimo; L max: límite máximo; Alm + Exc Lobería: agua almacenada más agua en exceso en Lobería; Alm + Exc Miramar: agua almacenada más agua en exceso en Miramar y UF: umbral fisiológico (50% del agua útil, Doorenbos & Kassam, 1979).

Figure 1. Decadic water balance during crop cycle. L min: minimum limit; L max: maximum limit; Alm + Exc Lobería: stored water plus water excess in Lobería; Alm + Exc Miramar: stored water plus water excess in Miramar and UF: physiological threshold (50% of available water, Doorenbos & Kassam, 1979).

2). Respecto al P1000, se determinó disminución significativa frente a incrementos en la disponibilidad de N. Sin embargo, considerando el efecto de la dosis de N sobre el rendimiento y el P1000, surge que el principal componente de rendimiento afectado fue el número de grano por espigas, coincidiendo con lo reportado por Prystupa & Ferraris (2011).

Prystupa *et al.* (2006) determinaron que la metodología de diagnóstico de N basada en la determinación de N disponible ($N-NO_3^-$ en suelo a 60 cm en pre-siembra más el N del fertilizante) presenta baja capacidad predictiva del rendimiento ($r^2 = 0,30$), sin embargo la misma es utilizada en la actualidad. En el presente trabajo, se determinó que los máximos rendimientos se lograron con valores de N disponible de 137 a 158 $kg\ ha^{-1}$ (dosis de 80 $kg\ N\ ha^{-1}$), valores similares a los reportado por González Montaner (2009) y Peralta *et al.* (2014) en el SEB. Sin embargo, son superiores a los determinados para ambientes del noroeste de la provincia de Buenos Aires (Prystupa *et al.*, 2008; Ferraris *et al.*, 2014). Esto podría ser explicado por el mayor rendimiento promedio y/o por las mayores pérdidas de N en el SEB, respecto al noreste bonaerense, producto de las mayores precipitaciones en estadios iniciales del ciclo. Para

el cultivo de trigo también se han observado cambios en los umbrales de N según zonas (Calviño *et al.*, 2002; Salvagiotti *et al.*, 2004).

Para ambos sitios experimentales, se determinó aumento significativo ($p < 0,05$) en rendimiento por efecto del fraccionamiento de N, siendo en promedio de dosis de 472 y 482 $kg\ ha^{-1}$ para Lobería y Miramar, respectivamente (Tabla 2). Al analizar por dosis, el fraccionamiento de 80 $kg\ N\ ha^{-1}$ incrementó el rendimiento en 713 $kg\ ha^{-1}$ para Lobería y 634 $kg\ ha^{-1}$ en Miramar (Tabla 2). Estos incrementos representan un aumento de rendimiento de 16 y 14%, respectivamente. No obstante, no se obtuvieron aumentos significativos en rendimiento al fraccionar la dosis de 120 $kg\ N\ ha^{-1}$, siendo el mismo en promedio de 280 $kg\ ha^{-1}$ (Tabla 2).

La mayor sincronización entre la oferta y demanda de N por parte del cultivo producto del fraccionamiento, se vio reflejada en una mayor EUN. Para ambos experimentos se determinó efecto significativo ($p < 0,05$) del fraccionamiento de N sobre la EUN (Tabla 2), siendo el aumento en promedio de 3,6 y 6,4 $kg\ grano\ kg\ N^{-1}$ para Lobería y Miramar, respectivamente. Sin embargo, la máxima EUN se determinó para el tratamiento 80Nf, siendo esta de 13,9 $kg\ grano\ kg\ N^{-1}$ para Lobería y 22,0 $kg\ grano\ kg\ N^{-1}$ en Miramar. Para dicha dosis, el fraccionamiento de N incrementó signifi-

cativamente la EUN en 5,3 y 10 kg grano kg N⁻¹ respecto a las aplicaciones completas en Z12 para Lobería y Miramar, respectivamente (Tabla 2). No obstante, no se determinó incremento significativo ($p > 0,05$) por el fraccionamiento de la dosis de 120 kg N ha⁻¹ (Tabla 2). La baja EUN de los tratamientos en Z12, se explicaría en parte por los excesos hídricos registrados durante los primeros estadios, que sumado a una baja evapotranspiración y escasa absorción de N por parte del cultivo generan un ambiente propicio para las pérdidas de N del sistema, probablemente vía lixiviación (Barbieri *et al.*, 2008). En trigo, varios trabajos realizados en el SEB determinaron mayores EUN por efecto del fraccionamiento de la dosis de N entre siembra y macollaje (Melaj *et al.*, 2003; Barbieri *et al.* 2008), y entre macollaje y encañazón (Velasco *et al.*, 2012). Para las dosis más altas, en ambos sitios se determinaron bajas EUN, sin embargo estas superan a la relación de precios (kg de grano kg N⁻¹) de 4,8:1 reportada por Peralta *et al.* (2014) mínima para cubrir los costos de fertilización para el período 1990-2007. Esto evidencia que aún con las dosis más altas de N, se cubrieron los costos de la práctica de fertilización.

En ambos sitios, el contenido de PB en grano aumentó por efecto del agregado de N (Fig. 2a), lo cual coincide con lo reportado por Prystupa *et al.* (2006). No obstante, es

válido mencionar que la concentración de N gr en todos los tratamientos se ubicó por debajo del umbral crítico de 1,96% de N sugerido por Sylvester-Bradley & Kindred (2009) para variedades modernas. Además, en los dossitos experimentales la PB del testigo se ubicó por debajo del valor mínimo (9,5%), mientras que en ningún tratamiento fertilizado la PB excedió el valor máximo (1%), exigido en el estándar de comercialización (CACBUE, 2013) (Fig. 2a). Estos bajos contenidos de PB son característicos de las nuevas variedades de cebada, las que se diferencian de las difundidas una década atrás, las cuales ante condiciones poco favorables para el cultivo, excedían los límites de recepción de PB (Sylvester-Bradley & Kindred, 2009). Estas nuevas variedades, por el contrario, ante condiciones relativamente favorables no logran llegar al umbral mínimo requerido por las malterías.

Considerando las máximas respuestas en PB (dosis de 180 kg N ha⁻¹ - Testigo), las aplicaciones de N incrementaron 0,02% el contenido de PB por cada kg N aplicado, por lo que se deberían aplicar 50 kg N ha⁻¹ para incrementar en 1% el contenido de PB (efecto variable según potencialidad del año). Estos valores son ligeramente inferiores a los reportados Prystupa *et al.* (2008) en una red de ensayos en la región pampeana, quienes determinaron incre-

Tabla 2. Rendimiento, número de espigas (NE), peso de mil granos (PM) y eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) para los diferentes tratamientos de fertilización: cuatro dosis de N aplicadas en dos hojas (Z12) (0, 40, 80 y 120 kg N ha⁻¹) y cuatro dosis fraccionadas [80Nf = 40N en (Z12) y 40N en cuatro macollos (Z24); 120Nf = 60N en Z12 y 60N Z24 y 180Nf₁ = 60N en Z12 y 120N en Z24 y 180Nf₂: 60N en Z12, 60N en Z24 y 60N en un nudo (Z31)].

Table 2. Yield, spike number (NE), thousand grain weight (PM) and nitrogen use efficiency (EUN) for different fertilization treatments : four N rates applied at the two leaves stage (Z12) (0, 40, 80 and 120 kg N ha⁻¹) and four rates divided the following ways: [80Nf = 40N at (Z12) and 40N at four tillers (Z24); 120Nf = 60N at Z12 and 60N at Z24 and 180Nf₁ = 60N at Z12 and 120N at Z24 and 180Nf₂: 60N at Z12, 60N at Z24 and 60N at first detectable node Z31].

Tratamiento	Rendimiento (kg ha ⁻¹)		NE (m ⁻²)		PM (g)		EUN (kg Gr kg N ⁻¹)	
	Lobería	Miramar	Miramar	Lobería	Miramar	Lobería	Miramar	
Testigo	4039 c	3685 c	477	549	35,9 a	34,4 abc		
40N	4252 c	4204 bc	579	636	34,4 ab	34,8 ab	7,7 b	19,4 ab
80N	4435 bc	4645 ab	545	600	35,8 a	35,3 a	8,6 b	12,0 c
120N	5019 a	4844 ab	656	625	33,2 bc	35,3 a	8,2 b	11,8 c
80Nf	5148 a	5280 a	612	584	32,3 bc	33,5 abc	13,9 a	22,0 a
120Nf	5250 a	5173 a	585	622	31,9 bc	33,3 bc	10,1 ab	14,6 bc
180Nf ₁	4992 ab	5299 a	667	518	30,9 c	32,7 c	5,3 b	9,1 c
180Nf ₂	5347 a	5323 a	609	538	32,2 bc	32,9 c	7,3 b	9,0 c
Dosis Completas	4727 b	4745 b	601	613	34,5 a	35,3 a	8,4 b	11,9 b
Dosis Fraccionadas	5199 a	5227 a	599	603	32,1 b	33,4 b	12 a	18,3 a

Valores seguidos por la misma letra en cada columna, no difieren significativamente según el test de la mínima diferencia significativa (LSD) al 5% de probabilidad.

Values followed by the same letter in each column are not significantly different according to the test of least significant difference (LSD) at 5% probability.

mentos en el contenido de PB de 0,028 y 0,0375% por cada kg de N aplicado en macollaje y espigazón del cultivo de cebada, respectivamente. Para la dosis de 80 kg N ha⁻¹ no se determinaron incrementos significativos en el contenido PB por efecto del fraccionamiento de la dosis de N (Fig.2a). Sin embargo, para la dosis de 120 kg N ha⁻¹ en el sitio Lobería se observó cómo tendencia, mayor concentración de PB por efecto del fraccionamiento ($p < 0,10$). En

Miramar para la misma dosis se observó la misma tendencia, sin embargo no se determinó efecto significativo del fraccionamiento sobre concentración de PB ($p > 0,05$). No obstante, en este sitio se determinó un mayor efecto del fraccionamiento en el rendimiento (330 kg ha⁻¹), lo cual explicaría en parte la diferencia entre sitios en la respuesta al fraccionamiento en el contenido de N gr.

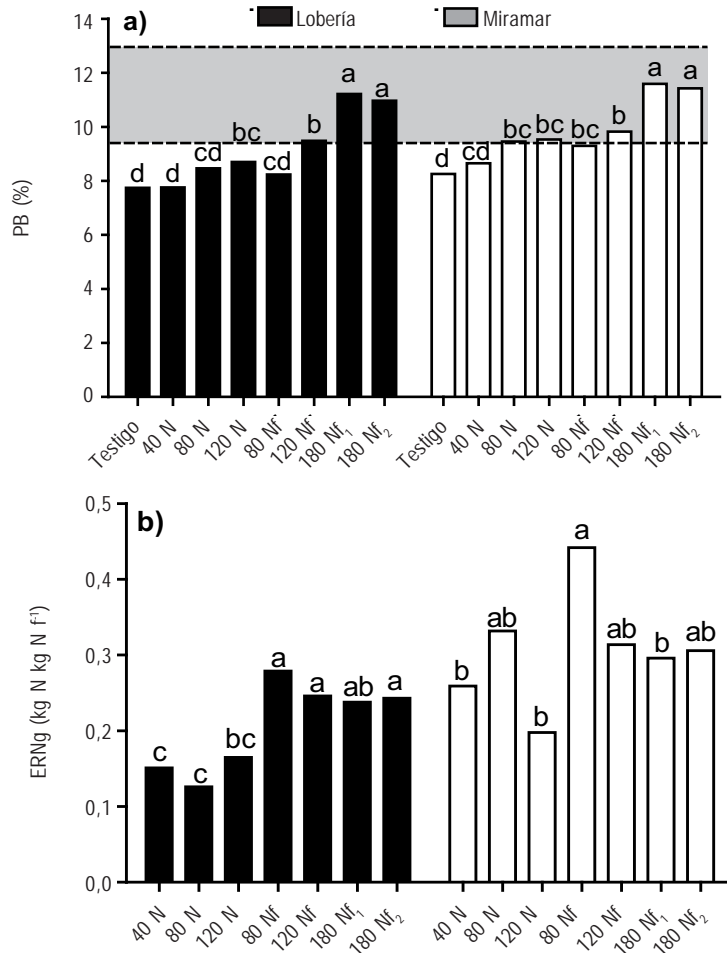


Figura 2. **a)** Porcentaje de proteína bruta (PB) y **b)** eficiencia de recuperación en grano (ERNg) para los diferentes tratamientos de fertilización en Lobería y Miramar. Área sombreada representa PB según Norma de comercialización (CACBUE, 2013). Valores seguidos por la misma letra, no difieren significativamente según el test de la mínima diferencia significativa (LSD) al 5% de probabilidad. Líneas verticales representan el desvío estándar de la media. Tratamientos de fertilización: cuatro dosis de N aplicadas en dos hojas (Z12) (0, 40, 80 y 120 kg N ha⁻¹) y cuatro dosis fraccionadas [80Nf = 40N en (Z12) y 40N en cuatro macollos (Z24); 120Nf = 60N en Z12 y 60N Z24 y 180Nf₁ = 60N en Z12 y 120N en Z24 y 180Nf₂ = 60N en Z12, 60N en Z24 y 60N en un nudo (Z31)].

Figure 2. **a)** Protein percentage (PB) and **b)** recovery efficiency in grain (ERNg) for different fertilization treatments in Lobería and Miramar. Shaded area represents PB as marketing standard (CACBUE, 2013). Values followed by the same letter do not differ significantly according to the test of least significant difference (LSD) at 5% probability. Vertical lines standard deviation of the mean. Fertilization treatments: four N rates applied at the two leaves stage (Z12) (0, 40, 80 and 120 kg N ha⁻¹) and four rates divided the following ways: [80Nf = 40N at (Z12) and 40N at four tillers (Z24); 120Nf = 60N at Z12 and 60N at Z24 and 180Nf₁ = 60N at Z12 and 120N at Z24 and 180Nf₂ = 60N at Z12, 60N at Z24 and 60N at first detectable node Z31].

La ERNg (kg N kg N f^{-1}) fue mayor en los tratamientos con dosis divididas respecto a los que recibieron todo el N en Z12 (Fig. 2b). Para Lobería, el fraccionamiento de N aumentó significativamente ($p < 0,05$) la ERNg en 0,15 y 0,08 kg N kg N f^{-1} para la dosis de 80 y 120 kg N ha^{-1} , respectivamente. Mientras que para Miramar, el aumento por efecto del fraccionamiento fue de 0,11 kg N kg N f^{-1} para la dosis de 80 y 120 kg N ha^{-1} , siendo el mismo no significativo ($p > 0,05$). Considerando un índice de cosecha de N de 0,66 (Alzueta, 2013) la eficiencia de recuperación de N en planta varió entre 0,24 y 0,50 kg N kg N f^{-1} para dosis únicas y entre 0,41 y 0,77 kg N kg N f^{-1} para dosis fraccionadas. Similares resultados han sido reportados para el cultivo de trigo por Barbieri *et al.* (2008).

Considerando que el requerimiento de N del sistema varía con el rendimiento y el contenido de PB en grano (Prystupa *et al.*, 2012), se elaboró un índice, dividiendo la disponibilidad de N por el rendimiento (Nd/R) (McKenzie *et al.*, 2004). La disponibilidad de N se calculó sumando el N como nitrato en el suelo hasta 60 cm de profundidad a la siembra más el N aportado por los fertilizantes (en Z12, Z24 o Z31). El Nd/R representa los kilogramos de N disponible (suelo + fertilizante) por tonelada de grano ($\text{kg N disponible Mg grano}^{-1}$). El contenido de PB de los granos se asoció estrechamente con el Nd/R (Fig. 3), aunque el

incremento del mismo fue diferente ($p < 0,05$) según la estrategia de fertilización (pendiente = 0,11 y 0,07 para dosis fraccionada y completa, respectivamente). A modo de ejemplo, a partir de los modelos ajustados (Fig. 3), son necesarios 33 y 39 kg N Mg^{-1} para conseguir el mínimo de PB requerido por el estándar de comercialización (9,5%), para tratamientos fraccionados y completos, respectivamente. Similares valores fueron reportados por Ross *et al.* (2011) para años secos en el sur de Buenos Aires. Sin embargo, para una red de ensayos en la región pampeana Prystupa *et al.* (2008) determinaron que son necesarios entre 20 y 40 $\text{kg N Mg grano}^{-1}$ para lograr niveles de PB entre 10-12% (Fig. 3). Esta diferencia entre zonas se podría deber a la diferencia en la magnitud de los mecanismos de pérdida de N.

CONCLUSIÓN

Para las condiciones evaluadas, el fraccionamiento de la dosis de N en el cultivo de cebada mejoró el rendimiento, la EUN y la ERNg, por lo que parecería una práctica de manejo recomendable en pos de maximizar la producción y reducir las externalidades de la práctica de fertilización.

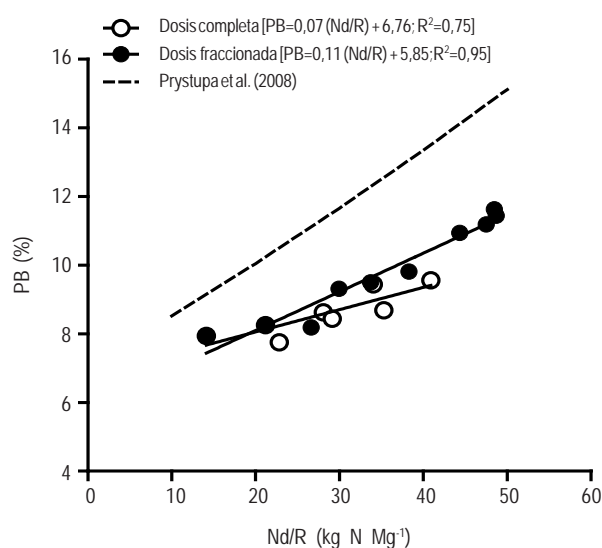


Figura 3. Relación entre porcentaje de proteína bruta (PB) y el cociente entre el nitrógeno disponible (Nd) (N inicial + N fertilizante) y rendimiento obtenido (Nd/R). Línea punteada corresponde al modelo ajustado por Prystupa *et al.* (2008).

Figure 3. Relation between protein percentage (PB) and the ratio of available nitrogen (Nd) (N initial + N fertilizer) and yield (Nd / R). The dotted line corresponds to the model adjusted by Prystupa *et al.* (2008).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se hizo posible por el apoyo financiero de Fertilab (Laboratorio de Suelos y Plantas) y del Proyecto INTA (PNSUELO-1134024).

BIBLIOGRAFÍA

- Alzueta, I. 2013. Eficiencia fisiológica en el uso del nitrógeno en pre y post floración como condicionante del rendimiento y la calidad en genotipos de trigo pan y su comparación con cebada cervecera. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires. [Buenos Aires, Argentina].
- Barbieri, PA; HR Sainz Rozas & HE Echeverría. 2008. Time of nitrogen application affects nitrogen use efficiency of wheat in the humid pampas of Argentina. *Can. J. Plant. Sci.* 88: 849-857.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Brulusema, T; C Witt; F García; S Li; TN Rao; F Chen & S Ivanova. 2008. A global framework for fertilizer BMPs. *Better Crops* 92(2): 13-15.
- CACBUE, 2013. Cámara Arbitral de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires. Norma V Anexo A. Norma de Calidad para la Comercialización de Cebada Cervecera. <http://www.cabcbue.com.ar>. Verificado 24 de Octubre de 2014.
- Calviño, PA; HE Echeverría & M Redolatti. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Cien. Suelo* 20: 36-42.
- Calviño, PA; VO Sadras & FH Andrade. 2003. Quantification of environmental and management effects on the yield of late-sown soybean. *Field crops research* 83 (1): 67-77.
- Della Maggiora, AI; AI Irigoyen; JM Gardiol; O Caviglia & L Echarte. 2003. Evaluation of a soil water model for the corn crop. *Rev. Agric. Agrometeor.* 2: 167-176.
- Doorenbos, J & AH Kassam. 1979. Yield response to water. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Rome. Pág. 1-180].
- Echagüe, M; MR Landriscini; S Venanzi & MA Lazzari. 2001. Fertilización nitrogenada en cebada cervecera. *INPOFOS. Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 10: 5-8.
- Echeverría, HE & H Sainz Rozas. 2005. Nitrógeno. En: HE Echeverría & FO García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Pp. 69-95. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Fabrizzi, KP; FO García; JL Costa & LI Picone. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Res.* 81: 57-69.
- Ferraris, GN; F Mousegne; M Barraco; J Cavo; L Couretot; R Falconi; O Ferraris; E Lemos; M López de Sabando; G Magnone; A Martín; P Melill; A Paganini; G Pérez; R Pontoni; J Zanettini; C Scianca; R Solá; MG Tellería & L Ventimiglia. 2014. Rendimiento y respuesta comparada a fósforo y nitrógeno en trigo y cebada cervecera (2009, 2010, 2011, 2012 y 2013). En: XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca.
- Ferraris, GR; M Falconi & ME Camozzi. 2006. Efectos de la fertilización con nitrógeno en cebada cervecera. En: Trigo. Resultados de Unidades demostrativas del Proyecto Regional Agrícola, años 2003-06. CERBAN. Áreas de Desarrollo Rural EEA INTA Pergamino y General Villegas: 450-453.
- Fox, J. 2005. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. *Journal of Statistical Software* 14(9): 1-42.
- García, F. 2009. Eficiencia de uso de nutrientes y mejores prácticas de manejo para la nutrición de cultivos. In: F. García e I. Ciampitti (ed). Simposio Fertilidad 2009: Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos. IPNI-Fertilizar AC. pag. 9-18. ISBN 978-987-24977-1-2.
- Gianello, C & JM Bremner. 1986. A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Communications in Soil Science & Plant Analysis* 17(2): 215-236.
- González Montaner, JH. 2009. Decisiones empresariales para un año sin red. Proc Jornada de actualización Técnica Trigo, Cebada y Colza 2009. Azul, Buenos Aires, Argentina: 19-20.
- Jung, S; DA Rickert; NA Deak; ED Aldin; J Recknor; LA Johnson & PA Murphy. 2003. Comparison of Kjeldahl and Dumas methods for determining protein contents of soybean products. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 80:1169-1173. doi:10.1007/s11746-003-0837-3
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: AL Page (ed). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Pp. 643-698. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Landriscini, MR; L Suárez; A Rausch; A Lazzari & MM Policano. 2004. Eficiencia del nitrógeno aplicado en dos momentos de ciclo de la cebada. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos. Resúmenes 173. En CD.
- Lazzari, MA; MR Landriscini & ME Echagüe. 2005. Patrones de absorción de nitrógeno nativo y del fertilizante en cebada cervecera con fertilizaciones cercanas a la siembra. *Ciencia del Suelo* 23(1): 69-77.
- MAGyP 2014. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. Estimaciones y Estadísticas. [en línea] <<http://www.siaa.gov.ar/>>. [consulta: 10 de julio de 2014].
- McKenzie, RH; AB Middleton; L Hall; J DeMulder & E Bremer. 2004. Fertilizer response of barley grain in south and central Alberta. *Can. J. Soil Sci.* 84(4): 513-523.
- Melaj, MA; HE Echeverría; SC Lopez; GA Studdert; F Andrade & NO Barbaro. 2003. Timing of nitrogen fertilization in wheat under conventional and no-tillage system. *Agron. J.* 95(6): 1525-1531.
- Peralta, NR; J Costa; P Barbieri; T Gowland; V Aparicio & M Castro Franco. 2014. Agricultura de precisión: Dosis variable de nitrógeno en cebada. En: XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca.
- Prystupa, P & G Ferraris. 2011. Nutrición mineral y fertilización. En: DJ Miralles; RL Benech-Arnold & LG Abeledo (eds) Cebada cervecera. Pp. 205-241. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires.
- Prystupa, P; G Ferraris; T Loewy, FH Gutiérrez Boem, L Ventimiglia, L Couretot, & R Bergh. 2012. Fertilización nitrogenada de cebada cervecera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. 16-20 de abril de 2012. Actas en CD.
- Prystupa, P; G Ferraris; T Loewy; R Bergh; L Ventimiglia; FH Gutiérrez Boem & L Coureot. 2008. Fertilización de Cebada Cervecera cv Scarlett: IV. Estimación de la respuesta del contenido proteico a la fertilización nitrogenada. En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. En CD.
- Prystupa, P; R Bergh; G Ferraris; T Loewy; L Ventimiglia; FH Gutiérrez Boem & L Couretot. 2006. Fertilización nitrogenada y azufrada de cebada cervecera cv Scarlett. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur.* IPNI Cono Sur. Buenos Aires. 38: 5-8.

- Prystupa, P; R Savin & GA Slafer. 2004. Peso y calibre de los granos de cebada cervecera en respuesta a deficiencias de fósforo y nitrógeno. VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. Octubre de 2004. En CD.
- Reussi Calvo, NI & HE Echeverría. 2006. Estrategias de fertilización nitrogenada en trigo: balance hídrico para el sur bonaerense. *Ciencia del Suelo* 24: 115-122.
- Reussi Calvo, NI; H Sainz Rozas; HE Echeverría & A Berardo. 2013. Contribution of anaerobiosis incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. *Agron. J.* 105(2): 321-328.
- Ross, J; J Massigoge & M Zamora. 2011. Fertilización de cebada cervecera en ambientes con tosca en el sur de Buenos Aires, Argentina. *Informaciones Agronómicas* N°3. Pp. 9-13.
- Sainz Rozas, H; H Echeverría & H Angelini. 2012. Fósforo disponible en suelos agrícolas de la región pampeana y extraPampeana argentina. *RIA* 38(1).
- Sainz Rozas, H; HE Echeverría & H Angelini. 2011, Niveles de carbono orgánico y ph en suelos agrícolas de la región pampeana y extra-pampeana argentina, *Ci. Suelo* 29: 29-37.
- Salvagiotti, F; G Cordone; J Castellarín; S Bacigaluppo & J Capurro. 2004. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada en trigo utilizando un umbral de disponibilidad de nitrógeno a la siembra. Para mejorar la producción, 25, Pp. 50-52.
- Stewart, WM. 2007 Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas* v.67, p.1-6.
- Sylvester-Bradley, R & DR Kindred. 2009. Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. *J. Exp. Bot.* 60(7): 1939-1951.
- Velasco, JL; H Sainz Rozas; H Echeverría & P Barbieri. 2012. Optimizing fertilizer nitrogen use efficiency by intensively managed spring wheat in humid regions: Effect of split application. *Can. J. Plant. Sci.* 92(5): 847-856.
- Walkley, A & Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed Codification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37(1): 29-38.
- Zadoks, JC; TT Chang & CF Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Research.* 14, 415-421. *Weed research.* 14(6): 415-421.

