

¿El fraccionamiento de nitrógeno en cebada mejora la eficiencia de uso en el Sudeste Bonaerense?

Presentado en el XXIV Congreso Argentino de Ciencias del Suelo – Bahía Blanca – Mayo 2014

Orcellet, J.M.¹; Reussi Calvo, N.I.^{2,3*}; Echeverría, H.E.³; Sainz Rozas, H.³; Diovisalvi, N.V.²; Berardo, A.²

¹ INTA Rafaela, ² Laboratorio de suelos FERTILAB, ³ Unidad Integrada Balcarce

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

PALABRAS CLAVE

Nutrición; Nitrógeno; Momento

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) es el cuarto cereal a nivel mundial, siendo la Argentina el mayor productor de Sudamérica (5,16 millones de Mg). La provincia de Buenos Aires abarca el 80% de la producción nacional, con una participación del sudeste bonaerense (SEB) del 40% (MAGPyA, 2010). La difusión del cultivo de cebada en el SEB se basa principalmente en que libera con anterioridad los lotes permitiendo anticipar la siembra de soja (*Glycine max* L.) de segunda respecto al trigo (*Triticum aestivum* L.), 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 al alto requerimiento de los cultivos y a la frecuencia con que se observan deficiencias en los suelos (Echeverría & Sainz Rozas, 2005). En cebada, esta deficiencia afecta el número de grano por unidad de superficie (Prystupa *et al.*, 2004), por lo cual la fertilización con N es una práctica frecuente en los sistemas actuales de producción. 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 buena calidad industrial [proteína bruta (PB) de 10 a 12%; Savio, 1998]. Por lo tanto, es imprescindible un manejo racional de la fertilización en pos de maximizar la eficiencia de uso de N (EUN), con el objetivo de mejorar el retorno económico y disminuir el posible impacto ambiental de dicha práctica.

El SEB se caracteriza por tener una muy baja probabilidad de déficit hídrico (menor al 5%) desde la siembra hasta la espigazón del cultivo de trigo (Reussi Calvo & Echeverría, 2006), por lo tanto es conveniente considerar el fraccionamiento de la dosis de N con el objetivo de maximizar el rendimiento y la EUN. Además, Lazzari *et al.* (2001) determinaron que la cebada posee baja absorción de N hasta principios de macollaje, siendo máxima desde mitad de macollaje hasta encañazón, período en el cual se obtendría la mayor EUN. En el norte de la provincia de Buenos Aires, varios trabajos no encontraron diferencias en rendimiento por efecto de la dosis y momento de fertilización (Echagüe *et al.*, 2001; Landriscini *et al.*, 2004), siendo promisoría dicha práctica para el Sudoeste Bonaerense (Ron & Loewy, 1996). Sin embargo, no existen reportes del impacto del fraccionamiento de N en cebada para el SEB. Considerando que para trigo se han determinado mayores rendimientos y eficiencias de recuperación de N en grano (ERNg) para aplicaciones al macollaje respecto de la siembra en el SEB (Barbieri *et al.*, 2008), surge la necesidad de evaluar el efecto del fraccionamiento de N en cebada en dicha región sobre el rendimiento, porcentaje de proteína en grano, la EUN y la ERNg.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la campaña 2012 se realizaron dos ensayos a campo en el SEB (Miramar y Lobería) bajo siembra directa. 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) (**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)]. 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 (P) (Bray & Kurtz I, 1945), pH (1:2,5), y nitrógeno anaeróbico (Nan), (Bremner & Keeney, 1965) en superficie (0-20 cm) y N-NO₃⁻ (Keeney & Nelson, 1982) y humedad gravimétrica en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm). En la Tabla 1 se presenta la caracterización inicial de ambos sitios.

Tabla 1. Caracterización inicial de los sitios. MO = materia orgánica, P = fósforo, Nan = nitrógeno anaeróbico.

	Profundidad (cm)	pH	P (ppm)	M.O. (%)	Nan (ppm)	N-NO ₃ (ppm)	N-NO ₃ (kg ha ⁻¹)
Miramar	0-20	5,9	14,3	5,5	61	15	78
	20-40					10	
	40-60					7	
Lobería	0-20	5,9	25,7	4,5	59	13	57
	20-40					6	
	40-60					5	

A la cosecha se evaluó el rendimiento y se expresó al 14% de humedad. Además, se determinó el peso de 1000 granos y se obtuvo la concentración de N total en grano por combustión seca mediante el método Dumas (Jung *et al.*, 2003). La concentración de N en grano se transformó a proteína utilizando un factor de 5,7 (Rhee, 2001). Además, se calculó la EUN 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 en grano (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).

Se realizó el análisis estadístico utilizando el programa R commander. 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.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el ciclo del cultivo las precipitaciones registradas fueron de 580 y 440mm para Lobería y Miramar, respectivamente; siendo superiores a la media histórica de trigo (380-400mm). Esta adecuada disponibilidad

hídrica se vio reflejada en el balance de agua del suelo, dado que el contenido hídrico se ubico por encima del umbral fisiológico durante la mayor parte del ciclo (Figura 1).

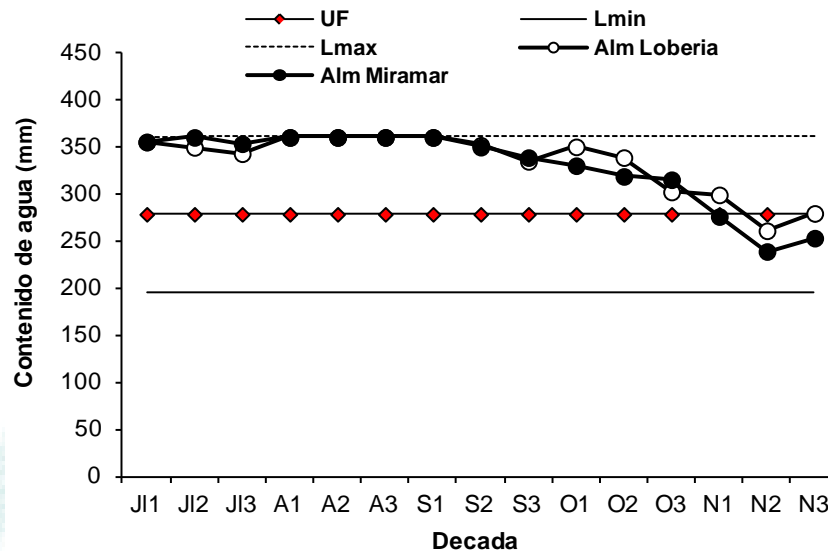


Figura 1. Balance hídrico decádico durante el ciclo del cultivo. Donde: Lmax: límite máximo, Lmin: límite mínimo, Alm Miramar: agua almacenada en Miramar, Alm Lobería: agua almacenada en Lobería y UF: umbral fisiológico.

En ambos sitios, se observó aumentó significativo de rendimiento por efecto de la dosis de N (Tabla 2). Similares resultados han sido obtenidos por diversos autores en diferentes zonas de la Región Pampeana (Landriscini *et al.*, 2004, Prystupa *et al.*, 2008). No obstante, no se determinó efecto del agregado de N sobre el peso de mil granos ni en el número de espigas m^{-2} (Tabla 2). Por lo tanto, el principal componente de rendimiento afectado fue el número de grano por espigas, coincidiendo con lo reportado por Prystupa & Ferraris (2011). Para ambos sitios, los máximos rendimientos se lograron con disponibilidades de N de 180 a 190 $kg\ ha^{-1}$ (suelo+ fertilizante), valores superiores a los determinados por Prystupa *et al.* (2008) para ambientes del norte de la provincia de Buenos Aires.

En ambos sitios, el fraccionamiento de la dosis de N incrementó el rendimiento del cultivo solo para la dosis de 80 kg de N ($p < 0,05$), siendo en promedio de 540 $kg\ ha^{-1}$. Si bien para la dosis de 120 kg de N el efecto del fraccionamiento no fue estadísticamente significativo, se observó como tendencia general un aumento 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. La misma fue máxima para el tratamiento 80Nf, siendo esta de 20 y 14 $kg\ grano\ kg\ N^{-1}$ para el sitio Miramar y Lobería, respectivamente. Además, para dicha dosis, el fraccionamiento de N incrementó la EUN en 7,9 y 5,5 $kg\ grano\ kg\ N^{-1}$ respecto a las aplicaciones realizadas solo en Z12, para Miramar y Lobería respectivamente (Tabla 2). La baja EUN de los tratamientos en Z12, podría ser explicada en parte por los excesos hídricos registrados durante los primeros estadios que sumado a una baja evapotranspiración generan un ambiente propicio para las pérdidas de N del sistema. En trigo, varios trabajos realizados en el SEB observaron mayores EUN por efecto del fraccionamiento de la dosis de N entre siembra y macollaje (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

Prohibida su reproducción total o parcial sin el consentimiento previo escrito del autor.

embargo estas superan a la relación histórica de precios (kg de grano kg N⁻¹), consiguiendo de este modo cubrir el costo de la práctica.

Tabla 2. Rendimiento, número de espigas (NE), peso de mil (PM) y eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) para los diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamiento	Rendimiento (kg ha ⁻¹)		NE (m ⁻²)		PM (g)		EUN (kg Gr kg N ⁻¹)	
	Miramar	Lobería	Miramar	Lobería	Miramar	Lobería	Miramar	Lobería
Testigo	3685 c	4039 d	549 a	477 b	34,4 abc	35.9 a		
40N	4204 bc	4252 cd	636 a	579 ab	34,8 ab	34.4 ab	13	5
80N	4645 ab	4705 bc	600 a	545 ab	35,3 a	35.8 a	12	8
120N	4844 ab	5019 ab	625 a	656 a	35,3 a	33.2 bc	10	8
80Nf	5280 a	5148 ab	584 a	612 a	33,5 abc	32.3 bc	20	14
120Nf	5173 a	5250 ab	622 a	585 ab	33,3 bc	31.9 bc	12	10
180Nf ₁	5299 a	4992 ab	518 a	667 a	32,7 c	30.9 c	9	7
180Nf ₂	5323 a	5347 a	538 a	609 a	32,9 c	32.2 bc	9	6
Contrastes								
80N vs 80Nf	p<0.05		ns		Ns			
120N vs 120Nf	Ns		ns		Ns			

Valores seguidos por la misma letra en sentido vertical, no difieren significativamente según el test de la mínima diferencia significativa (LSD) al 5 % de probabilidad. ns = no significativo.

En ambos sitios, el contenido de PB en grano aumentó por efecto del agregado de N (Figura 2). No obstante, es válido mencionar que la concentración de N en grano, salvo en los tratamientos con 180 kg de N, se ubicó por debajo del umbral crítico de 2% de N sugerido por Goss *et al.* (1982) para el cultivo de trigo. Sin embargo, surge la necesidad de validar dicho umbral en cebada y para los materiales de alto potencial de rendimiento empleados en la actualidad. Además, en general el nivel de PB se ubicó por debajo del rango requerido por la industria cervecera (entre 10 y 12%). Considerando las máximas respuestas en PB, las aplicaciones de N incrementaron 0,02% el contenido de PB por cada kg N aplicado. Para una red de ensayos, en la región pampeana Prytupa *et al.* (2008) reportaron incrementos 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. En síntesis, en promedio y para aplicaciones en macollaje se deberían aplicar 50 kg N ha⁻¹ para incrementar en 1% el contenido de PB (efecto variable según potencialidad del año). Por otra parte, no se determinaron incrementos en el contenido PB por efecto del fraccionamiento de la dosis de N (Figura 2). Sin embargo, la ERNg fue mayor en los tratamientos con dosis divididas respecto a los que recibieron simple dosis (Figura 2). Para Miramar, el fraccionamiento del N aumentó la ERNg en 10,3 y 6% para la dosis de 80 y 120 kg N ha⁻¹, respectivamente. En Lobería, la misma fue superior en un 5% para la dosis de 80 kg de N y un 8% para 120 kg de N. Esto se explicaría por el mayor rendimiento obtenido por efecto del fraccionamiento de N (Tabla 2). Similares resultados han sido reportados para el cultivo de trigo por Barbieri *et al.* (2008)

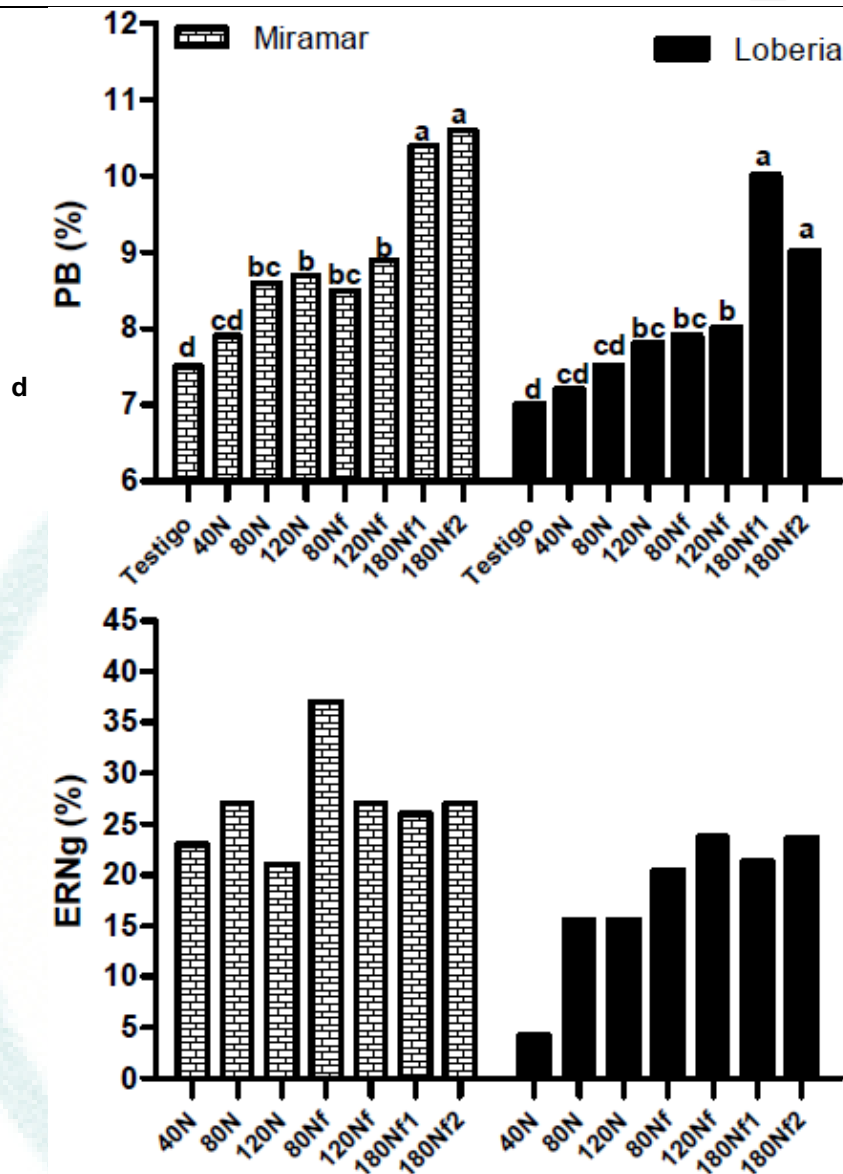


Figura 2. Porcentaje de proteína bruta (PB) y eficiencia de recuperación en grano (ERNg) para los diferentes tratamientos de fertilización. Valores seguidos por la misma letra, no difieren significativamente según el test de la mínima diferencia significativa (LSD) al 5 % de probabilidad.

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, siendo una práctica de manejo recomendable en pos de maximizar no solo la producción sino también la sustentabilidad de los sistemas de producción.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbieri, P.A.; H.R. Sainz Rozas & H.E. 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.
- Calviño, P.A.; Sadras, V.O.; Andrade, F.H. 2003. Quantification of environmental and management effects on the yield of late-sown soybean. *Field Crops Research* 83:67-77.
- Della Maggiora, Al; Irigoyen, A; Gardiol, J.M.; Caviglia, O.; Echarte, L. 2003. Evaluación de un modelo de balance de agua en el suelo para el cultivo de maíz. *Rev. Arg. Agrometeor.* 2(2): 167-176.
- Echagüe, M.; Landriscini, M.R.; Venanzi, S.; Lazzari, M.A. 2001. Fertilización nitrogenada en cebada cervecera. *INPOFOS. Informaciones Agronómicas del Cono Sur.* 10:5-8.
- Echeverría, H.E; Sainz Rozas, H. 2005. Nitrógeno. Pp. 69-95. En: HE. Echeverría & FO. García (eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Goos, R.J., D.G. Westfall, A.E. Ludwick, and J.E. Goris. 1982. Grain protein content as an indicator of N sufficiency for winter wheat. *Agron. J.* 74: 130-133.
- Jung, S., D.A. Rickert, N.A. Deak, E.D. Aldin, J. Recknor, L.A. Johnson, and P.A. 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
- Landriscini, M.R.; Suñer, L.; Rausch, A.; Lazzari, A.; Policano, M.M. 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, A; Landriscini, M.R.; Cantamutto, M.; Miglierina, A.M.; Rosell, R. 2001. Absorción de nitrógeno por cebada cervecera en dos suelos del sur bonaerense, Argentina. *Ci. del Suelo* 19:101-108
- MAGyP 2010. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. Estimaciones y Estadísticas. [en línea] <<http://www.siiia.gov.ar/>>. [consulta: 10 de diciembre de 2013].
- Prystupa, P.; Ferraris, G. 2011. Nutrición mineral y fertilización. En: Miralles, D.J.; Benech-Arnold, R.L.; Abeledo, L.G. (eds.) *Cebada cervecera*. Editorial Facultad de agronomía. Buenos Aires. pp. 205-241.
- Prystupa, P.; Ferraris, G., Bergh, R., T. Loewy, T.; Ventimiglia, L. ; Gutierrez Boem, F.H. 2008 Fertilización de Cebada Cervecera cv. Scarlett: IV. Modelo de respuesta del contenido proteico a la Fertilización Nitrogenada. En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. En CD
- Prystupa, P.; Savin, R.; Slafer, G.A. 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, N. y H.E. Echeverría, 2006. Estrategias de fertilización nitrogenada en trigo: balance hídrico para el sur bonaerense. *Ciencia del Suelo* 24: 115-122.
- Rhee, K.C. 2001. Determination of total nitrogen: Current protocols in food analytical chemistry. Texas A&M Univ., College Station.
- Ron, M.M.; Loewy, T. 1996. Análisis de la respuesta de cebada cervecera a nitrógeno y fósforo en tres suelos del Sudoeste Bonaerense (Argentina). *Ci. del Suelo* 14(2): 47-49.
- Savio H N. 1998. Cebada cervecera - Situación actual y futura. IV Congreso Nacional de Trigo y II Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. Actas, 6-05.
- Stewart, W.M. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronomicas*, v.67, p.1-6, 2007.
- Velasco, J.L., H. Sainz Rozas, H. Echeverría, y P. Barbieri. 2012. Optimizing fertilizer nitrogen use efficiency by intensively managed spring wheat in humid regions: Effect of split application. *Can. J. Plant Science.* 92: 1-10.