

# PATRONES DE ABSORCIÓN DE NITRÓGENO NATIVO Y DEL FERTILIZANTE EN CEBADA CERVECERA CON FERTILIZACIONES CERCANAS A LA SIEMBRA

MARÍA AURORA LÁZZARI; MARÍA ROSA LANDRISCINI y MARCELO ESTEBAN ECHAGÜE

LAHBIS, Dto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur y CERZOS (UNS-CONICET).

San Andrés 700, Tel.: (0291) 459 5103 - 8000 Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. alazzari@criba.edu.ar

Recibido: 18/09/04

Aceptado: 16/03/05

## RESUMEN

Existe escasa información sobre la aplicación de fertilizantes nitrogenados en cebada cervecera, y su relación con el aumento de rendimiento de granos sin aumentar la concentración proteica a niveles que excedan el rango exigido por las malterías. Se llevaron a cabo ocho experimentos a campo en diferentes sitios de la provincia de Buenos Aires, en los años 1999 y 2000, para determinar el efecto del nitrógeno sobre el crecimiento, la absorción de N del suelo y del fertilizante, el rendimiento y la concentración de N en grano. Los tratamientos fueron 0, 30 y 60 kg N ha<sup>-1</sup> aplicados a la emergencia de la planta, 30 y 60 kg N ha<sup>-1</sup> aplicados en macollaje temprano, y 60 kg N ha<sup>-1</sup> fraccionado en dos momentos: 30 kg N ha<sup>-1</sup> cada uno aplicados a la emergencia y en macollaje temprano. Dentro de cada parcela se ubicó una microparcela a la que se le aplicó urea marcada con <sup>15</sup>N. En cuatro momentos del ciclo de la cebada, desde macollaje temprano hasta madurez fisiológica, se evaluó la producción de materia seca y la absorción de N de plantas extraídas de las microparcels. El crecimiento continuó hasta madurez fisiológica, y generalmente alcanzó el máximo después de antesis, en coincidencia con el período de mayor absorción de nitrógeno. La dosis de 30 kg N ha<sup>-1</sup> aumentó el rendimiento pero no la concentración de N del grano. El agregado de 60 kg N ha<sup>-1</sup> afectó ambos. El momento de aplicación de N no afectó el rendimiento de la materia seca ni la concentración de N en el grano. La variación en la absorción de N entre sitios fue mayor que la variación en la absorción de N del fertilizante. El Índice de Cosecha de Nitrógeno no fue afectado por las dosis de N aplicado.

**Palabras clave.** *Hordeum vulgare*, urea, <sup>15</sup>N, suelos, provincia de Buenos Aires.

## SOIL AND FERTILIZER NITROGEN UPTAKE PATTERNS IN MALTING BARLEY WITH NEAR SEEDING FERTILIZATION

### ABSTRACT

There is a lack of data associated with applications of nitrogen fertilizer to increase yield while not increasing seed protein to levels exceeding those acceptable for malting barley in Buenos Aires province. Field experiments were carried out on eight sites between 1999 and 2000 to determine the effect of nitrogen on the growth, soil and fertilizer uptake, yield and grain nitrogen concentration of barley grown for malting. The treatments were: 0, 30 and 60 kg N ha<sup>-1</sup> applied as a whole at plant emergence, 30 and 60 kg N ha<sup>-1</sup> applied as a whole at early tillering, and 60 kg N ha<sup>-1</sup> applied in split applications of 30 kg N ha<sup>-1</sup> each at emergence and at early tillering growth stages. Within each plot there was a microplot to which <sup>15</sup>N-labelled urea was applied. Aboveground dry matter production and N uptake were measured at four sampling times from early tillering to physiological maturity from plant samples taken from the microplots. The growth continued to physiological maturity, and maximum growth was usually reached after anthesis, following the period of greater nitrogen uptake. The rate of 30 kg N ha<sup>-1</sup> increased yield but not the grain N concentration. The addition of 60 kg N ha<sup>-1</sup> affected both yield and grain N concentration. N application time did not affect the dry matter yield nor the N concentration of grain. The variation in soil N uptake between sites was greater than the variation in fertilizer nitrogen uptake. The Nitrogen Harvest Index was not affected by the rate of N application.

**Key words.** *Hordeum vulgare*, urea, <sup>15</sup>N, soils, Buenos Aires province.

## INTRODUCCION

En la Argentina, casi la totalidad de la producción de cebada cervecera tiene como destino la industria maltera. La fertilización nitrogenada, comúnmente realizada por los productores para aumentar los rendimientos, suele determinar incrementos en el porcentaje de proteína de los granos (Landriscini *et al.*, 2004), parámetro de mayor incidencia comercial. Valores óptimos serían entre 10 y

11% de proteínas, aunque existe una tolerancia hasta 12% (equivalente a una concentración de nitrógeno de 19,1 g kg<sup>-1</sup>).

En la provincia de Buenos Aires, donde se concreta el 80% de la producción nacional de cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.), la respuesta del rendimiento y de la concentración de nitrógeno (N) de los granos a la aplicación de fertilizante nitrogenado es muy variable y

depende de las condiciones ambientales del cultivo (Echagüe *et al.*, 2001). Por otro lado, con experimentos en macetas y de campo, Lázzari *et al.* (2001) mostraron que la absorción de N de urea varió considerablemente entre los suelos, lo que se relacionó con el suministro de N nativo. No obstante, bajo condiciones apropiadas es posible incrementar el rendimiento y mantener la concentración de N de los granos dentro del rango exigido por las malterías (Fathi *et al.*, 1997). Para ello, es necesario optimizar el uso del fertilizante nitrogenado. Esto puede lograrse a través del conocimiento de las necesidades relativas de N del fertilizante y del suelo a la absorción total de dicho nutriente, durante la estación de crecimiento del cultivo, y no meramente al final de su ciclo.

En este estudio, realizado durante dos años, en diferentes sitios de la provincia de Buenos Aires, se establecieron los siguientes objetivos: (i) determinar el modelo de crecimiento y absorción de N (nativo y del fertilizante) por el cultivo de cebada cervecera, mediante el uso de urea marcada, y (ii) evaluar el efecto de diferentes dosis y momentos de aplicación de urea sobre el rendimiento y concentración de N de los granos.

## MATERIALES Y METODOS

### Sitios experimentales y prácticas culturales

Con un mismo diseño experimental que contempló aplicaciones de urea común y marcada, se sembró cebada cervecera en cuatro localidades durante 1999 (San Mayol, SM; Coronel Suárez, CS; Bordenave, B1 y Alberti, A1) y en otras cuatro en 2000 (Casallares, C; Puán, P; Bordenave, B2 y Alberti, A2). El cultivar utilizado fue Quilmes Palomar (densidad de siembra 200 m<sup>-2</sup>), ampliamente difundido en la Pcia. Bs.As. Los suelos fueron clasificados (Soil Survey Staff 1999) como: Paleudol Petrocálcico (SM), Argiudol Típico (P), Haplustol Entico (B1 y B2) y Hapludol Típico (CS, A1, A2 y C), al inicio de este estudio. Las dosis y momentos de fertilización fueron: 0 (0N), 30 (30e) y 60 (60e) kg N ha<sup>-1</sup> aplicados a la emergencia (Z11, Zadoks *et al.* 1974; ca. 22 días desde la siembra, dds), 30 (30m) y 60 (60m) al macollaje temprano (Z14, ca. 59 dds), y 60 (30+30) kg N ha<sup>-1</sup> aplicados en forma fraccionada a la emergencia y al macollaje. Los seis tratamientos se ubicaron en 4 bloques completamente aleatorizados y la superficie de cada parcela fue 20 m<sup>2</sup>. Se extrajeron muestras de suelo (0-20, 20-40 y 40-60 cm) para obtener los datos de la Tabla 1. Una fertilización base de fósforo (P) fue aplicada junto a la semilla (20 kg ha<sup>-1</sup>, superfosfato triple). Luego de la siembra se ubicó una micro parcela (0,80 m x 1,90 m = 1,52 m<sup>2</sup>, 9 surcos) en uno de sus extremos (excepto en la parcela 0N) donde se aplicó urea marcada, en solución (ca. 9,9 <sup>15</sup>N a.e.); se adicionó urea común en el resto de la parcela. Se cosechó la biomasa aérea del centro de una línea de la micro parcela (dejando las líneas adyacentes sin muestrear) en: macollaje temprano (Z14); espigazón (Z51, ca. 106 dds); llenado de los granos (Z77, ca. 123 dds) y madurez fisiológica (Z91, ca. 147 dds), para estimar la materia seca de la biomasa aérea durante el ciclo y

analizar la concentración de N y de <sup>15</sup>N (% a.e.). Dos meses posteriores a la siembra, se determinó la densidad aparente de los suelos, con cilindro (5 cm diám. y 5 cm prof.), a las profundidades mencionadas. A la cosecha, se extrajeron plantas de un área de 1 x 4 m para evaluar rendimiento de materia seca total y de granos. El tratamiento que recibió la urea fraccionada (30+30) se duplicó en dos micro parcelas dentro de cada bloque; una de ellas recibió 30 kg N ha<sup>-1</sup> marcado en Z11 y 30 kg N ha<sup>-1</sup> no marcado en Z14; en la otra, las aplicaciones fueron a la inversa (diseño con ausencia de interacción fertilizante-planta o de tratamiento único).

### Análisis

El material vegetal fue secado hasta peso constante a 60 °C (con excepción de los granos, expresados con un 12% de humedad), pesado y molido (0,4 mm). Se determinó el N total por el método semimicro Kjeldahl (Bremner 1996). El N mineral del suelo se extrajo con solución 2 M KCl (base peso seco); el N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y el N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se determinaron separadamente por el método de arrastre de vapor con MgO y aleación de Devarda (Mulvaney 1996). El <sup>15</sup>N se determinó con espectrómetro de emisión (Jasco, N-150), luego de una combustión seca (IAEA 2001). La proporción de N en la planta derivado del fertilizante (% Nddf) se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{Nddf} = (\% \text{ a.e. } ^{15}\text{N planta} / \% \text{ a.e. } ^{15}\text{N fertilizante}) \times 100$$

Los datos de cada sitio fueron sometidos al análisis de la varianza. Cuando existieron diferencias, las medias fueron analizadas según el test MDS (mínima diferencia significativa) con una significación del 5%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Acumulación de materia seca en la biomasa aérea durante la estación de crecimiento

El sitio B1 sufrió una fuerte helada antes del llenado de granos (-5,5°C a 0,05m desde el suelo), observándose desde allí un detenimiento del crecimiento; además, existió falta de humedad en parte del ciclo en SM y CS (Tabla 2) o en su totalidad en A1, todos ensayos correspondientes al ciclo 1999. Pese a estos problemas, el crecimiento promedio no habría sido afectado por el clima y la producción de materia seca (MS) se incrementó hasta madurez fisiológica, como se observa en la Figura 1 (valores medios de dos momentos de adición en dosis total, ocho sitios y dos años). La mayor tasa de producción se observó en el período espigazón-llenado de granos, al cabo del cual se manifestaron la mayor cantidad de diferencias significativas entre tratamientos (datos de los ensayos individuales no mostrados), a saber: SM (los tratamientos con fertilización acumularon significativamente mayor MS que 0N), B1 (sólo 60e acumuló mayor MS que 0N), B2 (la secuencia fue 60e>30e>0N), y A2 (60e>0N). En madurez fisiológica, la dosis total de 30 kg N ha<sup>-1</sup> favoreció significativamente la acumulación de MS en

Tabla 1. Principales características del suelo de ocho sitios de la provincia de Buenos Aires, al inicio de los experimentos, para los ciclos de la cebada cervicera de los años 1999 y 2000.

Table 1. Principal soil characteristics at eight sites in the Buenos Aires province, at the experiment commencement, for 1999 and 2000 barley growing seasons.

	Año 1999					Año 2000			
	Prof. (cm)	Sitio			Sitio				
		SM	CS	B1	A1	C	P	B2	A2
MO† (g kg <sup>-1</sup> )	0-20	44	42	24	27	26	40	14	30
N (g kg <sup>-1</sup> )	0-20	2,25	1,85	1,40	1,61	1,30	2,10	0,74	1,59
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	0-60	76	92	48	122	105	59	4	15
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	0-60	70	37	55	47	67	37	0	0
P ‡ (mg kg <sup>-1</sup> )	0-20	9,9	13,3	15,0	3,0	14,4	11,0	16,1	15,7
pH §	0-20	5,2	6,0	6,8	5,3	6,3	6,4	6,6	5,9
Arcilla¶ (%)	0-20	22,5	17,5	15,6	17,5	15,0	25,0	10,0	20,0
Limo¶ (%)	0-20	12,5	15,0	8,8	3,8	7,5	15,0	2,5	5,0
Arena¶ (%)	0-20	65,0	67,5	75,6	78,8	77,5	60,0	87,5	75,0
D <sub>b</sub> # (Mg m <sup>-3</sup> )	0-20	1,13	1,16	1,39	1,28	1,29	1,16	1,46	1,33

† Materia Orgánica (Walkley & Black, 1934) ‡ P extractable, Bray 1 modificado (Bray & Kurtz, 1945).

§ Relación suelo:agua 1:2.5.

¶ Análisis del tamaño de partículas (Gee & Bauder, 1986).

# Densidad aparente, método del cilindro.

Figura 1. Acumulación de materia seca (MS) en la biomasa aérea de cebada, con diferentes dosis (0, 30 y 60 kg ha<sup>-1</sup>) de nitrógeno. A cada punto le corresponde la media de: dos momentos de aplicación de nitrógeno y ocho sitios (n=192). dds: días desde la siembra. Datos de micro parcelas.

Figure 1. Dry matter (MS) accumulated by barley aerial biomass, with different rate (0, 30 and 60 kg ha<sup>-1</sup>) of nitrogen addition. Each point is the average value of two moments of nitrogen addition and eight sites (n=192). dds: days from seeding. Data are from microplots.

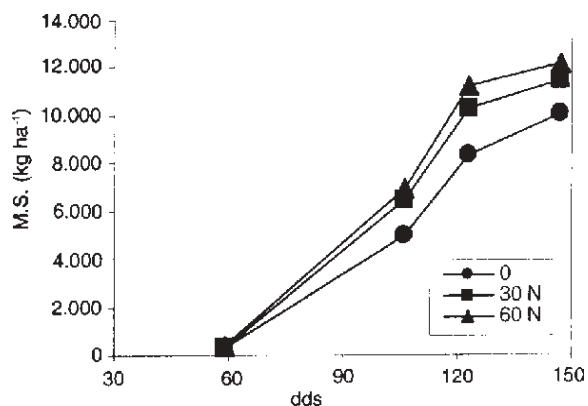


Tabla 2. Lluvia acumulada entre períodos de crecimiento de la cebada cervecera, en ocho sitios de la provincia de Buenos Aires, años 1999 y 2000.

Table 2. Accumulated rain between growth periods of malting barley, at eight sites in Buenos Aires province, in 1999 and 2000 growing seasons.

Año 1999	Precipitación (mm) Sitio			
	SM	CS	B1	A1
1 mes previo a la siembra	73	10	23	10
Siembra-macollaje	170	76	44	35
Macollaje-espigazón	8	41	55	97
Espigazón-llenado grano	44	48	109	30
Llenado grano-mad. fisiol.	91	48	134	14
Total	386	223	365	185
Año 2000	C	P	B2	A2
1 mes previo a la siembra	68	10	18	2
Siembra-macollaje	124	139	97	17
Macollaje-espigazón	119	140	125	137
Espigazón-llenado grano	70	37	42	212
Llenado grano-mad. fisiol.	-	9	-	58
Total	381	335	282	426

dos sitios: SM y A2. Mientras que la dosis total de 60 kg N ha<sup>-1</sup> no modificó significativamente la MS ya lograda con 30 kg N ha<sup>-1</sup> en ningún sitio. Además, el análisis por localidad mostró que en ningún caso el momento de aplicación de N afectó la producción de MS.

#### Absorción de nitrógeno del fertilizante y del suelo durante la estación de crecimiento

En general, tampoco se observó diferencia significativa en la absorción total de N por el cultivo, entre

momentos de aplicación de urea. Consecuentemente, en la Figura 2 se presentan los valores medios de los tratamientos cuando el N se aplicó sólo a la emergencia en dosis totales de 30 y 60 kg ha<sup>-1</sup>. La absorción de N por el cultivo continuó también hasta madurez, sugiriendo que el N en los granos derivó principalmente de la absorción desde el suelo más que del traslado desde otras partes de la planta. Después de un período inicial de baja tasa de absorción de N, hubo un aumento hasta espigazón. Posteriormente, la tasa de absorción de N promedio fue prácticamente constante hasta madurez fi-

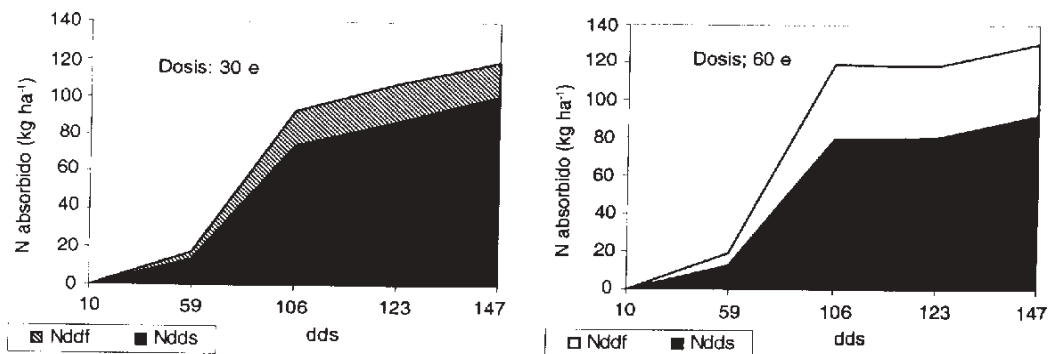


Figura 2. Absorción de nitrógeno del fertilizante □ y del suelo ■ durante la estación de crecimiento, por la biomasa aérea de cebada, con dosis totales de 30 y 60 kg N ha<sup>-1</sup> aplicados a la emergencia. A cada punto le corresponde la media de ocho sitios (n=32). dds: días desde la siembra. Datos de micro parcelas.

Figure 2. Uptake of fertilizer □ and soil ■ nitrogen over the growing season in barley aerial biomass, with total rate of 30 and 60 kg N ha<sup>-1</sup> added at the emergence. Each point is the average value of eight sites (n=32). Data are from micro plots.

Tabla 3. Fracción de nitrógeno derivado de la urea (%Nddf) en madurez fisiológica, en paja, grano y biomasa aérea de cebada, con 30 y 60 kg N ha<sup>-1</sup> aplicados en los estadios de emergencia (e) y macollaje (m). También, experimento de tratamiento único: 30\*+30, 30 kg N ha<sup>-1</sup> de urea marcada adicionada a la emergencia más 30 kg N ha<sup>-1</sup> de urea común, al macollaje; 30+30\*, 30 kg N ha<sup>-1</sup> de urea común a la emergencia más 30 kg N ha<sup>-1</sup> de urea marcada al macollaje.

Table 3. Fraction of nitrogen derived from the urea (%Nddf) at physiological maturity in straw, grain and aerial biomass of barley, with 30 and 60 kg N ha<sup>-1</sup> applied at emergence (e) and at tillering (m) growth stages. Too, single treatment experiment: 30\*+30, 30 kg N ha<sup>-1</sup> of added labelled urea at the emergence plus 30 kg N ha<sup>-1</sup> of unlabelled urea at tillering; 30+30\*, 30 kg N ha<sup>-1</sup> of unlabelled urea at the emergence plus 30 kg N ha<sup>-1</sup> of labelled urea at tillering.

Dosis N	Año 1999				Año 2000			
	Paja	Grano		Total	Paja	Grano		Total
	San Mayol (SM)				Cascallares (C)			
30e	15,7 a	15,6 a	ns	15,7 a	12,5 a	8,6 a	ns	10,7 a
30m	12,7 a	15,8 a	*	15,2 a	15,7 a	16,9 b	ns	16,3 b
60e	30,2 c	33,1 b	*	32,4 b	25,3 b	23,9 c	ns	24,6 c
60m	24,5 b	32,0 b	*	30,1 b	30,8 b	32,8 d	ns	31,8 d
30*+30	15,3 a	13,7 a	*	14,0 a	8,5 a	11,9 a	ns	10,0 a
30+30*	16,8 a	18,3 b	ns	17,9 b	14,2 b	11,7 a	ns	12,9 a
	Coronel Suárez (CS)				Puán (P)			
30e	18,2 b	19,2 b	*	19,0 b	18,4 a	18,2 a	ns	18,3 a
30m	11,5 a	15,1 a	*	14,4 a	17,0 a	19,2 a	ns	18,0 a
60e	31,4 c	32,4 d	ns	32,1 d	28,4 b	28,1 b	ns	28,5 b
60m	21,6 b	25,6 c	*	24,6 c	24,5 b	27,1 b	ns	25,7 b
30*+30	14,4 a	15,0 a	ns	14,8 a	13,6 b	12,4 a	ns	13,0 a
30+30*	12,1 a	15,8 a	*	14,9 a	10,9 a	13,7 a	ns	12,1 a
	Bordenave (B1)				Bordenave (B2)			
30e	13,3 a	15,3 a	ns	14,4 a	18,1 b	14,9 a	ns	16,3 b
30m	17,3 b	21,5 b	*	19,7 b	12,2 a	11,6 a	ns	11,9 a
60e	25,3 c	27,4 c	*	26,3 c	32,1 d	29,8 c	ns	30,9 d
60m	30,4 d	31,6 d	ns	31,1 d	25,7 c	24,5 b	ns	25,0 c
30*+30	13,2 a	14,2 a	ns	13,8 a	16,0 b	13,9 a	ns	14,8 a
30+30*	12,9 a	15,2 a	*	14,3 a	9,7 a	13,3 a	*	11,8 a
	Alberti (A1)				Alberti (A2)			
30e	14,1 a	16,4 a	*	15,7 a	11,9 a	18,5 a	ns	15,5 a
30m	18,4 b	19,5 b	ns	19,2 b	23,4 b	17,6 a	ns	20,3 b
60e	25,1 c	26,0 c	ns	25,7 c	28,8 b	29,9 b	ns	29,4 c
60m	29,6 d	30,4 d	ns	30,2 d	25,3 b	27,7 b	ns	26,7 c
30*+30	11,9 a	13,6 a	*	12,7 a	17,2 a	13,0 a	ns	14,9 a
30+30*	13,2 a	13,8 a	ns	13,7 a	26,2 b	11,8 a	*	18,6 b

En cada sitio, letras diferentes en la misma columna y experimento, indican diferencia significativa entre tratamientos. Para un mismo tratamiento ns y \* indican diferencia no significativa y significativa, respectivamente, entre las partes de la planta analizadas. Datos de micro parcelas. P<0.05, test MDS.

siológica, donde las plantas que recibieron 30 kg N ha<sup>-1</sup> superaron significativamente la cantidad de N absorbido por el testigo en sólo dos sitios: SM y B2. Las plantas que recibieron 60 kg N ha<sup>-1</sup> lo superaron significativamente en cinco sitios: SM, CS, A1, B2 y A2. Esto, y el hecho que la dosis alta no incrementó la MS por encima de la al-

canzada con la dosis menor (sección anterior), conduciría a pensar que un incremento significativo de la absorción de N por el cultivo tiene relación con la aplicación de dosis por encima de aquella que produce un aumento de rendimiento, como lo sugirieron Gallagher *et al.* (1987).

La Figura 2 muestra que, en general, no habría habido pérdidas de N absorbido en etapas tardías del cultivo. Una excepción fue lo ocurrido en B1, posiblemente debido a la helada mencionada. Hasta espigazón (106 dds), 60e absorbió más Nddf que 30e pero similar cantidad que 30e en cuanto al N nativo del suelo (Ndds). O sea que esta mayor absorción de Nddf resultó en una menor absorción de Ndds en la dosis alta. En general, las plantas de 0N y de aquellas fertilizadas absorbieron una cantidad de Ndds sin diferencia significativa ( $P < 0,05$ ), sugiriendo que no existió un efecto de cebado (*priming*) real. En sólo dos sitios (SM y B2) la absorción de Ndds se incrementó significativamente con la cantidad de urea adicionada (datos no mostrados). En el caso de SM, esto puede explicarse a través de la sustitución del *pool* de N, que requiere una buena interacción entre el  $^{15}\text{N}$  del fertilizante y el N inorgánico del suelo, favorecida por la importante cantidad relativa de arcilla y mayor estructura del suelo de este sitio (Tabla 1). Mientras que en el suelo de B2, con mayor predominio de arena, la aplicación de N podría haber causado una estimulación del crecimiento de las plantas, incluidas las raíces, lo que habría permitido una mayor exploración de las mismas y una mayor absorción de Ndds. En cambio, en un tercer sitio, CS, todos los tratamientos fertilizados acumularon una significativamente menor cantidad de Ndds. Glending *et al.* (1997) observaron algo similar en micro parcelas, diciendo que la única explicación posible es que el N del fertilizante haya bloqueado la absorción de N inorgánico del suelo una vez que la capacidad del cultivo a absorber N se haya excedido (efecto *priming* negativo). En estos tres casos, la aplicación del método tradicional (diferencia de rendimiento de N entre el tratamiento testigo y el fertilizado) para calcular la EUF conduciría a valores diferentes, dado que cierta cantidad de N del fertilizante pudo inducir diferentes efectos, dependiendo de las condiciones del suelo.

### Nitrógeno del suelo y del fertilizante en madurez fisiológica

En la biomasa aérea de las plantas, la dosis total de 30 kg N ocasionó un %Nddf (valor promedio de ocho sitios y de tratamientos con dosis total) de 16% (Tabla 3); la dosis total de 60 kg incrementó ese %Nddf a 28%. El %Nddf de los granos fue afectado en forma similar.

Respecto al momento de aplicación de N y su efecto sobre el %Nddf de la biomasa aérea, no se observó ninguna tendencia generalizada (Tabla 3). En SM, P y A2 no hubo ningún efecto; en CS y B2 el %Nddf fue superior con la aplicación temprana; en B1, A1 y C fue superior con la aplicación tardía.

Con cualquiera de las dosis totales, los cuatro sitios donde se presentaron algunas diferencias significativas entre el %Nddf de la paja y el de los granos, fueron los del año climático adverso 1999. Esto sugiere que, en condiciones climáticas normales, la fertilización nitrogenada en las dosis y momentos investigados, no afectaría el traslado del N hacia los granos (ver más adelante).

Respecto al experimento de tratamiento único 30+30, los únicos sitios que brindaron diferencia significativa del %Nddf de la biomasa aérea, entre la aplicación a la emergencia (30\*+30) y al macollaje (30+30\*), fueron SM y A2 (Tabla 3), a favor de la adición tardía pero sin manifestarse un destino preferencial de ese N hacia la paja o los granos, común en ambos ensayos. O sea que, en general, el N de las dos aplicaciones se habría distribuido homogéneamente por toda la planta. De allí que la dosis dividida no modificó el rendimiento ni la concentración de N de los granos respecto al tratamiento de dosis total 60e o 60m (Tabla 4). Sin embargo, y en particular, es interesante observar que en tres sitios (SM, B1 y B2) existió un mayor %Nddf ( $P < 0,05$ ) en el grano respecto de la paja, con la aplicación tardía. Quizás, una postergación de esta segunda aplicación, podría favorecer un mayor destino de N del fertilizante hacia los granos. Esto sería deseable en aquellos sitios de baja fertilidad y/o lavado de N (B2) donde suelen obtenerse granos con un tenor de N inferior al mínimo aceptable por las malterías (Tabla 4), o en el caso del uso de cultivares de mayor potencial de rendimiento que el usado en esta experiencia.

La absorción del N nativo y del fertilizante (sólo dosis totales en emergencia) por el cultivo (datos de las micro parcelas), en madurez fisiológica y en todos los sitios, se muestra en la Figura 3. La absorción de Ndds para la dosis de 30 kg N ha<sup>-1</sup> osciló entre 53 (B1) y 154 kg N ha<sup>-1</sup> (A2); esta variación fue más grande que la variación en el Nddf, el cual osciló entre 11,4 (B1) y 28,7 kg N ha<sup>-1</sup> (P) para la misma dosis. Algo similar, pero más pronunciado, se observó para la dosis de 60 kg N ha<sup>-1</sup>. O sea que el N del fertilizante tuvo relativamente bajo efecto sobre la absorción total del nutriente, comparado con la variación en la absorción de N nativo del suelo entre los diferentes sitios. Esto coincidió con lo experimentado a campo por McTaggart & Smith (1995) y en macetas por Lázzari *et al.* (2000), ambos con  $^{15}\text{N}$ . De manera que la absorción de N por las plantas y/o la concentración de N de los granos, podrían relacionarse con la disponibilidad de N del suelo durante el ciclo del cultivo. Un primer indicador de esta disponibilidad es la cantidad inicial de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en los 0-60 cm de profundidad de suelo (Tabla 1). Trabajos previos (Rausch *et al.*, 2003, Landrsicini *et al.*, 2004) mostraron ninguna o muy baja correlación entre esta variable y los parámetros rendimiento y proteína. Recientemente, Aguinaga (2004) demostró que la dispo-



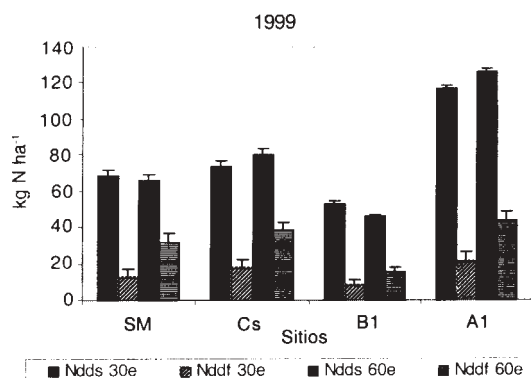


Figura 3. En cada año y sitio, absorción de nitrógeno del suelo por la cebada en madurez fisiológica, para las dosis total de 30 y 60 kg N ha<sup>-1</sup>, y del fertilizante para 30 y 60 kg N ha<sup>-1</sup> aplicados a la emergencia del cultivo. Cada columna es el promedio de n = 4. Barras verticales representan el e.s. Datos de micro parcelas.

Figure 3. At each year and site, at physiological maturity, soil nitrogen uptake by barley with total fertilizer rate of 30 and 60 kg N ha<sup>-1</sup>, and the fertilizer nitrogen uptake of 30 and 60 kg N ha<sup>-1</sup> added at the plant emergence. Each column is the average value of n = 4. Vertical bars represent s.e. Data are from micro plots.

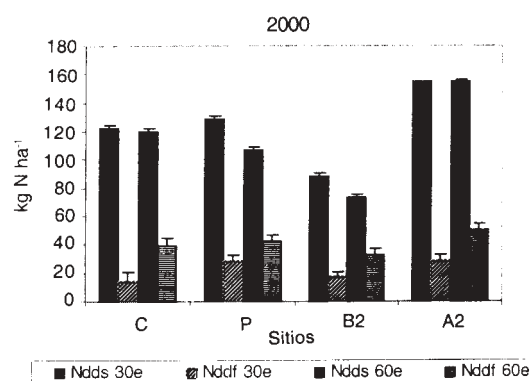


Tabla 4. Rendimiento y concentración de nitrógeno en granos de cebada, en ocho sitios, con diferentes dosis (0, 30 y 60 kg ha<sup>-1</sup>) y momentos (e, emergencia; m, macollaje) de adición de nitrógeno. 30+30: 30 kg N ha<sup>-1</sup> a la emergencia más 30 kg N ha<sup>-1</sup> adicionados al macollaje.

Table 4. Grain yield and grain nitrogen concentration in barley, at eight sites, with different rate (0, 30 and 60 kg ha<sup>-1</sup>) and moment (e, emergence; m, tillering) of nitrogen addition. 30+30: 30 kg N ha<sup>-1</sup> at the emergence plus 30 kg N ha<sup>-1</sup> added at tillering growth stage.

Año	Sitio							
	SM		CS		B1		A1	
1999	Rendim. (kg ha <sup>-1</sup> )	N (%)	Rendim. (kg ha <sup>-1</sup> )	N (%)	Rendim. (kg ha <sup>-1</sup> )	N (%)	Rendim. (kg ha <sup>-1</sup> )	N (%)
0N	1.386a†	1,72a	4.106a	1,70a	783a	2,12a	3.735a	1,91a
30e	2.440bc	1,69a	4.643a	1,70a	1.084b	2,06a	3.613a	2,18ab
30m	2.114ab	1,70a	4.385a	1,81ab	1.129b	2,10a	3.375a	2,30b
60e	3.260c	1,74ab	4.588a	1,93c	1.218b	2,18a	3.098a	2,29b
60m	2.532bc	1,97c	4.529a	1,96c	1.201b	2,17a	3.373a	2,46b
30+30	2.790bc	1,86bc	4.578a	1,90bc	1.387c	2,19a	3.194a	2,38b
2000	C		P		B2		A2	
0N	3.667a	1,60ab	4.592a	1,52a	1.865a	1,32a	3.472a	1,81a
30e	4.260bc	1,54a	5.048b	1,53a	3.354bc	1,36a	3.774a	1,85a
30m	4.096ab	1,63ab	5.079b	1,72ab	2.899b	1,36a	4.075b	1,75a
60e	4.622c	1,73bc	5.045b	1,80b	3.868c	1,38a	4.296b	1,81a
60m	4.030ab	1,89c	5.147b	1,76b	2.916b	1,39a	4.097b	1,86a
30+30	4.419bc	1,84c	5.207b	1,91b	3.387c	1,49b	4.264b	1,85a

† Medias en cada columna con la misma letra no son significativamente diferentes. P<0,05, test MDS.

nibilidad inicial de N guarda escasa relación con la proteína del grano. De manera que, quizás, el N potencialmente disponible del suelo podría ser un mejor indicador de la producción de cebada cervecera de buena calidad maltera, en la provincia de Buenos Aires.

### Rendimiento y calidad maltera de los granos

La aplicación de 30 kg incrementó el rendimiento de granos en cinco sitios (SM, B1, C, P y B2), y sólo en un sitio (A1) incrementó la concentración de N de los granos; la adición de 60 kg aumentó el rendimiento y/o la concentración de N en seis sitios (Tabla 4). En cuatro de estos seis sitios, algún tratamiento brindó granos con exceso de N, resultando de calidad no aceptable para el malteado; ellos fueron experimentados en el año con lluvias inferiores a las normales, 1999.

Se observó diferencia significativa del rendimiento, entre los dos momentos de adición de urea, en sólo un sitio (A2), con la dosis de 30 kg N ha<sup>-1</sup> (Tabla 4). Con la de 60 kg ha<sup>-1</sup>, hubo mayor rendimiento con la aplicación temprana (P<0,05) en dos sitios (C y B2). O sea que el momento de aplicación no influyó mayormente sobre el rendimiento de granos, de manera que no habría existido una deficiencia importante de N del suelo a la siembra del cultivo.

En general, tampoco se observó diferencia significativa de la concentración de N de los granos entre los dos momentos de adición de N. Sólo en SM, 60 m condujo

a un mayor valor respecto a 60e. Esto permitiría una libertad de elección del momento de aplicación del fertilizante, que podría extenderse desde la emergencia de las plantas hasta el macollaje temprano sin perjuicio para la producción de granos de cebada de buena calidad maltera.

Es importante destacar que la dosis parcializada (30+30) aumentó el rendimiento respecto de la dosis total en B1 (P<0,05); en B2 se obtuvo el máximo rendimiento junto a 60e que brindó la mayor concentración de N en los granos, pero aún resultando inferior al mínimo aceptado por las malterías.

### Índice de Cosecha de Nitrógeno (ICN)

En general, el ICN (N grano/N total) no fue significativamente afectado por la dosis ni por el momento de aplicación de N utilizados en este experimento (Tabla 5), como se sugirió previamente a través del análisis de los resultados de <sup>15</sup>N. Papakosta & Gagianas (1991) demostraron que el ICN es conservativo para arroz, maíz y trigo, dentro de un gran rango de regímenes de N. Particularmente, el ICN fue significativamente afectado en dos sitios, CS y A1, ambos de 1999. El más bajo ICN con la dosis mayor sugiere que la incorporación de N en el grano alcanzó un límite. Así, cuando la dosis de N se incrementó a 60 kg ha<sup>-1</sup>, en ambos sitios, declinó el ICN. En B1 se observó el ICN más bajo.

Tabla 5. Índice de Cosecha de Nitrógeno (ICN) de cebada en ocho sitios, con diferente dosis (0, 30 y 60 kg ha<sup>-1</sup>) y momentos (e, emergencia; m, macollaje) de aplicación de nitrógeno. 30+30: 30 kg N ha<sup>-1</sup> adicionados a la emergencia más 30 kg N ha<sup>-1</sup> adicionados al macollaje.

Table 5. Nitrogen Harvest Index (NHI) in barley at eight sites, with different rate (0, 30 and 60 kg ha<sup>-1</sup>) and moment (e, emergence; m, tillering) of nitrogen addition. 30+30: 30 kg N ha<sup>-1</sup> added at the emergence plus 30 kg N ha<sup>-1</sup> added at tillering growth stage.

Dosis N	Sitio							
	1999				2000			
	SM	CS	B1	A1	C	P	B2	A2
0N	0,65a†	0,76c	0,60a	0,71c	0,75a	0,81a	0,87a	0,74a
30e	0,70a	0,76c	0,57a	0,66bc	0,74a	0,82a	0,88a	0,75a
30m	0,75a	0,76bc	0,57a	0,65abc	0,79a	0,81a	0,88a	0,73a
60e	0,72a	0,73abc	0,52a	0,64abc	0,80a	0,79a	0,84a	0,70a
60m	0,72a	0,72a	0,59a	0,63ab	0,74a	0,83a	0,86a	0,71a
30+30	0,73a	0,73ab	0,57a	0,58a	0,77a	0,78a	0,87a	0,70a

† Medias en cada columna con la misma letra no son significativamente diferentes. P<0,05, test MDS.



## CONCLUSIONES

Este estudio mostró que la acumulación de materia seca y absorción de N por la biomasa aérea continuó hasta madurez fisiológica, con el período espigazón-lleñado de granos de mayor desarrollo. Mientras que la mayor tasa de absorción de N ocurrió durante el macollaje. No se detectaron pérdidas del nutriente a través de la biomasa aérea, con excepción del sitio que soportó una helada tardía. El N del fertilizante tuvo relativamente bajo efecto sobre la absorción total de N comparado con la variación de la absorción de N nativo entre los diferentes sitios

La aplicación de 30 kg incrementó el rendimiento de granos en cinco sitios y sólo en un sitio incrementó la concentración de N de los granos; la adición de 60 kg aumentó el rendimiento y/o la concentración de N en seis sitios. En cuatro de estos seis sitios, algún tratamiento brindó granos con exceso de N, resultando de calidad no aceptable para el malteado; ellos fueron experimentados en el año 1999, con lluvias inferiores a las normales.

No existió efecto del momento de aplicación de urea sobre el rendimiento y la concentración de N de los granos. De modo que la postergación de la aplicación en dosis total hasta el macollaje temprano no afectaría la productividad del cultivo. La dosis fraccionada afectó los dos parámetros estudiados en forma similar a la dosis de 60 kg N ha<sup>-1</sup>. Por último, el ICN no fue significativamente afectado por la dosis ni por el momento de aplicación de N utilizados en esta experiencia.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado merced a los fondos otorgados por: ANPCyT (PICT 97, 08-00063), CONICET (PIP 0280/98) y UNS (24/A103).

## BIBLIOGRAFÍA

Aguinaga, AA. 2004. Análisis de las relaciones entre proteínas de reserva, calidad maltera y ambiente de cultivo en cebada cervecera. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur [Bahía Blanca, Argentina]. Biblioteca Departamento de Agronomía, 149 pp.

Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.

Bremner, JM. 1996. Nitrogen-Total. Methods of Soil Analysis. Pp. 1085-1123 In: Sparks DL (ed.). Chemical Methods. Part 3. *Am. Soc. Agron. Inc.*, Madison, Wisconsin, USA.

Echagüe, M; MR Landriscini; S Venanzi & MA Lazzari. 2001. Fertilización nitrogenada en cebada cervecera. *INPOFOS. Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 10:5-8.

Fathi, G; AD McDonald & RCM Lance. 1997. Responsiveness of barley cultivars to nitrogen fertiliser. *Aust. J. Experim. Agric.* 37:199-211.

Gallagher, EJ; A Doyle & D Dilworth. 1987. Effect of management practices on aspects of cereal yield and quality. *Aspects App. Biol.* 15:151-170.

Glending, MJ; PR Poulton; DS Powlson & DS Jenkinson. 1997. Fate of <sup>15</sup>N-labelled fertilizer applied to spring barley grown on soils of contrasting nutrient status. *Plant and Soil* 195: 83-98.

Gee, GW & JW Bauder. 1986. Particle-size analysis. Pp. 383-411 In: Klute A (ed.). Methods of Soil Analysis. Physical and Mineralogical Methods. Part 1. 2nd. Ed. Am. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

IAEA. 2001. Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition. Manual. TCS 14. Vienna, Austria. 247pp.

Landriscini, MR; LG Suárez; A Lazzari & A Rausch. 2004. Respuesta de la cebada cervecera a la aplicación de N. *INPOFOS. Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 22:15-18.

Lazzari, A; MR Landriscini; M Cantamutto; AM Migliarina; R Rosell *et al.*, 2001. Absorción de nitrógeno por cebada cervecera en dos suelos del sur bonaerense, Argentina. *Ciencia del Suelo* 19:101-108.

McTaggart, IP & KA Smith. 1995. The effect of rate, form and timing of fertilizer N on nitrogen uptake and grain N content in spring malting barley. *J. Agric. Sci.* 125:341-353.

Mulvaney, RL. 1996. Nitrogen Inorganic Forms. Pp. 1123-1184 In: Sparks D L (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. *Am. Soc. Agron. Inc.*, Madison, Wisconsin, USA.

Papakosta, DK & AA Gagianas. 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agron. J.* 83:864-870.

Rausch, A; A Lazzari & MR Landriscini. 2003. Cebada cervecera. Disponibilidad de nitrógeno y rendimiento del cultivo de buena calidad maltera. *Fertilizar* 32:13-17.

Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. 2<sup>nd</sup> Ed. Agricultural Handbook N°436. USDA. NRCS, Washington DC. 869pp.

Walkley, A & IA Black. 1934. An examination of the Degtareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.

Zadoks, JC; TT Chang & CF Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.