



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

### ECONOMÍA DEL NITRÓGENO SEGÚN ÉPOCA DE APLICACIÓN EN CEBADA CERVECERA (VARIEDAD QUILMES PALOMAR)

ANALÍA RAUSCH<sup>1\*</sup>; MARÍA ROSA LANDRISCINI<sup>2</sup> & MARÍA DE LAS MERCEDES RON<sup>3</sup>

<sup>1</sup>AER INTA Ceres, <sup>2</sup>CONICET, <sup>3</sup>Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur

\* rausch.analia@inta.gob.ar

**Palabras clave:** eficiencia agronómica, recuperación del fertilizante, proteína.

#### Resumen

El rendimiento y la calidad del grano de cebada cervecera depende de las economías del nitrógeno (N) y del carbono. Los objetivos del trabajo incluyeron estimar las eficiencias agronómicas, de recuperación y fisiológicas del N, según época de aplicación. Se utilizaron datos de 25 ensayos realizados entre 1999 y 2002. Los tratamientos fueron 0, 30 y 60 kg N ha<sup>-1</sup> aplicados en emergencia (Ne) o en macollaje (Nm) y 60 kg N ha<sup>-1</sup> fraccionados. En presiembra se midieron materia orgánica del suelo (MO) y N de nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Se determinaron proteína (PROT), rendimiento (REND) y se calculó el rendimiento de N (RN). Para cada ensayo y variable, se ajustó una ecuación con términos lineales y cuadráticos para Ne y Nm y de interacción para la aplicación dividida. De sus coeficientes se derivaron  $\bar{Y}$  (promedio del ensayo),  $A_{Ne}$  y  $A_{Nm}$  (pendientes de una recta entre la variable y la dosis de N). La media de  $A_{Nm}$  fue significativamente superior a la de  $A_{Ne}$  para PROT.  $A_{Ne}$  y  $A_{Nm}$  (REND) estimaron la eficiencia agronómica (EAGR<sub>e</sub> y EAGR<sub>m</sub>).  $A_{Ne}$  y  $A_{Nm}$  para RN aproximaron la eficiencia de recuperación (EREC). En los ensayos con EAGR<sub>e</sub> y/o EAGR<sub>m</sub> positivas, las medias fueron de 8,7 y 6,6 kg grano kg<sup>-1</sup> N aplicado, respectivamente. La EREC media para ambas épocas fue del 28%, valor bajo para cereales. La eficiencia fisiológica fue 32,5 y 26,3 kg de grano kg<sup>-1</sup> N absorbido, para emergencia y macollaje, respectivamente. La tendencia a mayor eficiencia fisiológica con aplicación en emergencia es atribuible al efecto del fertilizante sobre subcomponentes del REND, definidos tempranamente. Se registró una correlación significativa entre  $\bar{Y}$  (REND) y MO. En suelos arenosos  $\bar{Y}$  para PROT fue significativamente menor. EAGR<sub>e</sub> y EAGR<sub>m</sub> fueron significativamente inferiores cuando N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> superó 122 kg ha<sup>-1</sup>. La oferta de N inicial se relacionó estrechamente con RN.

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

### Introducción

El nitrógeno (N) es el principal nutriente que limita el rendimiento de cebada cervecera (*Hordeum vulgare L.*). Las deficiencias de N producen sobre el cultivo un menor número de macollos, hojas más pequeñas y así una menor área foliar, en consecuencia con la fertilización nitrogenada la cantidad de radiación solar que captan los cultivos se ve incrementada (Arisnabarreta & Miralles, 2006).

La absorción de N por el cultivo está regulada por su disponibilidad en el suelo y por la propia demanda del cultivo. En el caso de la cebada, la absorción de N es lenta durante las primeras etapas de desarrollo, reflejando la relativamente baja velocidad de crecimiento. Hacia fines del macollaje y durante encañazón la absorción se acelera y llega a sus valores máximos en antesis (Delogu *et al.*, 1998). Después de antesis los compuestos nitrogenados para el crecimiento del grano están suministrados principalmente por la biomasa aérea (62-80%), el resto de la absorción y removilización se origina de las raíces (Dordas, 2011).

El rendimiento (REND) y la calidad del grano es el resultado de la interrelación entre las economías del N y del carbono (Abeledo *et al.*, 2008). Este balance es afectado por los factores ambientales en interacción con el material genético utilizado. Cuando se analiza la oferta de N para el cultivo es procedente incluir variables edáficas y aspectos de la tecnología de la fertilización, más allá de la dosis de nutriente aplicada.

En cuanto a la calidad del grano, la proteína (PROT) se presenta como la variable más adecuada en un análisis minucioso. A su vez, el rendimiento de N (RN) es muy útil debido a que expresa el balance entre REND y PROT, representa la remoción del N y permite aproximar la eficiencia de recuperación del fertilizante (Loewy & Ron, 2008).

Para una red de ensayos de fertilización nitrogenada, realizada con la variedad Quilmes Palomar, se plantearon los siguientes objetivos:

- a) Caracterizar la oferta de nitrógeno mediante variables edáficas y establecer relaciones entre las mismas.
- b) Estimar la eficiencia agronómica, de recuperación y fisiológica del N del cultivo según época de aplicación.
- c) Relacionar las eficiencias agronómica y de recuperación con variables de sitio.

### Materiales y Métodos

#### Ensayos y sitios

Se utilizaron datos provenientes de 25 ensayos de fertilización en cebada cervecera llevados a cabo entre 1999 y 2002. Se utilizó un diseño de cuatro bloques completos al azar. En unos pocos ensayos solo se cosecharon tres repeticiones. Los tratamientos seleccionados fueron 0, 30 y 60 kg N ha<sup>-1</sup> aplicados como dosis única en emergencia o en macollaje y un tratamiento de 60 kg N ha<sup>-1</sup> dividido en dos fracciones iguales

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

aplicadas en cada época. Mayor información sobre los ensayos se encuentra en Lazzari *et al.* (2007).

Las variables edáficas se determinaron sobre muestras de suelo extraídas en presiembra en todos los sitios de ensayo. La profundidad de muestreo fue de 0-20 cm para los parámetros que no varían notablemente en el corto plazo. Se determinaron: pH, método potenciométrico, en suspensión suelo-agua relación 1:2,5 y se estimó la materia orgánica mediante el método de Walkley & Black, que analiza el carbono orgánico fácilmente oxidable por combustión húmeda (Carreira, 2005). Se asumió suficiencia de fósforo en los ensayos en virtud de la fertilización de base de 20 kg P ha<sup>-1</sup> con la semilla como superfosfato triple, que recibieron todos los tratamientos.

Para las determinaciones de formas de N inorgánico (Ni) se muestreó el suelo en tres profundidades: 0-20, 20-40 y 40-60 cm. La concentración de N de amonio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y N de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) se determinaron mediante extracción con KCl 2 M y destilación de arrastre de vapor (Mulvaney, 1996). El Ni disponible inicial (Nii) se estimó mediante la suma de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Los resultados de todas las formas de Ni se expresaron en kg ha<sup>-1</sup>. Las características de las variables se muestran en la Tabla 1.

**Tabla1. Características de las variables edáficas**

Variable	Prof. cm	Abrev.	Unidades	Media	D.E.	Mín.	Máx.
Materia orgánica	0-20	MO	g kg <sup>-1</sup>	32,0	10,7	13,6	54,6
pH	0-20	pH		6,2	0,8	5,0	8,0
N de nitratos	0-20	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0-20)	kg ha <sup>-1</sup>	45	44	3	209
N de nitratos	0-60	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0-60)	kg ha <sup>-1</sup>	95	78	4	362
N de amonio	0-20	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (0-20)	kg ha <sup>-1</sup>	15	14	0	51
N de amonio perfil	0-60	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (0-60)	kg ha <sup>-1</sup>	48	38	0	140
N inorgánico	0-20	Nii (0-20)	kg ha <sup>-1</sup>	60	50	4	237
N inorgánico perfil	0-60	Nii (0-60)	kg ha <sup>-1</sup>	143	98	4	407

MO Walkley y Black (1934) citado por Carreira (2005), pH potenciométrico en agua 1:2,5

Variables del cultivo, regresiones y variables dependientes

Las variables del cultivo analizadas fueron PROT, REND y RN. Se eligió una ecuación cuadrática para describir la relación entre las variables del cultivo y la dosis de N. Para cada ensayo se estimó una función cuadrática rendimiento-fertilizante, del tipo:

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

$$y = b_0 + b_1 N_e + b_2 N_e^2 + b_3 N_m + b_4 N_m^2 + b_5 N_e N_m + b_6 L_b + b_7 Q_b + b_8 C_b \quad (\text{Ec. 1})$$

donde **y**: REND, PROT o RN;  $N_e$  y  $N_m$ : la dosis de fertilizante en  $\text{kg N ha}^{-1}$  aplicados en emergencia o macollaje, en ese orden;  $L_b$ : variable de clase para el efecto lineal entre bloques con valores de -3, -1, +1 y +3 para los bloques 1, 2, 3 y 4, en ese orden;  $Q_b$ : ídem para efecto cuadrático +1, -1, -1, +1 y  $C_b$ : ídem para efecto cúbico -1 + 3 - 3 - 1;  $b_0$  a  $b_8$ : coeficientes. En los ensayos con solo tres bloques se emplearon dos variables  $L_b$  y  $Q_b$ , con valores -1, 0, 1 y +1, -2, +1 para los bloques, 1 2 y 3, respectivamente. A partir de los coeficientes  $b_0$  a  $b_5$ , se derivaron tres variables dependientes para cada ensayo y variable del cultivo:  $\bar{Y}$ ,  $A_{N_e}$  y  $A_{N_m}$ , siguiendo el procedimiento detallado por Colwell (1994).  $\bar{Y}$  es el promedio del ensayo.  $A_{N_e}$  y  $A_{N_m}$  representan la respuesta a la fertilización (Tabla 2). Estas variables son equivalentes a la pendiente de una regresión lineal entre una variable del cultivo y la dosis de N aplicada en una de las dos épocas de fertilización, con un ajuste para la aplicación fraccionada.

**Tabla 2. Descripción y cálculo de las variables dependientes**

Variable	Efecto	Cálculo
$\bar{Y}$	Efecto cero	Promedio tratamientos seleccionados
$A_{N_e}$	: Efecto lineal de $N_e$	$A_{N_e} = b_1 + b_2 \cdot 54 + b_5 \cdot 20$
$A_{N_m}$	: Efecto lineal de $N_m$	$A_{N_m} = b_3 + b_4 \cdot 54 + b_5 \cdot 20$

54: constante para efecto lineal; 20: promedio de dosis aplicadas en emergencia o macollaje

Para conocer el efecto de la época de fertilización sobre la respuesta del cultivo se graficaron comparativamente las variables  $A_{N_e}$  con  $A_{N_m}$  para REND, PROT y RN y se contrastaron sus medias utilizando una prueba t de medias apareadas. Del mismo modo que para las variables de sitio se correlacionaron las variables dependientes para REND, PROT y RN entre sí.

Se calcularon las eficiencias agronómicas, de recuperación y fisiológica definidas como en Barbieri *et al.* (2001). Las variables dependientes  $A_{N_e}$  y  $A_{N_m}$  (REND) se utilizaron como estimación de la eficiencia agronómica ( $EAGR_e$  y  $EAGR_m$ ) de una dosis de  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  porque resume el efecto lineal de la fertilización sobre el rendimiento. A su vez las pendientes de la regresión lineal entre RN y las dosis de N ( $A_{N_e}$  y  $A_{N_m}$  para RN) aproximaron la eficiencia de recuperación del N del fertilizante ( $EREC_e$  y  $EREC_m$ ). Para la comparación de estas eficiencias según la época de aplicación se utilizó un test t de medias apareadas.

Se estimó la eficiencia fisiológica para la aplicación en emergencia (EFIS<sub>e</sub>) como la pendiente de la regresión de  $EAGR_e$  en función de  $EREC_e$  (Delogu *et al.*, 1998). Se

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

repitió el procedimiento para la eficiencia fisiológica para la aplicación en macollaje (EFIS<sub>m</sub>). Se evaluaron las regresiones en conjunto y se compararon las pendientes.

Se relacionaron las variables dependientes con las de sitio (Tablas 1 y 2). Se utilizaron, además, variables categóricas para textura del suelo (arenosos vs. no arenosos), región de ensayo (sur, centro sur o norte) y año de ensayo (1999, 2000, 2001 y 2002). Se compararon los grupos mediante una prueba t. Cuando había más de dos grupos (como en región o año) se comparó la media de cada uno de los grupos con respecto a la media de todos los grupos restantes (Balzarini *et al.*, 2008).

Para la calibración de los análisis de Ni se utilizaron como variables dependientes a EAGR<sub>e</sub> y EAGR<sub>m</sub>. Como variable predictiva de la respuesta se utilizó la forma de Ni que mejor correlacionó con las variables dependientes. Se usaron modelos discontinuos para hallar valores que separan clases con distinta probabilidad de respuesta, aplicando los métodos gráficos y de análisis de varianza de Cate & Nelson (1965, 1971) y la prueba t propuesta por Nelson & Anderson (1977).

Se utilizó el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2013).

### Resultados y Discusión

#### Variables de sitio

La correlación entre las variables edáficas de Tabla 1 se muestra en la Tabla 3.

La MO y el pH correlacionaron significativamente entre sí y con las formas de Ni a excepción del N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. La relación negativa entre MO y pH se debió al espectro edafoclimático abarcado por los ensayos. En zonas más húmedas es mayor el contenido de MO (Álvarez & Lavado, 1998) y se incrementa el lavado de bases con la consiguiente disminución del pH. Por otra parte, los suelos con menor pH usualmente tienen un mayor contenido de MO porque los microorganismos son menos activos en suelos ácidos (Gregorich & Janzen, 1998). La asociación negativa entre el pH y el N<sub>ii</sub> de la Tabla 3 podría ser indirecta, en coincidencia con lo reportado por Curtin *et al.* (1998), porque los suelos con menor pH fueron los de más alto contenido de N orgánico (sustrato mineralizable). Se registró una correlación similar entre pH y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, dada la asociación altamente significativa del N<sub>ii</sub> con N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Las formas de Ni determinadas a la profundidad de 0-20 cm tuvieron una correlación altamente significativa con las analizadas en 0-60 cm. Esto permitiría estimar las cantidades en el perfil del suelo mediante el análisis de la muestra más superficial (Fig. 1). La relación más estrecha entre las formas de Ni en superficie y en profundidad correspondió al N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Fig. 1a). La mayor pendiente para el N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> puede atribuirse a la humedad creciente en profundidad, que limita la actividad de las bacterias nitrificadoras (Stark & Firestone, 1995), con la resultante de una menor relación N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Fig. 1 b). La pendiente para la relación N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0-60)/N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0-20) es coherente con la observación de Álvarez & Steinbach (2012) de una reducción aproximada de 50% cada 20 cm en los primeros 60 cm de profundidad del suelo.

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

**Tabla 3. Correlación entre variables edáficas**

	MO	pH	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0-20)	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0-60)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (0-20)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> *(0-60)	N <sub>ii</sub> (0-20)
<b>MO</b>	1						
<b>pH</b>	-0,46	1					
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0-20)</b>	0,47	-0,41	1				
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0-60)</b>	0,52	-0,47	0,94	1			
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (0-20)</b>	0,06	-0,07	0,33	0,39	1		
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (0-60)</b>	0,05	-0,23	0,22	0,33	0,83	1	
<b>N<sub>ii</sub> (0-20)</b>	0,42	-0,38	0,96	0,93	0,57	0,42	1
<b>N<sub>ii</sub> (0-60)</b>	0,43	-0,46	0,84	0,93	0,64	0,66	0,91

Variables ver Tabla 1. Valores críticos de r para 24 gl. 0,39 y 0,50 para p 0,05 y 0,01, respectivamente.

Variables del cultivo

Las regresiones ajustadas con la ecuación (1) fueron significativas o altamente significativas en aproximadamente un 50% para REND, con coeficientes de determinación entre 0,21 y 0,87. Los bloques aportaron significativamente a la explicación de la variabilidad en 14 ensayos, mientras que los coeficientes para la respuesta a N<sub>e</sub> (b<sub>1</sub> y b<sub>2</sub>), N<sub>m</sub> (b<sub>3</sub> y b<sub>4</sub>) y a la interacción N<sub>e</sub> N<sub>m</sub> (b<sub>5</sub>) fueron significativos en cuatro, siete y dos experimentos, respectivamente.

Para PROT, 16 de 25 regresiones fueron significativas o altamente significativas, con R<sup>2</sup> en el rango de 0,25 a 0,96. Los coeficientes para los bloques fueron significativos en un 50% de los ensayos, mientras que aquellos para la respuesta a N<sub>e</sub> (b<sub>1</sub> y b<sub>2</sub>) y N<sub>m</sub> (b<sub>3</sub> y b<sub>4</sub>) fueron significativos en cuatro experimentos. El coeficiente para la interacción N<sub>e</sub> N<sub>m</sub> (b<sub>5</sub>) sólo fue significativo en una ecuación.

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

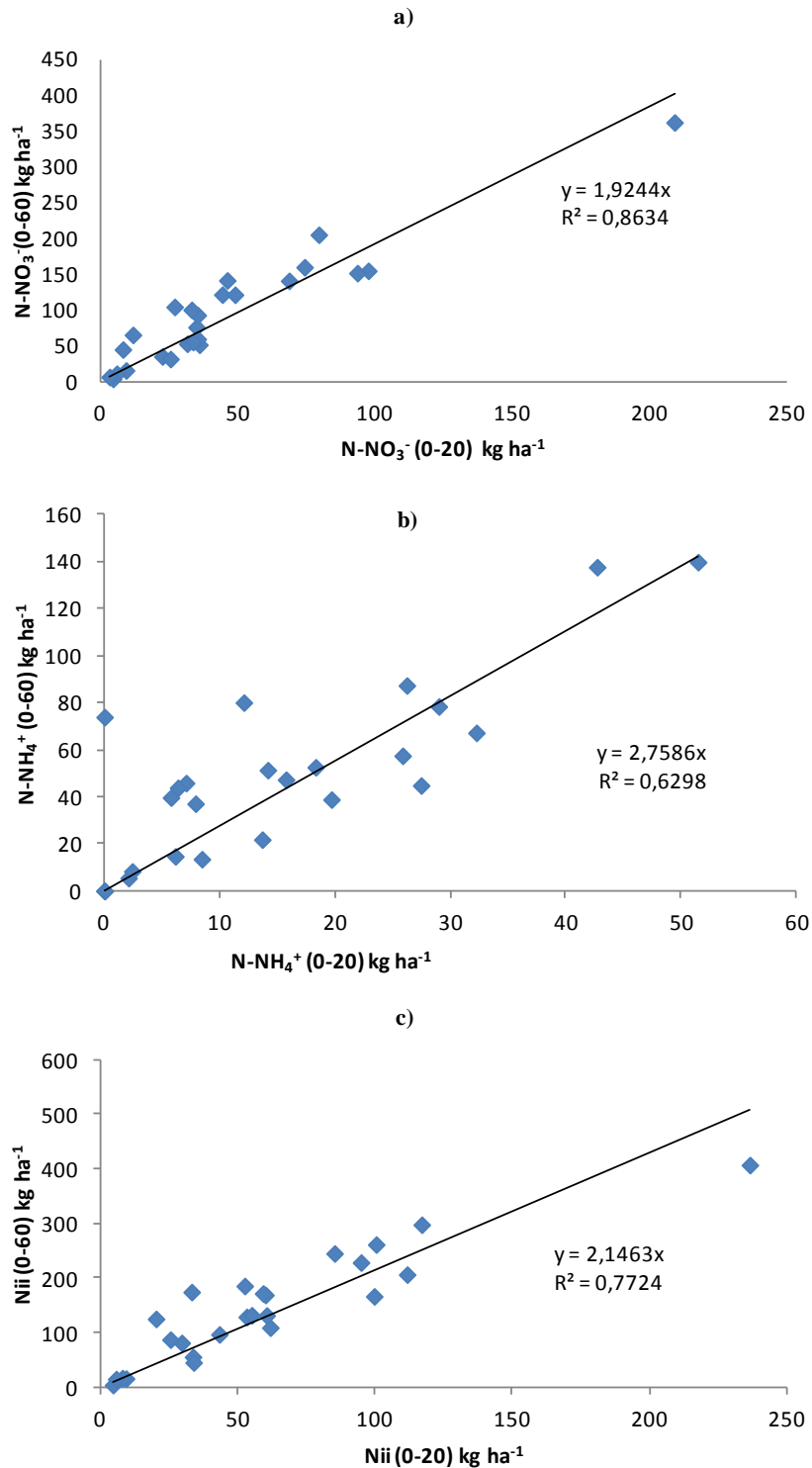


Fig. 1. Predicción de formas de N inorgánico en la profundidad de 0-60 cm a partir del análisis de una muestra más superficial (0-20 cm): a)  $\text{N-NO}_3^-$  b)  $\text{N-NH}_4^+$  y c) Nii

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Los coeficientes de determinación de las regresiones de RN oscilaron de 0,33 a 0,86 y aproximadamente un tercio de las mismas fueron significativas o altamente significativas. Los coeficientes de los bloques fueron significativos en 10 ensayos, mientras que los coeficientes para la respuesta a  $N_e$  ( $b_1$  y  $b_2$ ),  $N_m$  ( $b_3$  y  $b_4$ ) y a la interacción  $N_e N_m$  ( $b_5$ ) fueron significativos en 9, 13 y 2 experimentos, respectivamente.

En la Tabla 4 se muestran las características de las variables dependientes del cultivo. Estas cumplen con la propiedad estadística de ortogonalidad, necesaria para que las estimaciones de una regresión puedan combinarse y evaluar los resultados de ensayos de fertilización. El año 1999, señalado por Echagüe *et al.* (2001) como de condiciones hídricas desfavorables, especialmente durante la etapa de llenado de granos, presentó en su conjunto los valores menores de  $\bar{Y}$  para REND y RN mayores para PROT. Lo opuesto ocurrió en el año 2000 con condiciones mucho más favorables (Lázzari *et al.*, 2007).

**Tabla 4. Características de las variables dependientes del cultivo.**

Variables	Unidades	MEDIA	MIN	MAX
<b>Rendimiento</b>				
$\bar{Y}$	kg grano ha <sup>-1</sup>	3368	1138	4855
$A_{N_e}$ (EAGR <sub>e</sub> )	kg grano kg <sup>-1</sup> N aplicado	3,07	-30,32	23,58
$A_{N_m}$ (EAGR <sub>m</sub> )	kg grano kg <sup>-1</sup> N aplicado	1,94	-34,20	14,01
<b>Proteína</b>				
$\bar{Y}$	% PROT en grano	12,27	9,37	14,98
$A_{N_e}$	% PROT kg <sup>-1</sup> N aplicado	0,018	-0,019	0,059
$A_{N_m}$	% PROT kg <sup>-1</sup> N aplicado	0,022	-0,025	0,062
<b>Rendimiento de N</b>				
$\bar{Y}$	kg N en grano ha <sup>-1</sup>	63,8	27,6	102,3
$A_{N_e}$ (EREC <sub>e</sub> )	kg N en grano kg <sup>-1</sup> N aplicado	0,17	-0,47	0,52
$A_{N_m}$ (EREC <sub>m</sub> )	kg N en grano kg <sup>-1</sup> N aplicado	0,18	-0,61	0,79

### Variables ver Tabla 2

De los 25 ensayos  $A_{N_e}$  y/o  $A_{N_m}$  fueron negativas en 11, cuatro y nueve, para REND, PROT y RN, respectivamente, indicando un efecto desfavorable de la fertilización en distintos sitios. En los 15 ensayos con respuesta positiva de REND a la aplicación en



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

emergencia,  $A_{Ne}$  fue en promedio de  $8,7 \text{ kg grano kg}^{-1} \text{ N aplicado}$ . Para los 16 casos de aplicaciones en macollaje con efecto positivo sobre REND, la media de  $A_{Nm}$  fue de  $6,6 \text{ kg grano kg}^{-1} \text{ N aplicado}$ . Estos son valores bajos en comparación con los obtenidos con nuevas variedades de cebada que presentan una mayor respuesta a N debido a la mejora en el número de granos por unidad de superficie (Prystupa, 2005). Un análisis análogo para  $EREC_e$  y  $EREC_m$  dio un promedio similar en ambas épocas de alrededor  $0,28 \text{ kg N acumulado en grano por kg}^{-1} \text{ N aplicado}$ . Estos valores son bajos pero están dentro del rango considerado como típico para cereales (Dobermann, 2007).

En la Fig. 2 se contrasta el efecto lineal de la respuesta a la fertilización para dos épocas de aplicación. Aunque  $A_{Nm}$  tendió a ser ligeramente superior a  $A_{Ne}$  en 12, 16 y 13 ensayos para REND (Fig. 2a), PROT (Fig. 2b) y RN (Fig. 2c), en ese orden, la media de  $A_{Nm}$  sólo fue significativamente superior a la de  $A_{Ne}$  para PROT.

En la discriminación entre años se evidenció mayor respuesta a la aplicación en macollaje en el año 1999, con menores rendimientos en varios sitios debido a condiciones hídricas desfavorables, especialmente durante la etapa de llenado de granos. Generalmente, las aplicaciones que aumentan la disponibilidad temprana de N permiten obtener respuestas en el rendimiento de los cereales, ya que se incrementa la producción de macollos y el número de espigas (Dreccer *et al.*, 2003). Cuando se registran insuficientes precipitaciones en etapas avanzadas del cultivo, un exceso de crecimiento vegetativo previo aumenta las pérdidas por evapotranspiración y consumo. En esas condiciones los ajustes morfológicos para reducir la transpiración (Farooq *et al.*, 2011) serían menos efectivos en parcelas con mayor biomasa.

Las asociaciones de la Fig. 2 fueron todas significativas, como lo muestra la Tabla 5, con la correlación entre las variables dependientes que resumen el promedio y los efectos lineales de la aplicación de N en emergencia y macollaje. Además de las relaciones graficadas, se encontraron relaciones negativas de PROT con las medias de REND que confirman - para este grupo de ensayos - que el contenido de proteína en grano, y su respuesta a la fertilización nitrogenada en emergencia, fueron menores en los ensayos con mayores promedios de REND. A su vez, las variables dependientes para REND y RN mostraron una estrecha correlación positiva en un buen porcentaje de los casos.

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

**. Tabla 5 Correlación entre variables dependientes**

		REND			PROT			RN	
		$\bar{Y}$	$A_{Ne}$	$A_{Nm}$	$\bar{Y}$	$A_{Ne}$	$A_{Nm}$	$\bar{Y}$	$A_{Ne}$
REND	$\bar{Y}$	1							
	$A_{Ne}$	-0,33	1						
	$A_{Nm}$	-0,30	0,84	1					
PROT	$\bar{Y}$	-0,38	0,04	-0,08	1				
	$A_{Ne}$	-0,46	-0,27	-0,14	0,18	1			
	$A_{Nm}$	-0,18	-0,05	0,04	0,24	0,30	1		
RN	$\bar{Y}$	0,92	-0,53	-0,47	-0,08	0,05	-0,07	1	
	$A_{Ne}$	-0,03	0,71	0,64	-0,31	-0,01	0,05	-0,22	1
	$A_{Nm}$	-0,11	0,55	0,70	-0,12	0,29	0,33	-0,30	0,75

**Variables ver Tablas 1 y 4. Valores críticos de r para 24 gl. : 0,39 y 0,50 para p 0,05 y 0,01, respectivamente**

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

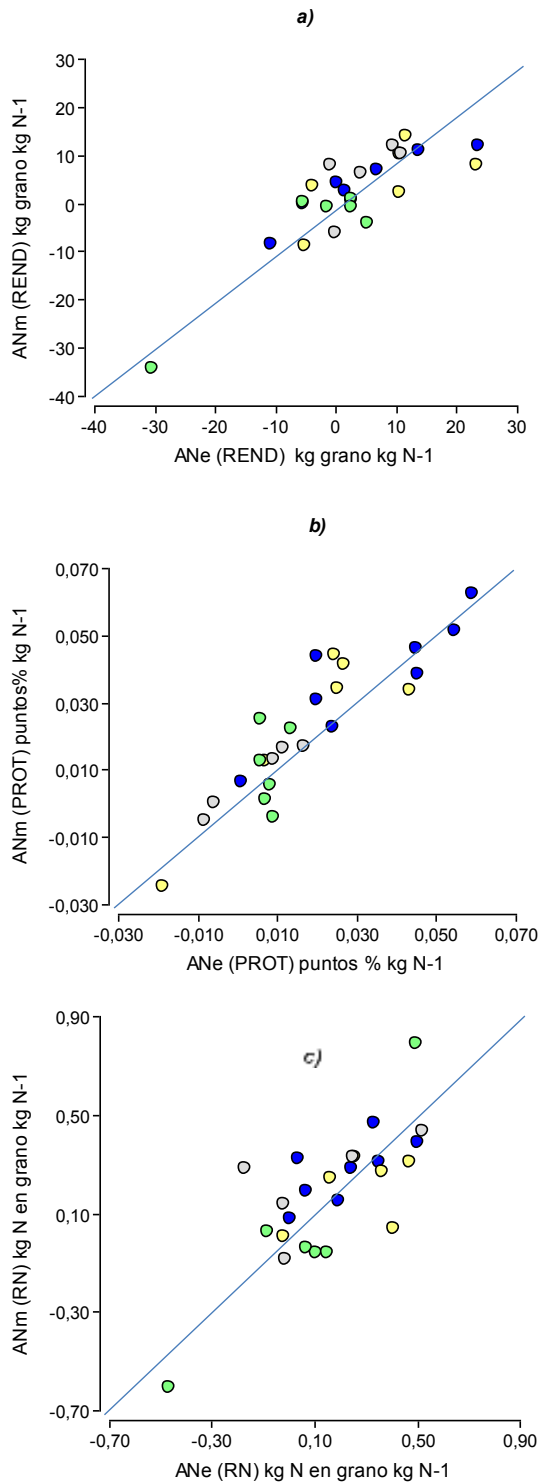


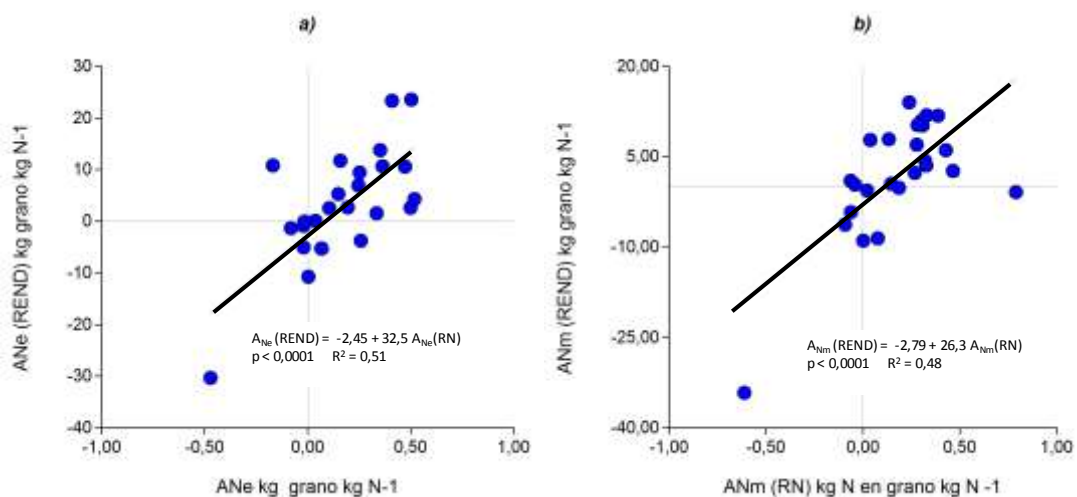
Fig. 2 Comparación del efecto lineal de la respuesta a N en dos épocas de aplicación para a) REND, b) PROT y c) RN. Círculos azules, amarillos, verdes y grises corresponden a años 1999, 2000, 2001 y 2002, respectivamente. La diagonal corresponde a la línea 1:1 de predicciones perfectas

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Se aproximaron valores de 32,5 y 26,3 kg de grano por kg<sup>-1</sup> N absorbido, para EFIS<sub>e</sub> y EFIS<sub>m</sub>, en ese orden (Fig. 3). La estimación coincide con los valores inferiores medidos por Abeledo *et al.* (2008) para viejos cultivares, notablemente inferiores a las eficiencias de variedades actuales. Las pendientes de Fig. 3 no variaron sensiblemente cuando se eliminaron los dos casos con mayores residuales. Cuando se analizaron los datos para las dos épocas en conjunto, EFIS<sub>e</sub> y EFIS<sub>m</sub> no difirieron significativamente por momento de aplicación. Sin embargo, la tendencia a mayor eficiencia fisiológica en emergencia es atribuible a la mayor disponibilidad inicial de N ya que la fertilización afecta subcomponentes del REND definidos tempranamente (macollos por planta, espigas por m<sup>2</sup>). Resultados similares fueron reportados en investigaciones sobre maíz y trigo para fuentes de N de disponibilidad inmediata en comparación con urea (Ron & Loewy, 2007; Copperi *et al.*, 2013).



**Fig. 3** Relación entre variables dependientes para la estimación de eficiencias fisiológicas en a) emergencia (EFIS<sub>e</sub>) y b) macollaje (EFIS<sub>m</sub>).

### Relación entre variables dependientes y variables de sitio

En la Tabla 6 se muestra la correlación entre variables dependientes y edáficas. De las variables de Ni (Tabla 3) se reporta N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(0-60), que es la que presentó los coeficientes más altos. Los  $\bar{Y}$  para REND y RN se asociaron con la MO del suelo, respondiendo a los potenciales productivos de cada sitio o zona. Además se vincularon con N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(0-60). Los coeficientes fueron estadísticamente más significativos para  $\bar{Y}$  de RN. Esta última condición jerarquiza a RN sobre REND y PROT, que dependen más de la economía relativa del N con respecto al carbono, de los estadios del cultivo y factores climáticos. El RN tiene la virtud de sintetizar estos factores, acumulando los efectos a lo largo del ciclo vegetativo y reproductivo.

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

La falta de correlación significativa de  $EAGR_e$ ,  $EAGR_m$ ,  $EREC_e$  y  $EREC_m$  con variables de  $N_i$  es atribuible a la existencia de una relación no lineal y/o a datos que pueden ser influyentes. Para  $EAGR_e$  y  $EAGR_m$  el método gráfico y de análisis de varianza de Cate & Nelson (1965, 1971) coincidieron en un nivel crítico cercano a  $122 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ , que separaba dos clases de fertilidad con distinta probabilidad de respuesta. El método de Nelson & Anderson (1977) confirmó esta separación y para  $EAGR_e$  discriminó una clase adicional de muy baja fertilidad para valores de  $\text{N-NO}_3^-$  inferiores a  $24 \text{ kg ha}^{-1}$ . Los niveles encontrados se informan en la Tabla 7

**Tabla 6 Correlación entre variables dependientes y edáficas**

	REND			PROT			RN		
	$\bar{Y}$	$A_{Ne}$	$A_{Nm}$	$\bar{Y}$	$A_{Ne}$	$A_{Nm}$	$\bar{Y}$	$A_{Ne}$	$A_{Nm}$
<b>MO</b>	0,43	-0,35	-0,20	0,27	0,22	0,28	0,50	0,00	0,10
<b>pH</b>	-0,22	0,23	0,10	-0,19	-0,21	-0,17	-0,34	0,07	0,14
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(0-60)</b>	0,39	-0,28	-0,15	0,23	-0,04	-0,09	0,41	0,03	-0,03

**Variables ver Tablas 1 y 4. Valores críticos de r para 24 gl.: 0,39 y 0,50 para p 0,05 y 0,01, respectivamente**

Las categorías de disponibilidad de N encontradas son coherentes con la calibración realizada por Landriscini *et al.* (2004) basada en 13 de los 25 ensayos utilizados en este trabajo (Tabla 7). No se reiteró, en el presente análisis, el uso del rendimiento relativo como variable de la respuesta por la aplicación práctica más directa de  $A_{Ne}$  y  $A_{Nm}$  (REND), entre otras consideraciones (Ron & Loewy, 1990; Alvarez, 2008).

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

**Tabla 7 Promedio de eficiencias agronómicas para la aplicación en emergencia y macollaje ( $EAGR_e$  y  $EAGR_m$ ) en cebada cervecera, según clases de fertilidad de suelos basadas en la calibración de  $N-NO_3^-$  (0-60) expresado en  $kg\ ha^{-1}$**

Clase de fertilidad (Nº casos)	$N-NO_3^-$ (0-60)	$EAGR_e$	Clase de fertilidad (Nº casos)	$N-NO_3^-$ (0-60)	$EAGR_m$
MUY BAJA (4)	<24	17,9	MUY BAJA	<121,9	8,9
BAJA a MEDIA (13)	24 – 121,9	10,7	a MEDIA (17)		
ALTA (8)	>121,9	-5.4	ALTA (8)	>121,9	-4,8
	$R^2$ modelo	0,35		$R^2$ modelo	0,18
	prob	0,01		prob	0,03

Las variables dependientes para PROT no se asociaron significativamente a ninguna de las variables edáficas de la Tabla 1 y fueron las únicas que detectaron diferencias por textura del suelo o año de ensayo. Los resultados más destacados se muestran en la Tabla 8. Además,  $\bar{Y}$  (PROT) fue menor en el año 2000 y  $A_{Ne}$  (PROT) fue inferior en el 2001. Esto se debe a la sensibilidad de la PROT a la economía del carbono, hecho implícito en el modelo de Prystupa *et al.* (2008). Este trabajo aplica una función predictiva, de la proteína, utilizando como variable el cociente entre la oferta de N y el rendimiento obtenido.

### Conclusiones

Los sitios de ensayo cubrieron una amplia gama de suelos en cuanto a sus características inherentes y la disponibilidad de nitrógeno en presiembra. Las determinaciones en el espesor más superficial del suelo se relacionaron con las de 0-60 cm. El N disponible se asoció muy estrechamente con el N de nitratos.

**Tabla 8. Resultados de la prueba t bilateral para comparación de grupos de variables dependientes para PROT.**

PROT	$\bar{Y}$	$A_{Ne}$	$A_{Nm}$
Media Suelos arenosos (n=3)	10,6	0,00	0,00
Media Suelos no arenosos (n=22)	12,8	0,02	0,00
p valor prueba t bilateral	0,002	0,102	0,016
Media año 1999 (n=8)	13,1	0,03	0,04

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

---

Media años 2000,2001 y 2002 (n=17)	11,9	0,01	0,01
p valor prueba t bilateral	0,033	0,003	0,005

Variables y Unidades ver Tabla 4.

Los años de ensayo abarcaron distintas condiciones climáticas, ratificándose la influencia de condiciones ambientales (años y sitios) y de gestión (fertilización nitrogenada) sobre el rendimiento y la calidad industrial del grano. En años climáticamente favorables se obtuvieron mayores respuestas en rendimiento con una menor influencia sobre la proteína. La aplicación de macollaje tendió a expresar el efecto inverso.

No se encontraron diferencias significativas entre las eficiencias agronómicas, de recuperación o fisiológicas, estimadas para dos épocas diferentes de fertilización. Sin embargo se evidenció una tendencia a mayor eficiencia fisiológica para las aplicaciones en emergencia. El análisis de N de nitratos en presiembra fue mejor estimador de la eficiencia agronómica para aplicaciones en emergencia que en macollaje. Esta variable, sin embargo, tuvo escaso valor predictivo y sólo se discriminaron categorías para disponibilidades muy bajas o muy altas.

La oferta de N en presiembra se relacionó con el rendimiento de N, comprobándose la utilidad de esta última variable. Se evidenció que la concentración de proteína en el grano es particularmente sensible a la economía del carbono en su interrelación con la del nitrógeno.

### **Agradecimientos**

El presente trabajo fue parcialmente financiado por la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. Los autores agradecen a la directora del proyecto “Fertilización nitrogenada en cebada cervecera” (1999-2008, PGI N° 24/A068, 24/A103, 24/A137) Lic. (Mag.) María Aurora Lázzari y a los agentes de UNS, Malterías Quilmes y Pampa; INTA Bordenave y CHEI Barrow que participaron en el mismo.

### **Bibliografía**

Abeledo, LG; DF Calderini & DF Slafer. 2008. Nitrogen economy in old and modern malting barleys. *Crops Research* 106: 171–178.

Alvarez, R. 2008. Analysis of yield response variability to nitrogen fertilization in experiments performed in the Argentine Pampas. *Communication Soil Science and Plant Analysis* 39: 1235-1244.

Álvarez, R & RS Lavado. 1998 Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma* 83 127–141.

Álvarez, R & H Steinbach. 2012. Asociación entre el nitrógeno del suelo y el rendimiento de los cultivos. En Álvarez et al (EDS.) *Fertilidad de suelos*.



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

Caracterización y manejo en la Región Pampeana. Capítulo 5 pags.245-258. Editorial de la Facultad de Agronomía. UBA.

Arisnabarreta, S & D Miralles. 2006. Yield responsiveness in two and six-rowed barley growing in contrasting nitrogen environments. *Journal of Agronomy and Crop Science* 192:178-185.

Balzarini MG, L Gonzalez, M Tablada., F Casanoves, JA Di Rienzo & CW Robledo. 2008. INFOSTAT. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina

Barbieri, PA; HE Echeverría & HR.Sainz Rozas. 2001. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 21: 18-23.

Carreira, D. 2005. Carbono oxidable: Una forma de medir la materia orgánica del suelo. Pp.91-98 en: Marbán, L & SE Ratto (eds.) *Tecnologías en análisis de suelos. Alcance a Laboratorios Agropecuarios*, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 215 pp.

Cate, RB & LA Nelson. 1965. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. *North Carolina Agric. Exp. Stn., International soil Testing Series Bull. No. 1.*

Cate, RB & LA Nelson. 1971. A Simple Statistical Procedure for Partitioning Soil Test Correlation Data Into Two Classes. *Soil Scienc Society of America Journal* 35: 658-660.

Colwell, JD. 1994. Estimating fertilizer requirements. A quantitative approach. Oxon (UK) CAB International.

Copperi, MZ; M. E. Mandolesi, MA Cantamutto & MM Ron. 2013. Comparative effectiveness of two nitrogen sources for corn fertilization. *Phyton* 82:99-106

Curtin, D; CA Campbell & A Jalil. 1998. Effects of acidity on mineralization: pH dependence of organic matter mineralization in weakly acidic soils. *Soil Biol. Biochem.* 30 : 57-64.

Delogu,G., L Cattivelli, N Pecchioni, D de Falcis, T Maggiore & AM Stanca.1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *European Journal of Agronomy* 9: 11-20.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. & Robledo C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency, measurement and management. En *Fertilizer Best Management Practices. General Principles, Strategy for their Adoption and Voluntary Initiatives vs Regulations. Papers presented at the IFA International 100 Workshop on Fertilizer Best Management Practices. 7-9 March 2007, Brussels, Belgium. First edition, IFA, Paris, France, August 2007*





## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

Dordas, C. 2011. Variation in dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in barley as affected by fertilization, cultivar, and source-sink relations. *European Journal of Agronomy* 37: 31-42.

Dreccer, MF; RA Ruiz; GA Maddonni & EH Satorre. 2003. Bases ecofisiológicas de la nutrición en los cultivos de grano. En Satorre, E.H et al. (Eds.) *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. Pp 482-495. Editorial Facultad Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

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

Farooq, M ; H Brasmlay ; JA Palta & KHM Siddique. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30: 1-17.

Gregorich, EG & HH. Janzen. 1998 –Microbially mediated processes: decomposition,” in *Handbook of Soil Science*, M. Summer, Ed., pp. 106–119, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 1998.

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

Lázzari, MA; MR Landriscini & ME Echagüe. 2007. Uptake of nitrogen by malting barley grown under conditions found in Buenos Aires Province, Argentina. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38(3-4): 371-388.

Loewy, T & MM Ron. 2008 Fertilización nitro-azufrada, expresión del índice de verdor y rendimiento del nitrógeno en trigo. VII Congreso Nacional de Trigo. Santa Rosa. La Pampa.. 2 al 4 de julio de 2008. Actas en CD Rom.

Mulvaney, RL. 1996. Nitrogen—inorganic forms.. In *Methods of soil analysis: Part 3'* (Ed. D.L. Sparks) pp.1123–1184. (SSSA, Madison, WI).

Nelson, LA & RL Anderson. 1977. Partitioning of Soil Test—Crop Response Probability. En: *Soil testing correlating and interpreting the analytical results*. ASA Special publication 29: 19-38.

Prystupa P. 2005. Fertilidad de suelos y Fertilización de cultivos. Editores: Echeverría H & García F Grancharoff Impresores. Capítulo 15, 317 p.

Prystupa, P; G Ferraris; R Bergh; T Loewy; L Ventimiglia & FH Gutierrez Boem. 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*. Potrero de los Funes, San Luis. Actas en CD Rom.

Ron, MM & T Loewy. 1990. Fertilización fosfórica del trigo en el S.O. bonaerense. I. Modelos de la respuesta. *Ciencia del Suelo* 8: 187-194.

Ron, MM & T Loewy 2007. Comparative effectiveness of urea and calcium ammonium nitrate for wheat fertilization in southwestern Buenos Aires Argentina. In: Buck, H.T.,



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

---

Nisi J.E. & Salomón N. (eds), pp. 189-195 Wheat Production in Stressed Environments. Proceedings of the 7th International Wheat Conference, 27 November - 2 December 2005, Mar del Plata, Argentina. Springer. 794 p.

Stark, JM & MK Firestone. 1995 Mechanisms for soil moisture effects on activity of nitrifying bacteria. Applied and Environmental Microbiology 61: 218–221