

# Uso del nitrógeno y calidad industrial en cultivares argentinos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.)

LERNER, S.E.<sup>1</sup>; ARRIGONI, A.C.<sup>1</sup>; ARATA, A.F.<sup>1</sup>

## RESUMEN

Los incrementos en la producción de cereales basados en la mayor incorporación de Nitrógeno (N) representan un riesgo para la sustentabilidad de los agro-ecosistemas. Por esto, adquiere significación manipular los atributos del cultivo que determinan mayor extracción del nutriente del suelo y los que maximizan el uso del N absorbido y exportado del sistema. El objetivo del trabajo fue conocer diferencias genéticas entre variedades y su interacción con el ambiente que determinan distinta eficiencia en el uso del nutriente, medida como diferencia de N en grano y/o diferencia de rendimiento en grano en función del N aplicado y sus relaciones con parámetros indicadores de calidad industrial. Los experimentos realizados incluyeron 16 cultivares argentinos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) durante las campañas 2005 y 2006, en Azul, Buenos Aires, Argentina. Los tratamientos fueron: tratamiento control (T), que correspondió al N disponible en el suelo, y tratamiento fertilizado (N) con aplicación repartida de urea, 30% a la emergencia y 70% a fin de macollaje, en dosis variable de acuerdo al análisis del suelo a la siembra para lograr 150 kg/ha de N totales (150 kg N/ha – N del suelo). Se determinó el rendimiento y sus componentes al tiempo que se calculó la eficiencia agronómica y la eficiencia de recuperación del fertilizante aplicado y se realizaron mediciones de parámetros alveográficos, porcentaje de proteínas y de gluten húmedo. La diferencia en el número de granos por unidad de superficie entre el tratamiento fertilizado y el control explicó el 86% de la variación en eficiencia de recuperación del Nitrógeno en el año 2005. Así, variedades con mayor capacidad de particionar biomasa a granos presentaron mayor recuperación del nutriente. La extensibilidad (L) fue el parámetro de calidad industrial más dependiente del N, por lo que genotipos con alta estabilidad en eficiencia de recuperación y eficiencia agronómica presentaron menor variación en los valores de dicha variable entre años. El porcentaje de proteínas en grano no fue el único factor determinante de los parámetros de calidad industrial analizados. Los resultados encontrados aportan conocimientos sobre la variabilidad genotípica de numerosas variedades de trigo argentinas con respecto a la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado y su relación con la calidad industrial.

**Palabras clave:** Trigo, nutrición nitrogenada, uso final.

## ABSTRACT

*Increments in cereal production based upon increased nitrogen fertiliser application represent a risk for the sustainability of agro-ecosystems. For this reason, it would be of major significance to be able to manipulate the attributes of the crop that determine improved nutrient extraction from the soil, as well as those that maxi-*

<sup>1</sup>Cátedra de Cereales y Oleaginosas. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional del Centro de la Pcia. de Buenos Aires. Rep. de Italia 780, C.P. 7300, Azul, Buenos Aires, Argentina. E-mail: slerner@faa.unicen.edu.ar, aarrigoni@faa.unicen.edu.ar

mise the use of the N absorbed and subsequently exported as grain from the system. The aim of the current work was to determine genetic differences between varieties and their interaction with the environment, responsible for differences in the efficiency of the nutrient measured as differences in grain N and/or differences in grain yield as a function of applied N and their relationships with industrial quality indicator parameters. In the current work, field trials of sixteen Argentinean bread wheat cultivars were carried out during two consecutive seasons, 2005 and 2006, in Azul, Province of Buenos Aires, Argentina. The fertiliser treatments were: control treatment (T), corresponding to the N available in soil, and fertilised treatment (N) with split application of urea, 30% at emergence and 70% at tillering, at variable rates depending upon the soil analysis at sowing and based upon achieving 150 kg/ha of total N (150 kg N/ha – N soil). The following characteristics were determined: grain yield and its components, agronomic efficiency, recovery efficiency of applied fertiliser, alveographic parameters, protein percentage and wet gluten percentage. The difference in grain number per unit area between the fertilised and control treatment explained 86% of the variation in N recovery efficiency in 2005. Varieties with enhanced ability to partition biomass to the grain gave improved recovery of the nutrient. Extensibility (L) was the industrial quality parameter most dependent upon N, meaning that genotypes with high stability in recovery efficiency and agronomic efficiency showed less variation in the values of this variable between years. Grain protein content was not the only determinant of the industrial quality parameters analysed. The results provide insights into the genotypic variability of many Argentinean wheat varieties with respect to N fertiliser use efficiency and its relationship with industrial quality.

**Keywords:** Wheat, Nitrogen nutrition, end use.

## INTRODUCCIÓN

Varios factores ambientales impactan sobre la expresión del rendimiento potencial de los cultivos y, por lo tanto, determinan el rendimiento logrado. Uno de los factores considerados como limitante de los rendimientos y que por lo tanto, determinan el rendimiento alcanzable, es el Nitrógeno (N) (Kichey *et al.*, 2007). Sin embargo, la oferta de N y el rendimiento obedecen a una relación de incrementos decrecientes, lo cual implica que no siempre mayores dosis de N aportadas a los cultivos se traducirán en mayores rendimientos, afectando significativamente la eficiencia productiva de todo el sistema (Campbell *et al.*, 1977; Clarke *et al.*, 1990).

La relación del N con el agua disponible en el sistema es esencial, favoreciendo su transporte hacia la superficie de la raíz por el mecanismo de flujo masal. Tanto las deficiencias hídricas que afecten la absorción de nutrientes y crecimiento del cultivo como excesos de agua que provoquen lixiviación fuera del alcance de las raíces o inadecuada distribución de precipitaciones durante el ciclo, pueden significar pérdidas de la eficiencia del uso del N. La fuga del nutriente hacia las napas y/o la imposibilidad de ser utilizado oportunamente por el cultivo afectará la sustentabilidad ambiental y económica del sistema de producción (Asseng *et al.*, 2001).

Ajustar la cantidad de N a aplicar al cultivo de acuerdo al rendimiento posible y a la dotación del suelo al momento de la siembra, resulta una aproximación que no siempre produce los resultados esperados. Esta incertidumbre se

acrecienta si la aplicación se realiza en su totalidad en ese momento, que no coincide con el momento de máximos requerimientos por parte del cultivo, además de resultar expuesto por más tiempo a lluvias que pueden provocar lixiviación hacia capas profundas no exploradas por las raíces. La aplicación repartida de fertilizantes, adecuando dosis y oportunidad de acuerdo a las necesidades del cultivo, han demostrado mejorar su aprovechamiento en términos de rendimiento y contenido de N en grano (García *et al.*, 1998; Ron y Loewy, 2000; Johansson *et al.*, 2001; López-Bellido *et al.*, 2004; Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2010).

La cuestión de las diferencias genéticas en cuanto a rendimiento potencial y a la capacidad de capturar y/o retranslocar el N a órganos cosechables incrementa la variabilidad de las respuestas esperables en diferentes situaciones (Van Sanford y MacKown, 1987).

Se han reportado ampliamente efectos sobre la cantidad de proteínas en los granos y otros parámetros de calidad en relación con el N disponible (García *et al.*, 1998, 2000, 2001; Lerner *et al.*, 1998). El contenido de proteínas en grano es parcialmente determinante de la calidad industrial, asociado fuertemente con el contenido de gluten (Gauer *et al.*, 1992; Labuschagne *et al.*, 2006; Alzueta *et al.*, 2008; Pinilla Quezada *et al.*, 2008). Se han encontrado efectos del N sobre los parámetros reológicos de la masa, como los obtenidos por el Alveógrafo de Chopin: fuerza panadera (W), tenacidad (P) y extensibilidad de la masa (L) (Pechanek *et al.*, 1997; Johansson *et al.*, 2001; Dupont *et al.*, 2006; Alzueta *et al.*, 2008, Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2010, 2012).

Es conocido que además del porcentaje de proteínas en los granos, las clases de proteínas que forman gluten (gliadinas y gluteninas) son características de cada cultivar y confieren propiedades específicas relacionadas con su uso final.

Entonces, el objetivo del presente trabajo fue conocer diferencias genéticas y su interacción con el ambiente, que determinan distinta eficiencia en el uso del nutriente, medida como diferencia de N en grano y/o diferencia de rendimiento en grano en función del N aplicado y sus relaciones con parámetros indicadores de calidad industrial. Se puede así contribuir al ajuste del modelo productivo de acuerdo a diferentes objetivos y situaciones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos fueron realizados durante las campañas 2005 y 2006, en un suelo Argiudol Típico del campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires en Azul (36° 49' 53" latitud Sur, 59° 53' 23" longitud Oeste). Se incluyeron 16 cultivares argentinos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) de Ciclo Largo (CL) y Ciclo Corto (CC), de los siguientes Grupos de Calidad (CONASE):

- Grupo de calidad I (GC1): ACA 304 (CL), Biolnta 2001 (CL), Biolnta 3000 (CL), Klein Jabalí (CL), Relmó INIA Torcaza (CL), Buck Mejorpan (CC), Klein Proteo (CC), Relmó INIA Condor (CC).
- Grupo de calidad II (GC2): Klein Capricornio (CL), ACA 601 (CC), Biolnta 1000 (CC), Klein Castor (CC), Klein Flecha (CC), Klein Tauro (CC).
- Grupo de calidad III (GC3): Buck Aguará (CC), Klein Gavilán (CL).

Fueron sembrados en las fechas recomendadas para la región, entre el 20 de junio y el 10 de julio y entre el 20 de julio y el 10 de agosto. Las densidades fueron 280 y 380 plantas por metro cuadrado para los ciclos largos y cortos, respectivamente. Se trabajó con dos niveles de Nitrógeno: tratamiento control (T), que correspondió al N disponible en el suelo, y tratamiento fertilizado (N), con aplicación repartida de urea, 30% a la emergencia y 70% a fin de macollaje. La dosis fue variable de acuerdo al análisis del suelo a la siembra para lograr 150 kg/ha de N totales (150 kg N/ha - N del suelo). Antes de la siembra se aplicó superfosfato triple para asegurar no-deficiencia de fósforo y se controlaron plagas, enfermedades y malezas cuando correspondió. A su vez, se presenta el registro de lluvias y temperaturas medias mensuales para los dos años (fig. 1). Durante el ciclo del cultivo las precipitaciones acumuladas fueron de 361,9 mm para el año 2005 y 311,1 mm para el 2006. Se puede observar que no hubo mayores diferencias en las precipitaciones totales entre los años pero sí en su distribución, con una mayor concentración en agosto (108,1 mm) para el año 2005 y en octubre (149,9 mm) para el 2006.

A cosecha, sobre una subparcela de un metro cuadrado se determinaron rendimiento, peso de mil granos (P1000),

se calculó número de granos (NG) y se midió porcentaje de proteínas (%P) (NIR). A su vez, se calculó la eficiencia de recuperación (ER) del fertilizante aplicado a partir del contenido calculado de N de los granos ( $N = \text{Proteína}/5,75$ ) y la eficiencia agronómica (EA), según las siguientes fórmulas mostradas por Novoa y Loomis (1981), Craswell y Godwin (1984) y Guarda *et al.* (2003):

$$\text{Eficiencia de Recuperación (\%)} = ((N \text{ grano trat. N (kg/ha)} - N \text{ grano trat. T (kg/ha)}) / N \text{ aplicado (kg/ha)}) * 100$$

$$\text{Eficiencia Agronómica (kg grano/kg N)} = (\text{Rendimiento en grano trat. N (kg/ha)} - \text{Rendimiento en grano trat. T (kg/ha)}) / N \text{ aplicado (kg/ha)}$$

A partir de harina obtenida previa molienda de los granos cosechados se midieron parámetros reológicos de calidad industrial: fuerza panadera (W), tenacidad (P), extensibilidad (L) y relación P/L, con Alveógrafo de Chopin (Método ICC 121, 1992) y contenido de gluten húmedo (GH) con Glutomatic Perten (Método ICC No. 137/1).

El diseño experimental fue en tres bloques completos al azar-parcela dividida. Los resultados se analizaron mediante Análisis de la Varianza y comparación de medias por Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ), Análisis de Regresión Lineal ( $\alpha \leq 0,05$ ) y Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando el paquete estadístico INFOSAT (Facultad de Ciencias Agrarias-Córdoba).

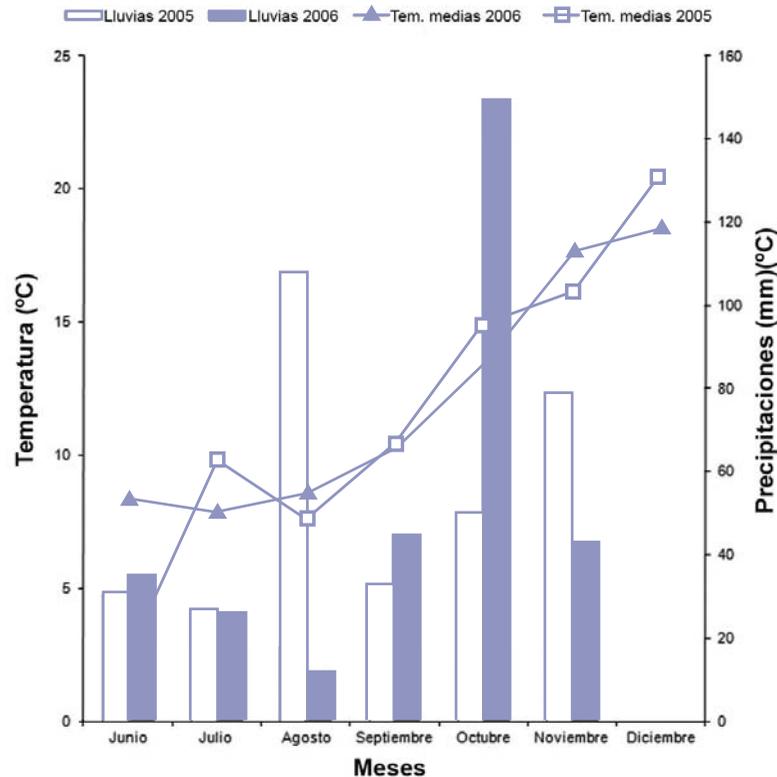
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento y componentes

En el año 2005 la floración se produjo entre los días 2 y 6 de noviembre para los cultivares de ciclo largo y entre el 4 y 11 de ese mes para los de ciclo corto. En 2006 los cultivares de ciclo largo florecieron entre el 31 de octubre y el 5 de noviembre y los ciclos cortos entre los días 3 y 10 de ese mes.

Se encontraron diferencias significativas entre años en rendimiento, número de granos (NG) y peso de granos (tabla 1). En 2005, el rendimiento fue significativamente menor que en 2006 (Duncan,  $\alpha \leq 0,05$ ). Asimismo, en ambos años hubo diferencias significativas entre los promedios de rendimiento de los tratamientos control (2005=452 g/m<sup>2</sup>, 2006=640 g/m<sup>2</sup>) y el de los tratamientos fertilizados (2005=645 g/m<sup>2</sup>, 2006=705 g/m<sup>2</sup>). Como se puede observar, en el año 2005 el rendimiento del tratamiento control fue mucho menor que el del tratamiento fertilizado, aún cuando en ambas campañas hubo respuesta significativa a la fertilización. Se observaron diferencias significativas en NG entre años en los tratamientos control (2005=13266 gr/m<sup>2</sup>, 2006=15902 gr/m<sup>2</sup>), en tanto que los tratamientos fertilizados no difirieron significativamente (2005=19124 gr/m<sup>2</sup>, 2006=18547 gr/m<sup>2</sup>).

A su vez, se observa el menor ajuste de la relación rendimiento-NG para el año 2006, aunque significativa para ambos años (fig. 2). La relación entre número y peso de



**Figura 1.** Temperaturas medias (°C) y precipitaciones (mm) durante el ciclo del cultivo para los años 2005 y 2006. (Boletín Agrometeorológico FAA, 2005, 2006).

granos fue significativa solo en el año 2006: a mayor NG correspondió menor peso por grano, evidenciando un efecto de compensación entre dichos componentes del rendimiento (fig. 3). El tratamiento control tuvo en promedio mayor peso de los granos que el tratamiento fertilizado ( $T=36,12$  g;  $N=34,24$  g). No hubo diferencias significativas en el peso de los granos (P1000) entre tratamientos en el año 2005 ( $T=34,16$  g;  $N=33,95$  g).

Las diferencias entre los dos años en los componentes del rendimiento, fundamentalmente en NG se explican por efectos del ambiente durante el ciclo del cultivo: en 2005

se registraron lluvias superiores a 100 mm en agosto que probablemente provocaron lavado de nitratos del perfil del suelo. Ensayos comparativos de rendimiento realizados en el mismo sitio dieron resultados similares (datos no mostrados). Teniendo en cuenta que el N disponible al inicio del cultivo en ambos años fue prácticamente el mismo (año 2005: 42,81 kg N/ha, año 2006: 41 kg N/ha) y dado que se ajustó la dosis del fertilizante a aplicar teniendo esos datos en cuenta, presumiblemente las diferencias significativas observadas a favor del segundo año se debieron a las precipitaciones mencionadas que redujeron significativamente el N inicial en el primer año (fig. 1). El hecho de que el tratamiento control del primer año rindiera menos que en 2006 corrobora lo mencionado.

F.V.	Rendimiento	N.º de granos/m <sup>2</sup>	P1000 granos
Variedad	5,33 ***	15,31 ***	69,79 ***
Año	271,23 ***	17,14 ***	30,23 ***
Tratamiento	290,38 ***	292,55 ***	26,05 ***
Var x Año	8,50 ***	8,31 ***	7,94 ***
Var x Trat	2,20 **	2,55 **	1,98 **
Año x Trat	71,84 ***	41,78 ***	16,84 ***
Var x Año x Trat	1,98 *	1,66 ns	1,72 *

**Tabla 1.** Valores de F de los factores de variación considerados para rendimiento en grano y sus principales componentes: número de granos por unidad de superficie (gr/m<sup>2</sup>) y peso de mil granos (P1000, g).

### Eficiencia de uso del N

Se encontraron diferencias significativas entre genotipos en eficiencia de recuperación y agronómica, calculadas sobre la fracción de N del fertilizante aplicado, (tabla 2), coincidiendo con lo reportado por Le Gouis *et al.* (2000), Ortiz-Monasterio *et al.* (2001) y Abbate *et al.* (2007). Los valores de eficiencia de recuperación en granos obtenidos fueron similares a los reportados por Guarda *et al.* (2003) para variedades modernas de trigo. En el año 2005 los cultivares R.I. Torcaza y K. Castor presentaron valores superiores al 75% evidenciando elevada partición de N

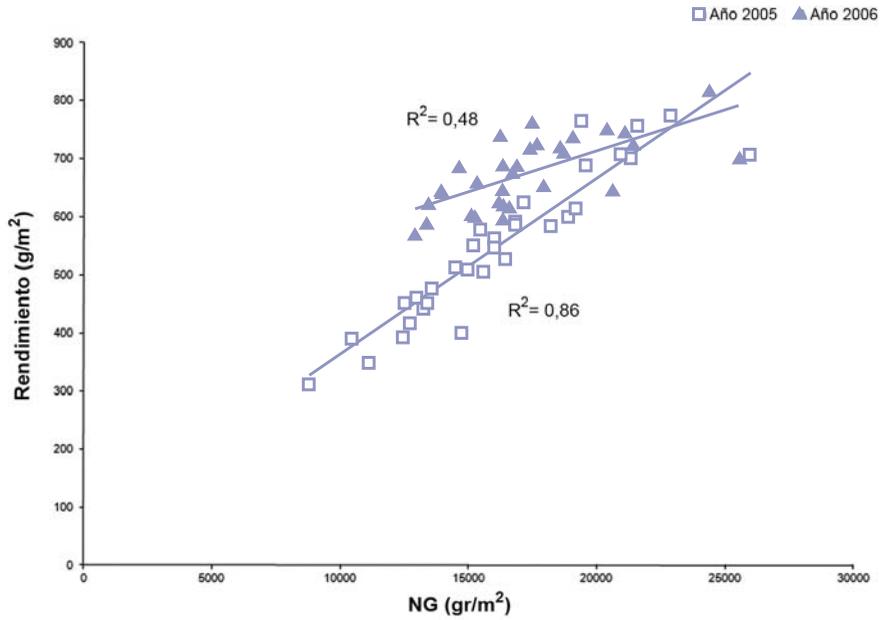


Figura 2. Relación entre rendimiento (g/m<sup>2</sup>) y número de granos por metro cuadrado (NG, gr/m<sup>2</sup>) durante los años 2005 (\*\*\*) y 2006 (\*\*\*)

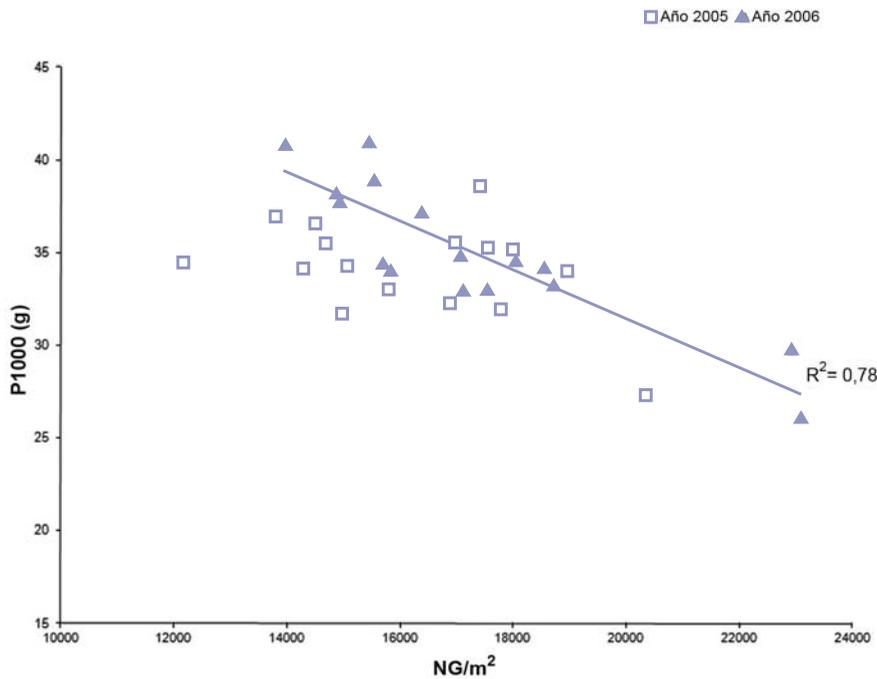


Figura 3. Relación entre peso de mil granos (P1000, g) y número de granos por metro cuadrado (NG, gr/m<sup>2</sup>) durante los años 2005 (NS) y 2006 (\*\*\*)

a granos, lo que concuerda con valores de Índice de Cosecha de N superiores al 80% como los reportados por Barraclough *et al.* (2010).

Debido a la mayor respuesta a la fertilización con N en términos de rendimiento en grano en el año 2005 y a su

incidencia en el cálculo de las eficiencias de uso del N, las eficiencias tanto de recuperación como agronómica fueron superiores que en el año 2006 (al pie de la tabla 2 se consignan los promedios de cada año). Aún así, 12 de los 16 cultivares incluidos en este análisis tuvieron eficiencias

Variedad	Eficiencia de Recuperación				Eficiencia Agronómica			
	Año 2005		Año 2006		Año 2005		Año 2006	
Torcaza (1)	80,0	<i>a</i>	31,8	<i>efg</i>	23,4	<i>a</i>	5,5	<i>ghij</i>
Castor (2)	77,2	<i>ab</i>	46,9	<i>de</i>	23,7	<i>a</i>	8,4	<i>f..j</i>
Capricornio (3)	72,0	<i>abc</i>	41,6	<i>defg</i>	20,3	<i>abc</i>	7,8	<i>f..j</i>
Proteo (4)	72,0	<i>abc</i>	22,8	<i>fg</i>	19,2	<i>abcd</i>	3,5	<i>ij</i>
Aca 304 (5)	71,9	<i>abc</i>	53,2	<i>cde</i>	21,4	<i>ab</i>	9,2	<i>e..j</i>
Aca 601 (6)	60,5	<i>abcd</i>	40,6	<i>defg</i>	18,1	<i>a..e</i>	5,5	<i>ghij</i>
Mejorpan (7)	56,4	<i>bcd</i>	41,6	<i>defg</i>	14,9	<i>b..f</i>	6,6	<i>f..j</i>
Gavilán (8)	47,7	<i>de</i>	52,2	<i>cde</i>	10,3	<i>d..j</i>	10,8	<i>d..j</i>
Bio 3000 (9)	51,3	<i>cde</i>	31,3	<i>efg</i>	11,2	<i>d..j</i>	2,0	<i>j</i>
Aguará (10)	51,0	<i>cde</i>	40,8	<i>defg</i>	10,2	<i>d..j</i>	10,4	<i>d..j</i>
Bio 1000 (11)	50,6	<i>cde</i>	40,6	<i>defg</i>	10,4	<i>b..h</i>	4,9	<i>hij</i>
Bio 2001 (12)	42,7	<i>defg</i>	46,2	<i>def</i>	11,1	<i>d..j</i>	7,2	<i>f..j</i>
Condor (13)	45,9	<i>def</i>	37,0	<i>defg</i>	12,1	<i>c..i</i>	12,2	<i>c..i</i>
Jabalí (14)	40,4	<i>defg</i>	44,3	<i>defg</i>	6,4	<i>f..j</i>	11,1	<i>d..j</i>
Tauro (15)	43,2	<i>defg</i>	39,9	<i>defg</i>	14,2	<i>b..g</i>	9,3	<i>e..j</i>
Flecha (16)	31,5	<i>efg</i>	21,6	<i>g</i>	7,2	<i>f..j</i>	3,2	<i>ij</i>
Promedio	55,90	<i>a</i>	39,52	<i>b</i>	14,82	<i>a</i>	7,34	<i>b</i>

**Tabla 2.** Eficiencia de recuperación de N en grano (%) y eficiencia agronómica (kg grano/kg N) de los distintos cultivares durante los años 2005 y 2006. Los cultivares en cursiva no difirieron significativamente entre años. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan,  $\alpha \leq 0.05$ ).

de recuperación que no difirieron significativamente entre años. Además, las variedades que no tuvieron diferencias significativas en eficiencia agronómica se encuentran incluidas en el grupo que no exhibió diferencias entre años en eficiencia de recuperación (tabla 2) lo que demuestra cierta estabilidad de estos genotipos en diferentes condiciones ambientales. Estos datos aportan la posibilidad de implementar una estrategia de manejo del cultivo basada en la variabilidad genotípica con el fin de mejorar la eficiencia de uso del nutriente. Cultivares más eficientes y que presenten una mayor estabilidad entre ambientes son una herramienta importante al momento de ajustar un planteo de fertilización.

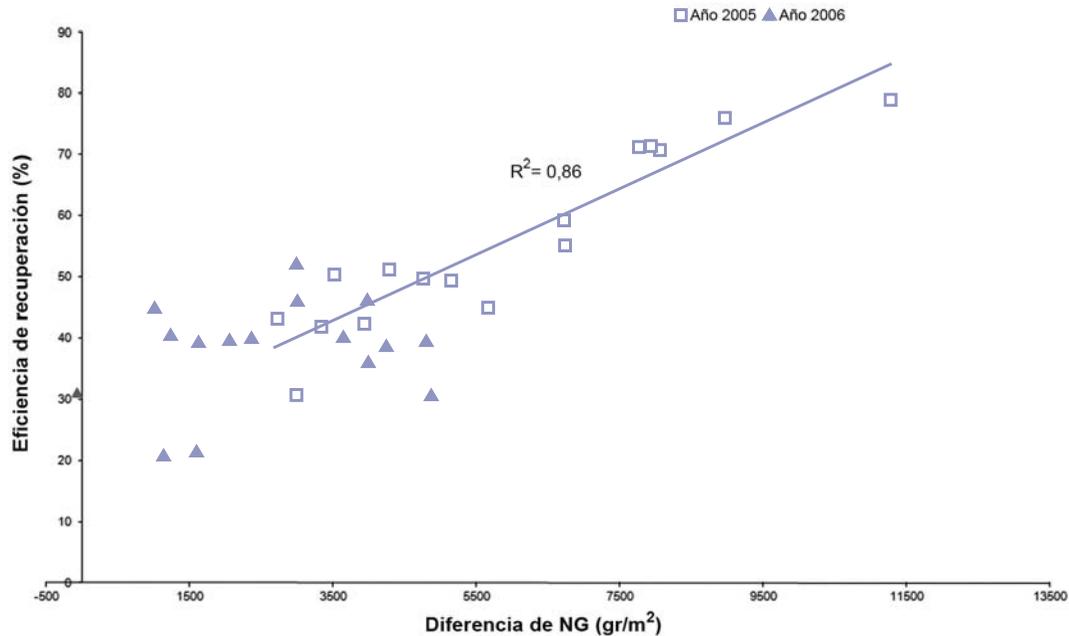
El ajuste entre la eficiencia de recuperación y la diferencia en el número de granos por unidad de superficie entre los tratamientos fertilizados y no fertilizados ( $\Delta NG$ ) fue significativo sólo en el año 2005 ( $R^2=0.86$ ) (fig. 4), seguramente como producto de lo anteriormente mencionado acerca de los efectos de compensación en el año 2006 entre el número y el peso de los granos (fig. 3), lo que ocasionó la menor correlación entre NG y rendimiento (fig. 2).

### Calidad industrial

Todos los parámetros alveográficos (W: fuerza panadera, P: tenacidad, L: extensibilidad y P/L: relación tenacidad/extensibilidad) mostraron respuestas significativas por efectos de variedades y años. A su vez, W, L y P/L presentaron

F.V.	W	P	L	P/L
Variedad	34,73 ***	12,31 ***	14,59 ***	9,38 ***
Año	73,35 ***	709,71 ***	235,34 ***	323,56 ***
Tratamiento	281,52 ***	0,60 ns	106,97 ***	45,37 ***
Var x Año	5,12 ***	7,85 ***	4 ***	6,92 ***
Var x Trat	2,94 ***	2,41 **	2,58 ***	4,14 ***
Año x Trat	8,29 **	1,21 ns	0,01 ns	12,14 ***
Var x Año x Trat	2,53 **	1,23 ns	1,31 ns	1,96 *

**Tabla 3.** Valores de F de los factores de variación considerados para los parámetros alveográficos: fuerza panadera (W), tenacidad (P), extensibilidad (L) y relación P/L.



**Figura 4.** Relación entre eficiencia de recuperación de N en grano (%) y la diferencia en número de granos por unidad de superficie entre los tratamientos fertilizados y no fertilizados ( $\Delta$ NG, gr/m<sup>2</sup>) durante los años 2005 (\*\*\*) y 2006 (NS).

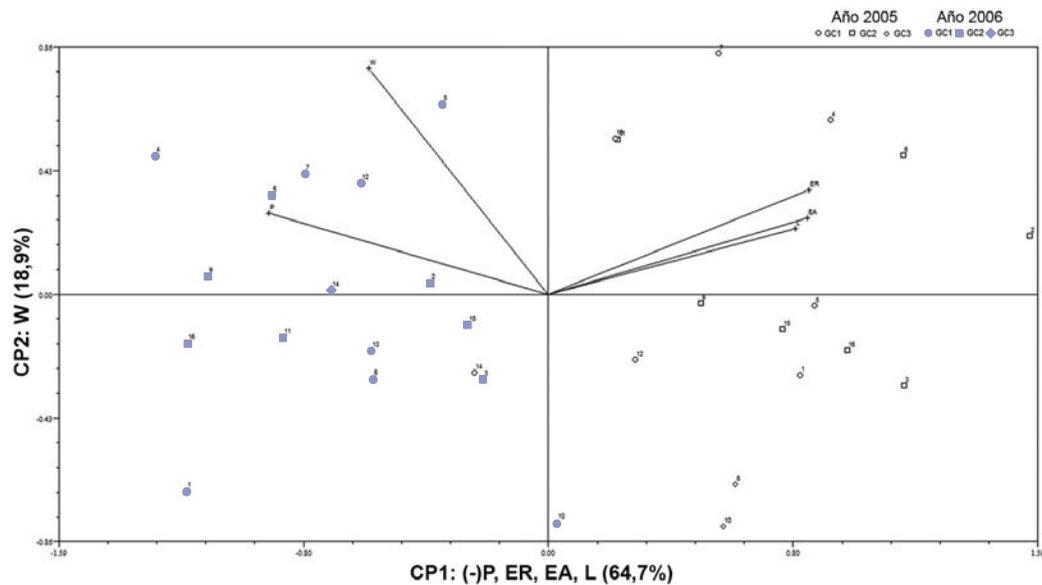
diferencias significativas entre tratamientos de fertilización. Las diferencias en W y P/L se debieron principalmente a cambios en L (tabla 3).

Los parámetros W y L presentaron valores significativamente mayores en los tratamientos fertilizados en ambos años. En el año 2005 solamente algunas variedades per-

tencientes a los Grupos de Calidad I y II (GC1 y GC2) presentaron mayor W con el agregado de N: K. Castor, B. Mejorpan, Biolnta 3000, Biolnta 1000, R.I. Condor y K. Jabalí. En cambio en el año 2006 en el que W fue mayor que en 2005 para ambos tratamientos, todas las variedades respondieron significativamente a la fertilización con N,

Variedad	W				L				P/L			
	Año 2005		Año 2006		Año 2005		Año 2006		Año 2005		Año 2006	
	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
Torcaza (GC1)	247,7 w.z[	318,3 n.w	313,3 p.w	367,0 j..s	93,0 f.o	115,0 a.g	72,7 m.s	61,0 p.t	0,83 p.v	0,69 s.v	1,56 f.q	2,22 d.g
Castor (GC2)	190,7 z[	314,0 o.w	292,7 q..x	402,0 g..o	85,7 h.q	124,3 a.e	49,0 stu	76,0 l.s	0,86 p.v	0,62 t.v	3,06 c	1,79 d.l
Capricornio (GC2)	241,3 w.z[	286,3 r.y	220,7 xyz[	371,7 j..r	111,7 b.i	128,7 a.d	59,0 qrst	89,3 g..p	0,64 t.v	0,53 v	1,96 d.k	1,25 j.v
Proteo (GC1)	372,3 j..r	444,0 d.jk	427,3 e.l	590,0 a	114,0 a.h	129,7 abc	76,7 l.s	98,7 e..n	0,8 q.v	0,72 r.v	2,42 cde	1,51 f..r
Aca 304 (GC1)	288,7 r..y	353,7 l.u	391,3 h..p	554,7 ab	103,0 c.l	109,0 c.j	77,0 l.s	106,7 c.k	0,81 q.v	0,7 r.v	1,73 d.n	1,1 l..v
Aca 601 (GC2)	364,3 j..s	417,0 g..n	395,5 g..p	538,0 abc	107,0 c.k	140,7 a	71,5 n.s	100,7 d..m	0,91 o.v	0,57 uv	2,04 d.j	1,33 i..v
Mejorpan (GC1)	378,7 i..q	509,0 b..e	298,5 q..x	505,0 b..e	109,7 c.j	125,0 a.e	61,0 p.t	86,7 g..q	0,92 n.v	0,82 p.v	2,16 d..h	1,78 d.m
Gavilán (GC3)	202,7 yz[	281,3 s..y	184,7 [	347,7 l..v	77,3 l.s	113,7 a.h	30,7 u	58,7 qrst	1,09 l.v	0,65 tuv	4,58 a	2,46 cd
Bio 3000 (GC1)	191,0 z[	387,0 h..p	281,3 s..y	489,7 b..f	56,3 r..t	118,7 a.f	41,7 tu	84,0 i.r	1,48 f..s	0,74 rstuv	3,92 b	1,71 d.o
Aguará (GC3)	186,0 [	268,7 u..z[	272,0 t.z	292,0 q..x	84,0 i..r	119,0 a.f	70,0 o.s	96,7 e..o	0,83 p.v	0,58 uv	1,56 f..q	0,96 n..v
Bio 1000 (GC2)	363,0 j..s	462,3 c..i	260,5 v..z[	444,0 d..k	107,3 c.k	100,7 d..m	72,5 m.s	88,0 g..p	0,96 m..v	1,2 k..v	1,41 h..	1,51 f..s
Bio 2001 (GC1)	286,3 r..y	367,3 j..s	351,7 l.u	515,3 a..d	82,7 j..r	98,0 e..o	61,3 pqrst	103,3 c..l	1,15 k..v	0,92 n..v	2,35 c..e	1,43 g..t
Condor (GC1)	363,7 j..s	470,3 c..h	449,0 d..j	403,7 f..n	79,0 k..r	100,7 d..m	84,0 i..r	73,0 m..s	1,52 f..r	1,16 k..v	1,63 e..p	1,78 d..l
Jabalí (GC1)	316,0 n..w	417,7 f..l	469,3 c..h	478,5 b..g	100,3 d..m	113,0 a..h	98,0 e..o	99,5 e..n	0,92 n..v	0,85 p..v	1,24 j..v	1,23 k..v
Tauro (GC2)	289,3 r..x	358,0 k..t	242,0 w..z[	407,0 f..m	124,7 a.e	139,3 ab	76,0 l.s	100,3 i..m	0,62 tuv	0,58 uv	1,36 h..u	1,18 k..v
Flecha (GC2)	281,7 s..y	326,3 m..w	293,5 q..x	442,7 d..k	125,3 a.e	130,0 abc	59,0 q.t	74,0 m..s	0,61 tuv	0,56 uv	2,12 d..i	2,25 def
Promedio	285,21 d	373,8 b	321,5 c	446,8 a	97,56 b	119,08 a	66,25 d	87,28 c	0,93 c	0,74 d	2,19 a	1,59 b

**Tabla 4.** Parámetros alveográficos: W (fuerza panadera), L (extensibilidad) y relación P/L de los distintos cultivares para el tratamiento control (T) y el tratamiento fertilizado (N) durante los años 2005 y 2006. Datos en cursiva corresponden a aquellos cultivares que no difirieron significativamente en eficiencia de recuperación entre años. Se indica entre paréntesis el grupo de calidad al que pertenece cada cultivar. Letras distintas indican diferencias significativas ( $\alpha \leq 0,05$ ).



**Figura 5.** Efecto del año sobre eficiencia de recuperación, eficiencia agronómica y calidad industrial de cultivares de trigo pertenecientes a distintos grupos de calidad (el n.º de cultivar en el gráfico corresponde a la numeración de cultivares de la tabla 2).

a excepción de R.I. Torcaza (GC1), B. Aguará (GC3), R.I. Condor (GC1) y K. Jabalí (GC1) que mostraron elevados valores de W para los tratamientos control en relación al Grupo de Calidad al que pertenecen (tabla 4).

En 2006 las masas fueron siempre menos extensibles (menor L del alveograma) que en 2005, posiblemente debido a que las lluvias en octubre de ese año (fig. 1) provocaron una disminución del N disponible. La variable L fue el parámetro de calidad industrial más asociado a la fertilización con N, coincidiendo con lo reportado por Miceli *et al.* (1992) y Park *et al.* (2006). Es probable que esto se deba a que el aumento en la disponibilidad de N en los granos se asocia directamente con el incremento de la fracción de gliadinas presentes en el gluten, que son las proteínas responsables de conferirle extensibilidad a las masas (Gianibelli *et al.*, 2001).

La tenacidad (P) no difirió entre tratamientos ni en 2005 ni en 2006 (tabla 3). Como resultado, la relación P/L disminuyó con la N fertilización, coincidiendo con lo reportado por Miceli *et al.* (1992) (Tabla 4). Así, las variedades que difirieron significativamente en L coinciden con las diferencias encontradas entre años en eficiencia de recuperación y eficiencia agronómica (tabla 2).

Del ACP que incluyó los parámetros alveográficos y las eficiencias de recuperación y agronómica se obtuvo que la componente principal 1 (CP1) quedó conformada por las variables P (-), ER (+), EA (+) y L (+) explicando el 64,7% de la variabilidad observada, y la componente principal 2 (CP2) por W (+) explicando otro 18,9 % de la variabilidad. El factor "año" presentó mayor capacidad discriminadora para las variables asociadas al CP1, en tanto que el genotipo, asociado al Grupo de Calidad lo hizo para la variable asociada al CP2: W. El parámetro alveográfico L se asoció fuertemente con las eficiencias de recuperación y agronómica que refuerza lo expuesto acerca de los efectos puntuales del N sobre la extensibilidad de las masas (fig. 5).

Los valores de porcentaje de proteínas (%P) y de gluten húmedo (GH) fueron significativamente mayores en los tratamientos con N, y además difirieron entre variedades y años (tabla 5), como lo reportado por García *et al.* (1998, 2000, 2001) y Lerner *et al.* (1998). La elevada correlación entre estas variables es esperable teniendo en cuenta que el 85% de las proteínas del grano de trigo forman gluten (gluteninas y gliadinas) (MacRitchie, 1984).

En el año 2006 se observó un efecto de dilución del contenido de proteínas en granos, como consecuencia del mayor NG. Esto también se vió reflejado en los menores valores de L para este año, ya discutido anteriormente. Sin embargo el factor de variación más importante para %P

F.V.	%P	GH
Variedad	11,44 ***	21,16 ***
Año	57,08 ***	11,62 ***
Tratamiento	1080,58 ***	534,65 ***
Var x Año	6,83 ***	5,08 ***
Var x Trat	2,29 *	1,97 *
Año x Trat	20,31 ***	1,55 ns
Var x Año x Trat	1,70 ns	1,49 ns

**Tabla 5.** Valores de F de los factores de variación considerados para porcentaje de proteína (%P) y porcentaje de gluten húmedo (GH).

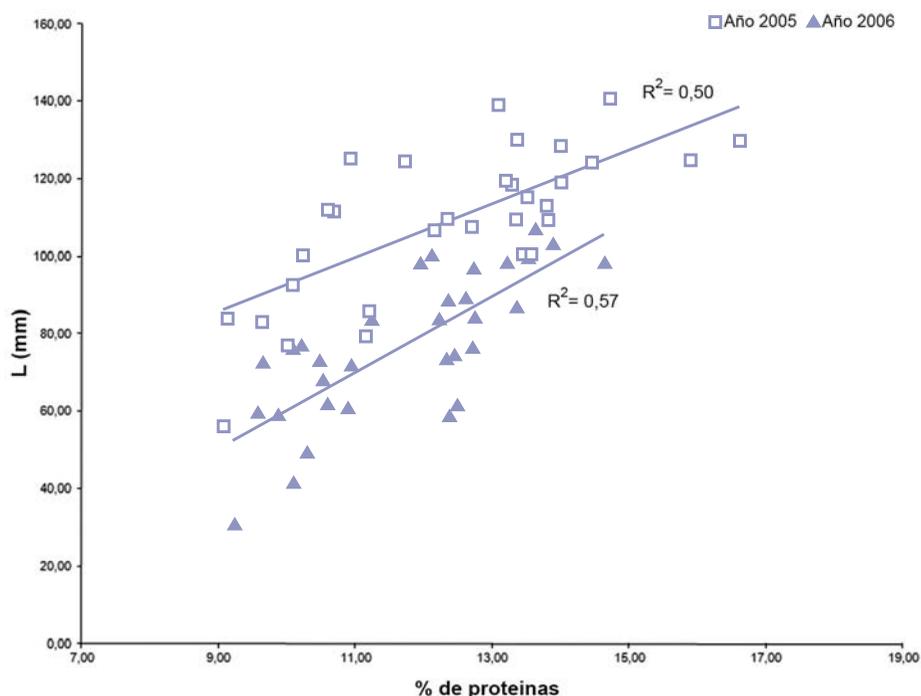


Figura 6. Relación entre extensibilidad (L) y porcentaje de proteínas (%P) durante los años 2005 (\*\*\*) y 2006 (\*\*\*)

Variedad	Año 2005				Año 2006			
	T		N		T		N	
Torcaza	10,1	<i>s..z</i>	14,2	<i>b..e</i>	10,5	<i>s..x</i>	12,5	<i>h..n</i>
Castor	11,2	<i>o..s</i>	14,5	<i>bcd</i>	10,3	<i>s..y</i>	12,7	<i>f..n</i>
Capricornio	10,7	<i>r..w</i>	14,0	<i>b..e</i>	9,9	<i>u..z</i>	12,6	<i>g..n</i>
Proteo	13,2	<i>e..l</i>	16,6	<i>a</i>	12,2	<i>j..p</i>	14,6	<i>bc</i>
Aca 304	9,8	<i>u..z</i>	13,3	<i>e..k</i>	10,2	<i>s..z</i>	13,6	<i>b..h</i>
Aca 601	12,2	<i>k..p</i>	14,7	<i>b</i>	10,9	<i>q..u</i>	13,5	<i>c..i</i>
Mejorpan	12,4	<i>i..n</i>	15,9	<i>a</i>	10,9	<i>q..u</i>	13,3	<i>d..k</i>
Gavilán	10,0	<i>t..z</i>	13,8	<i>b..f</i>	9,2	<i>yz</i>	12,4	<i>i..o</i>
Bio 3000	9,1	<i>z</i>	13,3	<i>e..k</i>	10,1	<i>s..z</i>	12,8	<i>f..n</i>
Aguará	9,7	<i>v..z</i>	14,0	<i>b..e</i>	10,8	<i>q..v</i>	12,7	<i>f..n</i>
Bio 1000	10,6	<i>r..x</i>	13,4	<i>d..i</i>	9,6	<i>w..z</i>	12,4	<i>i..o</i>
Bio 2001	9,4	<i>xyz</i>	12,7	<i>f..n</i>	10,6	<i>r..x</i>	13,9	<i>b..f</i>
Condor	11,1	<i>p..t</i>	13,5	<i>c..i</i>	11,2	<i>o..s</i>	12,4	<i>i..o</i>
Jabalí	10,2	<i>s..z</i>	13,8	<i>b..f</i>	11,9	<i>m..q</i>	13,7	<i>b..g</i>
Tauro	11,7	<i>n..r</i>	13,1	<i>e..m</i>	10,1	<i>s..z</i>	12,1	<i>l..p</i>
Flecha	10,9	<i>q..u</i>	13,4	<i>d..j</i>	9,6	<i>w..z</i>	12,4	<i>h..n</i>
Promedio	10,77	<i>c</i>	14,01	<i>a</i>	10,50	<i>d</i>	12,98	<i>b</i>

Tabla 6. Porcentaje de proteínas (%P) de los distintos cultivares para el tratamiento control (T) y el tratamiento fertilizado (N) durante los años 2005 y 2006. Datos en cursiva corresponden a aquellos cultivares que no difirieron significativamente en eficiencia de recuperación entre años. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan,  $\alpha \leq 0.05$ ).

y GH fue el tratamiento de fertilización (tabla 5). La interacción Variedad x Año fue significativa para las tres variables. Esto se debió probablemente a que el patrón proteico (composición de gliadinas y gluteninas), único para cada variedad, es diferencialmente afectado por el ambiente.

Hubo alta correlación entre %P y L (fig. 6). El %P no explicó la variación en ninguno de los dos años en la tenacidad (P) (correlación no significativa,  $\alpha \leq 0.05$ ) coincidiendo con lo encontrado para el efecto del tratamiento de fertilización (tabla 3).

La asociación encontrada entre la estabilidad de los cultivares indicados en las eficiencias de recuperación y agronómica (tabla 2) y el parámetro alveográfico L (tabla 4), no se correspondió estrictamente con lo observado en porcentaje de proteínas, el que mostró diferencias significativas tanto entre tratamientos como entre años (tabla 6).

## CONCLUSIONES

El número de granos, principal componente del rendimiento, explicó gran parte de la variación en eficiencia de recuperación del Nitrógeno. Por lo tanto, variedades con mayor capacidad de particionar biomasa a granos presentaron mayor recuperación del nutriente.

El parámetro de calidad industrial L resultó altamente dependiente del N, por lo que genotipos con alta estabilidad en eficiencia de recuperación y eficiencia agronómica presentaron menor variación en los valores de extensibilidad del alveograma entre años, aún cuando la distribución de las precipitaciones en las campañas consideradas fue muy diferente.

El porcentaje de proteínas en grano *per se* no fue el único factor determinante de los parámetros de calidad industrial analizados, que a su vez dependen de la composición de las proteínas del gluten y de la relación genotipo-ambiente.

Los resultados encontrados aportan conocimientos sobre la variabilidad genotípica de numerosas variedades de trigo argentinas con respecto a la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado y su relación con la calidad industrial.

No se tuvo en cuenta en este trabajo el nutriente recuperado no translocado a grano, motivo de una próxima publicación.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Daniel Pérez, por su apoyo en el trabajo de laboratorio; al Dr. W.J.Rogers por su permanente aliento, y a la Universidad Nacional del Centro por el aporte parcial de financiamiento para la realización de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

ABBATE, P.E.; LÁZARO, L.; GUTHEIM, F.; BARIFFI, J.H. 2007. Nitrogen and phosphorus grain concentration and use efficiency in wheat. I Conferencia Latinoamericana ICC 2007. 23 al 26 de septiembre. Rosario. AR.

ALZUETA, I.; ABELEDO, L.G.; MIRALLES, D.J. 2008. Impacto de la fertilización nitrogenada y el momento de aplicación sobre la

calidad comercial y reológica en trigo pan (*Triticum aestivum* L.). VII Congreso Nacional de Trigo, C9.

ASSENG, S.; TURNER, N.C.; KEATING, B.A. 2001. Analysis of water- and nitrogen-use efficiency of wheat in a Mediterranean climate. *Plant and Soil*, 233: 127-143.

BARRACLOUGH, P.B.; HOWARTHA, J.R.; JONESA, J.; LOPEZ-BELLIDO, R.; PARMARA, S.; SHEPHERDA, C.E.; HAWKES-FORDA, M.J. 2010. Nitrogen efficiency of wheat: Genotypic and environmental variation and prospects for improvement. *Europ. J. Agronomy*, 33:1-11.

BOLETÍN AGROMETEOROLÓGICO, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Pcia. de Buenos Aires. 2005, 2006.

CAMPBELL, C.A.; CAMERON, D.R.; NICHOLAICHUK, W.; DAVIDSON, H.R. 1977. Effect of fertilizer N and soil moisture on growth, N content, and moisture use by spring wheat. *Can. J. Soil Sci.*, 57: 289-310.

CLARKE, J.M.; CAMPBELL, C.A.; CUTFORTH, H.W.; DE-PAUW, R.M.; WILKLEMAN, G.E. 1990. Nitrogen and phosphorus uptake, translocation, and utilization efficiency of wheat in relation to environment and cultivar yield and protein levels. *Can. J. Plant Sci.*, 70: 965-977.

CRASWELL, E.T.; GODWIN, D.C. 1984. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. *Advances in plant nutrition*, 1: 1-55.

DUPONT, F.M.; HURKMAN, W.J.; VENSEL, W.H.; TANAKA, C.; KOTHARI, K. M.; CHUNG, O.K.; ALTENBACH, S.B. 2006. Protein accumulation and composition in wheat grains: Effects of mineral nutrients and high temperature. *Europ. J. Agronomy*, 25: 96-107.

FUERTES-MENDIZÁBAL, T.; AIZPURUA, A.; GONZÁLEZ-MORO, M.B.; ESTAVILLO, J.M. 2010. Improving wheat bread-making quality by splitting the N fertilizer rate. *Europ. J. Agronomy*, 33: 52-61.

FUERTES-MENDIZÁBAL, T.; GONZÁLEZ-MURUA, C.; GONZÁLEZ-MORO, M.B.; ESTAVILLO, J.M. 2012. Late nitrogen fertilization affects nitrogen remobilization in wheat. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 175: 115-124.

GARCIA, R.; ANNONE, J.G.; MUSTAFÁ, G.; PANZIRAGHY, N.; PÁEZ, A. 1998. Efecto de la época de aplicación de nitrógeno sobre el rendimiento y calidad del trigo. IV Congreso Nacional de Trigo. Mar del Plata 11-13/11. 3-36.

GARCÍA, F.O.; FABRIZZI, K.P.; BERARDO, A.; JUSTEL, F. 1998. Fertilización nitrogenada del trigo en el sudeste bonaerense: respuesta, fuentes y momentos de aplicación. *Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Carlos Paz, 4 al 7 de mayo de 1998: 109-110.

GARCIA, R.; ANNONE, J.G.; MAC MANEY, M. 2000. El valor relativo de la variedad y de otros parámetros de calidad como guía para el acopio diferenciado de trigo para usos específicos. *Revista de Tecnología*.

GARCIA, R.; ANNONE, J.G.; MARTÍN, A.J.; MAC MANEY, M.; REGIS, S. 2001. Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento y distintos parámetros de calidad industrial de distintas variedades de trigo pan (*Triticum aestivum* L.). V Congreso Nacional de Trigo, Septiembre de 2001, Córdoba, AR.

GAUER, L.E.; GRANT, C.A.; GEHL, D.T.; BAILEY, L.D. 1992. Effects of nitrogen fertilization on grain protein content, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency of six spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars, in relation to estimated moisture supply. *Can. J. Plant Sci.*, 72: 235-241.

GIANIBELLI, M.C.; LARROQUE, O.R.; MACRITCHIE, F.; WRIGLEY, C.W. 2001. Biochemical, Genetic, and molecular characterization of wheat endosperm proteins. *Cereal Chemistry*, 78: 635, 646.

- GUARDA, G.; PANDOVAN, S.; DELOGU, G. 2003. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*, 21: 181-192.
- ICC. 1992. Standard methods of the International association for Cereal Chemistry. The Association, Vienna, Austria.
- JOHANSSON, E.; PRIETO-LINDE, M.L.; JÖNSSON, J.Ö. 2001. Effects of Wheat Cultivar and Nitrogen Application on Storage Protein Composition and Breadmaking Quality. *Cereal Chem.*, 78: 19-25.
- KICHEY, T.; HIREL, B.; HEUMEZ, E.; DUBOIS, F.; LE GOUIS, J. 2007. In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilization to the grain correlates with agronomic trait and nitrogen physiological markers. *Field Crops Research*, 102: 22-32.
- LABUSCHAGNE, M.T.; MEINTJES, G.; GROENWALD, F.P.C. 2006. The influence of different nitrogen treatments on the size distribution of protein fractions in hard and soft wheat. *Journal of Cereal Science*, 43: 315-321.
- LE GOUIS, J.; BÉGHIN, D.; HEUMEZ, E.; PLUCHARD, P. 2000. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilisation efficiencies in winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 12: 163-173.
- LERNER, S.E.; ADRIEL, M.R.; PONZIO, N.R.; ROGERS, W.J. 1998. Rol de la relación N/S sobre el rendimiento y algunos parámetros de calidad de trigo pan. IV Congreso Nacional de Trigo. Mar del Plata 11, 12 y 13 de Noviembre. 3-32.
- LÓPEZ- BELLIDO, L.; LÓPEZ-BELLIDO, R.J.; REDONDO R. 2004. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. *Field Crops Research*, 94:86-97.
- MACRITCHIE, F. 1984. Baking Quality of Wheat Flours. *Advances in Food Research*. Chichester C. O. 29: 201-272.
- MICELI, F.; MARTIN, M.; ZERBI, G. 1992. Yield, quality and nitrogen efficiency in winter wheat fertilized with increasing N levels at different times. *Journal Agronomy and Crop Science*, 168: 337-344.
- NOVOA, R.; LOOMIS, R.S. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant and Soil*, 58, 1-3: 177-204.
- ORTIZ-MONASTERIO, J.I.; MANSKE, G.G.B.; VAN GINKEL, M. 2001. Nitrogen and Phosphorus Use Efficiency. Reynolds, M.P., Ortiz-Monasterio J. I., and McNab A. (eds.). *Application of Physiology in Wheat Breeding*. México, D.F.: CIMMYT, 200-207.
- PARK, S.H.; BEAN, S.R.; CHUNG, O.K.; SEIB, P.A. 2006. Levels of protein and protein composition in hard winter wheat flours and the relationship to breadmaking. *Cereal Chemistry*, 83: 418-423.
- PECHANEK, U.; KARGER, A.; GRÖGER, S.; CHARVAT, B.; SCHÖGGL, G.; LELLEY, T. 1997. Effect of Nitrogen Fertilization on Quantity of Flour Protein Components, Dough Properties, and Breadmaking Quality of Wheat. *Cereal Chem.*, 74: 800-805.
- PINILLA QUEZADA, H.; HERRERA FLOODY, L.E. 2008. Efecto de la fertilización nitrogenada tardía en aspectos de calidad panadera en trigo (*Triticum aestivum* L.). *IDESIA N.º 1*, 26: 77-81.
- RON, M. M.; LOEWY, Y. 2000. Modelo de fertilización nitrogenada y fosforada para trigo en el sudoeste bonaerense, Argentina. *Ciencia del Suelo*, 18: 44-49.
- VAN SANFORD, D.A.; MACKOWN, C.T. 1987. Cultivar differences in nitrogen remobilization during grain fill in soft red winter wheat. *Crop Science*, 27: 295-300.