

# CAMBIOS EN LA DINÁMICA DE LOS NUTRIENTES Y LA PRODUCTIVIDAD DEL TRIGO CON DIFERENTE ANTECESOR

FERNÁNDEZ, R.<sup>1</sup>; GALANTINI, J.A.<sup>1</sup>; LANDRISCINI, M.R.<sup>2</sup>; MARINISSEN, A.<sup>3</sup>; ENRIQUE, M.<sup>3</sup>

## RESUMEN

En las regiones semiáridas, la respuesta a la fertilización depende de la disponibilidad de nitrógeno y de la dinámica del agua. El cultivo antecesor puede influir directamente sobre el agua disponible y sobre la magnitud de los procesos de mineralización-inmovilización. Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar el efecto del cultivo antecesor sobre la aplicación de diferentes dosis de N y S, el balance nutricional y la productividad del cultivo de trigo, y comparar las eficiencias en el uso del nitrógeno en cada uno de estos diferentes manejos. Se utilizaron dos antecesores diferentes, maíz regado (MR) y trigo en secano (TS). En cada uno de ellos, se realizaron ensayos de fertilización con N y azufre (S). La diferencia en la producción de materia seca (MS) entre ambos ensayos se minimizó a lo largo del ciclo y con la aplicación de dosis crecientes de N. Las menores diferencias se obtuvieron durante encañazón con la aplicación de 100 kg N ha<sup>-1</sup> y durante madurez fisiológica entre 66 y 76 kg de N ha<sup>-1</sup>. La diferente respuesta a la fertilización en la producción de grano y de MS podría estar relacionada con la disminución de la

---

<sup>1</sup> Comisión Investigaciones Científicas (CIC) – CERZOS- Dpto. Agronomía, UNS, San Andrés 800, 8000 Bahía Blanca. Correo electrónico: jgalanti@criba.edu.ar

<sup>2</sup> CONICET; <sup>3</sup>AE Bahía Blanca del INTA.

inmovilización del N con el tiempo. La aplicación de dosis crecientes de S (desde 0 a 24 kg de S ha<sup>-1</sup>) tuvo un efecto diferente en el rendimiento en cada uno de los ensayos. La producción máxima se obtuvo con 6 (en MR) y 12 (en TS) kg de S ha<sup>-1</sup> y refleja diferencias en la disponibilidad a la siembra debida al cultivo antecesor. La aplicación del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) mostró cambios en el balance relativo de nutrientes y fueron el N y el S los elementos más deficientes. Los resultados pusieron en evidencia la sensibilidad de la metodología DRIS para detectar los cambios en la nutrición del cultivo debidos a la fertilización. La cantidad y calidad de los residuos en cada ensayo se reflejó en la cantidad de materia orgánica particulada y en el N absorbido por la planta. En condiciones de abundante cantidad de residuos, las dosis altas de N favorecieron la mineralización del N de la materia orgánica particulada.

**Palabras clave:** *fertilización, nitrógeno, azufre, antecesor, residuo.*

## SUMMARY

### CHANGES IN NUTRIENT DYNAMICS AND WHEAT PRODUCTIVITY UNDER DIFFERENT PREVIOUS CROPS

In semiarid regions crop response to fertilization is depending on nitrogen availability and water dynamic. Previous crop can influence available water and mineralization- immobilization processes. The objectives of this work were: evaluate the effect of the previous crop on the Nitrogen (N) and Sulphur (S) fertilization, the nutritional balance and wheat productivity, and compare the N use efficiency on different crop managements. Two wheat fertilization (N and S) trials were made on an irrigated corn (MR) and rainfed wheat (TS) fields. Differences in total dry matter (MS) production between trials decreased with N application and with time. The lowest difference was obtained with 100 kg de N ha<sup>-1</sup> during elongation and at physiological maturity with 66 for grain production and 76 kg de N ha<sup>-1</sup> for MS. The effect of S application (from 0 to 24 kg S ha<sup>-1</sup>) was different between trials. Crop production response was the highest with 6 (MR) and 12 (TS) kg of S ha<sup>-1</sup>, according to the S availability at seeding time. The DRIS index showed that N and S were the most deficient nutrients. These results showed the DRIS sensibility to detect wheat nutrition under different situations and crop nutritional status. Differences in residue quality and quantity modified soil particulate organic matter level and N dynamic of crop uptake. Highest N application under abundant crop residue stimulated N mineralization from particulate organic matter.

**Key Words:** *fertilization, nitrogen, sulphur, previous crops, residues.*

## INTRODUCCIÓN

La respuesta de los cereales a la fertilización nitrogenada depende, en gran medida, de los factores climáticos estacionales y es la humedad la más importante en la región semiárida. Con estas condiciones, incrementos de la dosis aplicada aumentan tanto el rendimiento en grano como su contenido proteico. Sin embargo, las aplicaciones excesivas disminuirán los rendimientos mientras el N del grano continuará incrementándose (González Ponce y Salas, 1993). Por lo tanto, el uso irracional de los fertilizantes disminuirá la eficiencia de los nutrientes aplicados y producirá pérdidas en el rendimiento en grano con consecuencias económicas y aumento de los riesgos ambientales. En las regiones subhúmeda y semiárida, la optimización de la fertilización se dificulta debido a la irregularidad de las precipitaciones. En el sur bonaerense, los factores naturales (textura y profundidad de suelo) y antrópicos (características del sistemas de producción utilizado) han demostrado ser los que más afectan los niveles de nitrógeno (N) y azufre (S) en el suelo, así como la disponibilidad para los cultivos (Galantini *et al.*, 2003). Por otro lado, el cultivo antecesor altera el proceso de mineralización-inmovilización de N, tanto por el tipo de residuo que deja como por el período de barbecho que permite realizar. En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, se ha encontrado que, sin el agregado de N y con antecesor maíz (de alta relación C/N), la producción de trigo fue inferior debido a la inmovilización provocada por los rastros (Lázaro, 1996, citado por Studdert *et al.*, 2000).

El azufre es el elemento necesario en mayor cantidad, luego de los macronutrientes principales (N, P y K). En muchos cultivos, su contenido es similar al del fósforo (P) y su importancia en la formación de las proteínas es semejante a la del N y a la del P.

Si bien el contenido de S en el grano es menor que el de N, las sucesivas cosechas, sin reposición con fertilizantes, han llevado a la paulatina disminución del S edáfico.

Las deficiencias de azufre se han convertido en un importante factor limitante para la producción agrícola. Los cereales tienen bajos requerimientos de este nutriente ( $10-30 \text{ kg ha}^{-1}$ ); sin embargo, en trigo es necesario un adecuado nivel para un crecimiento satisfactorio y para asegurar un óptimo nivel de aminoácido que contienen S en el grano, en especial para las variedades panaderas (Withers *et al.*, 1995).

Existe una importante interacción entre las fertilizaciones con N y S. Ambos elementos no pueden ser considerados en forma separada, ya que tienen efectos sobre la calidad del grano, la harina y la masa (Moss *et al.*, 1981).

Resultados previos han demostrado que la respuesta a la aplicación de S en suelos de la región ha sido variable (Galantini *et al.*, 2003). Esta variabilidad estaría relacionada con las condiciones climáticas y con la fertilidad de los suelos, que son los determinantes más importantes del rendimiento.

Sobre la base de los antecedentes expuestos, se planteó la siguiente hipótesis: el antecesor del cultivo de trigo modifica la dinámica de los nutrientes y la respuesta a la aplicación de fertilizante, así como también la eficiencia con que es utilizado.

Los objetivos del presente trabajo fueron 1) evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de N y S al cultivo de trigo con dos antecesores diferentes sobre el balance nutricional y la productividad y 2) comparar las eficiencias en el uso del nitrógeno en cada uno de estos diferentes manejos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en proximidades de la Ruta Nacional 3 km 640, acceso a la localidad de Pehuen Co, a 60 km de Bahía Blanca (Bs.As.). El lote utilizado fue edáficamente y con historia previa semejantes, donde solamente se diferenciaron dos sectores como resultado de la instalación de un pivot central de riego: uno con trigo en secano (TS, con un rendimiento en grano de 3,6 Mg ha<sup>-1</sup> y con menor cobertura) y otro con un maíz regado (MR, con un rendimiento en grano de 9,2 Mg ha<sup>-1</sup> y con una abundante cantidad de residuos).

En el año 2002, se sembró trigo (*Triticum aestivum* L., cv. Klein Cacique) en todo el lote y se llevaron a cabo dos ensayos de fertilización en los sitios con diferente antecesor, teniendo en cuenta la mayor proximidad y homogeneidad posible, donde el antecesor fue la variable principal. El diseño experimental fue de 3 bloques aleatorizados con tres repeticiones en parcelas de 36 m<sup>2</sup>. Los tratamientos consistieron en la aplicación durante el inicio del macollaje de dosis crecientes de nitrógeno (0, 25, 50 y 100 kg ha<sup>-1</sup>) y dosis combinadas de 50 kg N ha<sup>-1</sup> con 0, 3, 6, 12 o

24 kg S ha<sup>-1</sup>. Como fuente de N, se utilizó urea (46% N) y, como fuente azufrada, sulfato de amonio (21% N y 24% S); para las dosis de N, se tuvo en cuenta el N aportado por el sulfato de amonio.

Para la caracterización física y química de los suelos, se tomaron muestras al momento de la siembra, a las profundidades 0-10 y 10-20 cm. Éstas se secaron y tamizaron por 2 mm. Posteriormente se determinaron carbono orgánico (CO, por combustión seca a 1500 °C con un analizador automático LECO), nitrógeno total (Nt, Mulvaney, 1996), fósforo extractable (Pe, Bray y Kurtz, 1945) y pH (relación suelo-agua 1:2,5). Se realizó un fraccionamiento por tamaño de partícula en húmedo, previa dispersión mecánica, utilizando un tamiz de 0,1 mm (Galantini, 2005). Se obtuvieron las fracciones fina (FF, que contiene arcilla, limo, arenas muy finas y la MO más transformada o MOM) y gruesa (FG, que contiene los diferentes tamaños de arenas y la MO particulada o MOP). Los contenidos de MO en ambas fracciones fueron determinadas utilizando la metodología ya mencionada.

Se tomaron muestras de suelo a la siembra y a la cosecha, a las profundidades 0-20, 20-40 y 40-60 cm en las que se determinó la humedad, el contenido de formas inorgánicas de nitrógeno (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, nitrógeno de nitratos y de amonio, Mulvaney, 1996), azufre del suelo como sulfatos solubles y adsorbidos, usando como extractante (Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O) de 500 ppm de P (Anderson *et al.*, 1992) y determinándose el S de los extractos en un espectrómetro de emisión atómica por plasma (ICP) (Kirkbright *et al.*, 1992).

Se tomaron muestras de suelo no disturbadas, por bloque y por profundidad, para la determinación de la densidad aparente (DA). En éstas se determinó el agua retenida entre 330 (capacidad de campo, CC) y 1500 kPa (punto de marchitez permanente, PMP), mediante olla y membrana de presión (Klute, 1986). Se calculó la capacidad de agua útil (CAU), como la diferencia entre CC y PMP; el agua útil (AU) en cada momento de muestreo, como el contenido de humedad menos el PMP; el porcentaje de agua útil (PAU) como la relación entre el AU en el momento de muestreo y la CAU (Iglesias *et al.*, 1990).

Para evaluar la dinámica del agua, se determinó el contenido de humedad y se calculó el agua útil mensualmente durante el ciclo del cultivo.

Se realizaron muestreos de materia seca total aérea (MS) y se cosecharon 3 submuestras de 1 m lineal en cada tratamiento y bloque en los siguientes momentos del ciclo del cultivo del trigo:

2-5 hojas: Feekes (F) 5.0 (Miller, 1992)

Encañazón: F 10.0

Madurez fisiológica: F 11.0

Las plantas fueron molidas y se determinó Nt (método semimicro Kjeldahl, Bremner, 1996) y P, K y S (digestión húmeda única con ácido nítrico y perclórico, Johnson y Ulrich, 1959) y posterior determinación en un espectrómetro de emisión atómica por plasma (ICP).

En base a la concentración de N, P, K y S en planta durante los muestreos realizados en 2-5 hojas y encañazón, se aplicó la metodología «Diagnosis and Recommendation Integrated System» (DRIS, Sumner, 1981, 2000). Con ella se obtuvieron los índices para cada uno de los elementos mencionados, el Orden de Requerimientos Nutricionales (ORN) y el Índice de Balance Nutricional (IBN). Matemáticamente, los índices se basan en la desviación media de cada relación respecto a su valor óptimo. Por ello el índice DRIS óptimo debería ser cero para cualquier nutriente. Los índices negativos indican deficiencias, mientras que los positivos indican suficiencias relativas entre los nutrientes considerados en el diagnóstico (Walworth y Sumner, 1987).

En el muestreo realizado durante madurez fisiológica, se determinaron los rendimientos de MS y de grano, los parámetros de rendimiento (espigas m<sup>-2</sup>, peso de 1000 granos, granos por espiga) y el índice de cosecha (kg de grano producido/kg de materia seca total aérea). El grano y la paja fueron molidos, y se le determinó el contenido de nitrógeno, a partir de los cuales se calcularon las eficiencias de uso de nitrógeno (EUN). Para evaluar la EUN, se han sugerido dos componentes primarios, por un lado, la eficiencia de absorción ( $N_{\text{planta}}/N_{\text{disponible}}$ ) y, por otro, la eficiencia con que el N absorbido es llevado al grano ( $N_{\text{grano}}/N_{\text{planta}}$ ) (Moll *et al.*, 1982). Sobre esta base y de acuerdo con las definiciones de otros autores (Fageria, Baligar, 2005; López-Bellido *et al.*, 2005; Galantini, Landriscini, 2007), se calcularon:

La eficiencia en el uso del N disponible (EUN disp) para la producción de grano y MS

$$\begin{aligned} \text{EUNdisp}_g &= \text{Grano}_x / N_{\text{disp}} \\ \text{EUNdisp}_{\text{MS}} &= \text{MS}_x / N_{\text{disp}} \end{aligned}$$

La eficiencia en la traslocación del N absorbido o índice de cosecha de N (ICN)

$$\text{ICN} = \text{N-Grano}_x / \text{N-MS}_x$$

Donde: N, nitrógeno (kg ha<sup>-1</sup>); Grano, rendimiento en grano (kg ha<sup>-1</sup>); MS, producción de materia seca total a cosecha (grano y paja en kg ha<sup>-1</sup>); N-Grano y N-MS, contenido de N en el grano y en la MS (kg ha<sup>-1</sup>); x, tratamientos (dosis de fertilizante).

El ensayo se analizó estadísticamente mediante análisis de la varianza (ANVA) y, cuando hubo diferencias entre tratamientos, se empleó el test de Diferencias Mínimas Significativas (DMS 5% y al 1%) para comparación de medias.

## RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de algunas propiedades químicas y de la fracción fina del suelo (arcilla, limo y arenas muy finas), al inicio de la experiencia, mostró escasas diferencias entre ambos ensayos (Tabla 1). La diferencia más importante se halló en la cantidad de MOP que, en MR, duplicó los valores observados en TS, confirmando la distinta cobertura de residuos debidas los antecesores. Sobre la base de los rendimientos de ambos antecesores, se estimó un aporte de residuos entre 9-10 Mg ha<sup>-1</sup> de maíz y entre 4-5 Mg ha<sup>-1</sup> de trigo.

El contenido de humedad y la disponibilidad de N y S al momento de la siembra presentaron ligeras diferencias entre ensayos, las que, si bien

**Tabla 1.** Análisis químico y físico del suelo a la siembra.

Prof.	TS						MR					
	FF	CO	MOP	Nt	Pe	pH	FF	CO	MOP	Nt	Pe	pH
			%		mg kg <sup>-1</sup>				%		mg kg <sup>-1</sup>	
0-10	89,0	1,50	0,16	0,147	21,3	6,6	89,8	1,47	0,40	0,158	21,0	6,6
10-20	89,7	1,16	0,06	0,152	9,0	6,5	89,9	1,35	0,12	0,147	13,2	6,6
0-20	89,3	1,33	0,12	0,150	15,2	6,6	89,9	1,41	0,26	0,153	17,1	6,6

FF, fracción fina (0-0,1 mm, arcilla, limo, arena muy fina y materia orgánica asociada a la fracción mineral); CO, carbono orgánico; MOP, materia orgánica particulada; Nt, nitrógeno total; Pe, fósforo extractable por Bray-Kurtz.

no pueden ser consideradas estadísticamente, marcan tendencias a tener en cuenta (Tabla 2).

Los menores niveles de N disponible, principalmente en forma de amonio, se observaron MR que sugieren su posible inmovilización en la fracción orgánica (residuos y microorganismos). Esto coincide con lo observado por Studdert *et al.* (2000) en la secuencia maíz-maíz-trigo. El nivel de azufre en forma de sulfatos diferenció claramente a ambos ensayos y se observaron valores menores en TS y mayores en MR al límite de 10 µg g<sup>-1</sup>, considerado un nivel crítico de respuesta a la fertilización (San Martín y Echeverría, 1995). Esta diferencia hizo que la cantidad de sulfatos disponible en el perfil fuera aproximadamente un 50% mayor en MR que en TS. Teniendo en cuenta la MS producida y el consumo de nutrientes de ambos cultivos, se pondría en evidencia un significativo efecto del cultivo antecesor sobre la disponibilidad de azufre.

Si bien las precipitaciones durante el barbecho no fueron abundantes, fueron suficientes como para enmascarar el consumo realizado por el maíz, por lo que no se observaron diferencias significativas en el agua almacenada en el suelo al momento de la siembra (Tabla 2). Durante el ciclo del cultivo, las lluvias fueron abundantes y bien distribuidas (Figura 1). En este período, la cantidad de agua útil para el cultivo varió entre 44 y 130 mm y pudo considerarse adecuada durante la mayor parte del ciclo. La humedad del suelo y las precipitaciones mensuales fueron adecuadas para satisfacer la necesidad teórica de los cereales de invierno (Nc) en la región (Paoloni y Vázquez, 1985).

**Tabla 2.** Porcentaje de humedad y contenido de nutrientes disponibles del suelo a la siembra.

Profundidad	Hum %	TS			Hum %	MR		
		N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg kg <sup>-1</sup>	S-SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>		N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg kg	S-SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
0-20	15,7	8,9	nd	8,4	17,5	12,3	nd	12,1
20-40	19,1	5,8	5,8	8,1	21,0	5,1	nd	12,5
40-60	19,2	5,8	2,5	8,3	20,0	0	nd	10,4
	mm	kg ha <sup>-1</sup>			mm	kg ha <sup>-1</sup>		
0-60	62,0	53,2	21,6	64,5	74,1	45,4	nd	91,0

nd, no detectados; Hum, humedad % en peso y en mm, milímetros de agua; N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Nitrógeno de nitratos y de amonio respectivamente; S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, azufre de sulfatos.

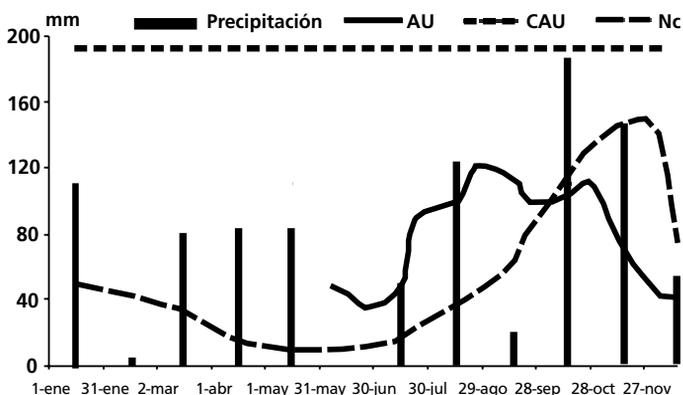


Figura 1. Distribución mensual de las precipitaciones, agua útil (AU), capacidad de agua útil y necesidad teórica del cultivo de trigo (Nc) durante el año en estudio

### Producción del cultivo

La Tabla 3 presenta la producción de MS en diferentes momentos del ciclo de cultivo en ambos ensayos. En los tres momentos analizados, el tratamiento testigo en TS produjo mayor cantidad de MS que el testigo en MR. La diferencia en la producción de materia seca entre ambos ensayos se minimizó a lo largo del ciclo y con la aplicación de dosis crecientes de N. Las menores diferencias se observaron con la aplicación de 100 kg de N ha<sup>-1</sup> en encañazón, y con dosis entre 65-75 kg de N ha<sup>-1</sup> en madurez fisiológica.

Estos resultados pondrían de manifiesto un importante efecto de los residuos de la cosecha del maíz bajo riego, en el sitio MR, en forma coincidente con valores más elevados de MOP. Estos residuos habrían producido una importante inmovilización del N disponible causando deficiencias en el trigo posterior, que se reflejaron en el menor rendimiento de MS.

El efecto de la aplicación de dosis crecientes de S (desde 0 a 24 kg de S ha<sup>-1</sup>) fue diferente en cada uno de los ensayos. Se observaron curvas de respuesta donde la producción máxima de MS y de grano se obtuvo con dosis de 6 (en MR) y 12 (en TS) kg de S ha<sup>-1</sup>. Esta respuesta concuerda con las diferencias de disponibilidad observadas a la siembra y podrían estar relacionadas con un posible desbalance nutricional, ya que el déficit de N por inmovilización podría haberse acentuado por exceso de S (Zhao *et al.*, 1999).

**Tabla 3.** Producción de materia seca total aérea (MS) a lo largo del ciclo del cultivo y rendimiento en grano (kg ha<sup>-1</sup>) con diferentes dosis de N y S.

TS								
Dosis (kg ha <sup>-1</sup> ) Estadio	N0	25N	50N	100N	50N+6S	50N+12S	50N+24S	DMS (P<0.05)
2-5 Hojas	77							
Encañazón	1361	1317	1851	2179	1757	2209	2299	388
			Madurez fisiológica					
MSTA	6887	7400	8075	10360	9174	11336	8206	1301
Grano	2629	2943	3440	4199	3799	4662	3284	495

MR								
Dosis (kg ha <sup>-1</sup> ) Estadio	N0	25N	50N	100N	50N+6S	50N+12S	50N+24S	DMS (P<0.05)
2-5 Hojas	56*							
Encañazón	679 *	737 **	1245 **	1825 ns	1711 ns	1459 *	1346 **	274
			Madurez fisiológica					
Msta	5175 **	5941 **	7296 ns	11371 ns	9308 ns	7999 **	8873 ns	1474
Grano	2316 ns	2795 ns	3146 ns	5024 *	3999 ns	3796 **	3833 *	619

DMS, diferencia mínima significativa (p<0,05) para los tratamientos dentro de cada ensayo; (ns): no significativo, (\*) significativo (p< 0,05), (\*\*): significativo (p<0,01) entre ensayos para la misma dosis de fertilizante.

### Nutrición del cultivo

La concentración de N, P, K y S en planta durante encañazón presentó variaciones pequeñas entre tratamientos y fue N el nutriente más variable (Tabla 4). La concentración en planta es la relación entre el contenido nutricional y la cantidad de MS producida, cambiando marcadamente con la edad del cultivo, así como con la disponibilidad de nutrientes y de humedad (Galantini *et al.*, 2000). Por este motivo, es un indicador menos eficiente para evaluar el balance nutricional que la cantidad absorbida (kg ha<sup>-1</sup>) o los índices DRIS (Sumner, 1981).

En ambos ensayos, la aplicación de dosis crecientes de N produjo un aumento la cantidad de N, P, K y S absorbidos por el cultivo. La aplicación de S, junto con la dosis de 50N, produjo efectos diferentes entre ensayos. En TS se observó una tendencia creciente en el contenido de P y S y variable en el contenido de N y K. En el ensayo MR, que presentó mayor disponibilidad de S-SO<sub>4</sub><sup>-</sup> al momento de la siembra, se observaron los contenidos más altos de N, P, K y S con la aplicación de 6 kg de S ha<sup>-1</sup> y fue disminuyendo con las dosis mayores. Evidentemente, el exceso de S dispo-

**Tabla 4.** Concentración y contenido de nutrientes en plantas de trigo durante encañazón en los ensayos TS y MR.

Dosis de Fertilizante	TS							
	N	P	K	S	N	P	K	S
	%				Kg ha <sup>-1</sup>			
N0	2,90	0,20	2,80	0,18	40,1	2,8	37,6	2,5
N25	3,14	0,24	3,07	0,19	41,4	3,2	40,4	2,6
N50	3,09	0,21	2,89	0,18	57,2	3,9	53,5	3,4
N100	3,64	0,25	3,23	0,21	79,3	5,3	70,4	4,6
N50+ 6S	2,96	0,24	2,84	0,22	52,0	4,2	49,8	3,9
N50+12S	3,08	0,23	3,33	0,19	68,0	5,1	73,6	4,1
N50+24S	3,09	0,23	2,91	0,24	71,1	5,4	66,9	5,5
DMS (p<0,05)					<b>5,1</b>	<b>0,6</b>	<b>18,0</b>	<b>1,0</b>
MR								
N0	2,17	0,30	3,09	0,19	14,7 **	2,0 ns	21,0 **	1,3 *
N25	2,60	0,28	3,28	0,20	19,2 **	2,1 **	24,2 **	1,5 **
N50	2,74	0,25	3,47	0,21	34,1 **	3,2 **	43,2 ns	2,6 ns
N100	3,81	0,22	4,27	0,23	69,6 *	4,1 **	77,9 ns	4,2 ns
N50+ 6S	3,70	0,24	4,37	0,22	63,3 ns	4,1 ns	74,7 **	3,8 ns
N50+12S	3,10	0,26	4,33	0,23	45,2 *	3,8 **	63,2 ns	3,3 **
N50+24S	2,96	0,25	3,72	0,22	39,8 **	3,4 **	50,1 ns	3,0 *
DMS (p<0,05)					<b>12,0</b>	<b>0,4</b>	<b>11,0</b>	<b>0,5</b>

DMS, diferencia mínima significativa (p<0,05) para los tratamientos dentro de cada ensayo; (ns): no significativo, (\*) significativo (p< 0,05), (\*\*): significativo (p<0,01) entre ensayos para la misma dosis de fertilizante.

nible produjo un efecto negativo sobre la absorción de los nutrientes considerados, posiblemente asociado a las diferencias en la producción de MS ya comentada.

Un aspecto importante es que, tanto la aplicación de N como en algunos casos de S, mejoraron el rendimiento y la nutrición del cultivo. Parte de los nutrientes absorbidos fueron reciclados al suelo y aumentaron la disponibilidad futura, y la otra parte fue exportada del sistema a través de la cosecha. Esto mejoraría el estado físico y químico del suelo, por un lado, pero también aceleraría la exportación de los nutrientes del sistema, principalmente de aquellos no aplicados, por el otro (Galantini *et al.*, 2003).

### Balance DRIS

La aplicación de los índices DRIS permitió determinar el balance nutricional relativo entre los nutrientes considerados (N, P, K y S) y establecer el «orden de requerimientos nutricionales» entre ellos. Los índices DRIS del testigo en TS indicaron que el N fue el nutriente más requerido por el trigo (valor más negativo), seguido por el S en la mayoría de los casos (Tabla 5). El aumento de la dosis de N produjo una disminución de la deficiencia relativa de N (valores menos negativos) y un aumento de la deficiencia relativa de S (valores más negativos). El orden de deficiencias relativas pasó de tener al N en el primer lugar (N0) a tener al S (N100). Por otro lado, la aplicación de S produjo una disminución del índice DRIS de S con un incremento en los índices de N y de P. En este ensayo, el mejor

**Tabla 5.** Índices DRIS para N-P-K-S, IBN y ORN en plantas de trigo en encañazón en los ensayos TS y MR.

Dosis de Fertilizante	Índices DRIS				IBN	ORN
	N	P	K	S		
<b>TS</b>						
N0	-34	14	29	-9	86	N > S > P > K
N25	-22	3	33	-14	72	N > S > P > K
N50	-19	-4	43	-20	86	S > N > P > K
N100	-16	-12	45	-17	90	S > N > P > K
N50+6S	-24	-7	46	-15	91	N > S > P > K
N50+12S	-20	-17	46	-10	92	N > P > S > K
N50+24S	-17	-12	36	-7	72	N > P > S > K
<b>MR</b>						
N0	-30	3	35	-8	77	N > S > P > K
N25	-20	8	24	-12	63	N > S > P > K
N50	-18	4	25	-11	58	N > S > P > K
N100	-14	6	23	-16	58	S > N > P > K
N50+ 6S	-9	-7	27	-11	54	S > N > P > K
N50+12S	-23	3	32	-12	70	N > S > P > K
N50+24S	-24	3	17	3	47	N > S > P > K

TS, trigo de secano; MR, maíz bajo riego; IBN, índice de balance nutricional; ORN, Orden de requerimiento nutricional

balance desde el punto de vista del azufre, se logró con la combinación de 50 kg de N y la dosis más alta de S, sin embargo, aparece el P como un nuevo elemento para el desbalance, es decir, el nuevo factor limitante.

En el ensayo MR, el aumento de la dosis de N produjo la disminución de su deficiencia relativa y el aumento de la deficiencia relativa de S y, en coincidencia con las diferencias en disponibilidad inicial, el S pasó a ser el nutriente más deficiente con la dosis de 50 kg de N ha<sup>-1</sup> (N50).

El aumento de la dosis de S produjo una disminución de la deficiencia relativa de este elemento y el aumento de la deficiencia relativa del N. Esto coincidió con los elevados valores de S disponibles iniciales, los que habrían acentuado el desbalance entre el N y el S.

Los resultados ponen en evidencia la sensibilidad de la metodología DRIS para detectar los cambios en la nutrición del cultivo en situaciones con diferentes niveles de disponibilidad, confirmando estudios previos (Landriscini *et al.*, 1997, 2002). También se destaca la importancia de la relación N:S y de la aplicación de S para un eficiente uso del N.

Al utilizar el IBN como una medida del balance nutricional total de la planta, se pudo observar que 1) los valores más altos fueron en TS, posiblemente por el desbalance en la relación N:S y 2) la mayor variabilidad de los IBN fue en MR, posiblemente por las mayores diferencias en la nutrición entre tratamientos.

### **Parámetros de rendimiento**

La cantidad de espigas m<sup>-2</sup> aumentó en ambos ensayos en la medida que la disponibilidad de N fue mayor (Tabla 6). En forma semejante a lo analizado previamente, la cantidad de espigas m<sup>-2</sup> en MR fue menor que en TS en las dosis más bajas de N y fue mayor con la dosis de 100 kg de N ha<sup>-1</sup>. Las dosis de S aplicadas, siempre combinadas con 50 kg N ha<sup>-1</sup>, reflejaron los cambios en la MS, la mayor cantidad de espigas m<sup>-2</sup> se encontró con 12 kg de S ha<sup>-1</sup> en TS y con 6 kg de S ha<sup>-1</sup> en MR.

Analizando los granos por espiga, se observó que en TS las espigas de todos los tratamientos fertilizados presentaron mayor cantidad de granos, pero las diferencias entre las dosis y los nutrientes fueron pequeñas. En MR la cantidad de espigas del testigo fue menor que en TS y sólo se observaron diferencias con la aplicación de dosis altas de fertilizante (N100 y N50+24S).

El peso de los granos fue poco variable entre los ensayos y los tratamientos. Se observó una tendencia a granos con mayor peso con altas

**Tabla 6.** Parámetros de rendimiento en los ensayos TS y MR.

Dosis (kg ha <sup>-1</sup> ) Parámetro	N0	25N	50N	100N	50N+6S	50N+12S	50N+24S	DMS (P<0,05)
<b>TS</b>								
Espigas m <sup>2</sup>	352	345	402	472	429	495	402	48
Granos espiga	22	24	24	25	25	26	23	2,5
P <sub>1000</sub>	34	35	35	35	36	36	35	3,0
IC	0,38	0,40	0,43	0,41	0,41	0,41	0,40	0,04
	<b>MR</b>							
Espigas m <sup>2</sup>	292 **	314 ns	393 ns	545 *	457 ns	453 *	438 ns	60
Granos espiga	24 ns	23 ns	24 ns	27 ns	26 ns	25 ns	26 ns	2,8
P <sub>1000</sub>	33 ns	33 ns	34 ns	34 ns	34 ns	34 ns	34 ns	2,5
IC	0,45 *	0,47 *	0,43 ns	0,44 ns	0,43 ns	0,47 *	0,43 ns	0,05

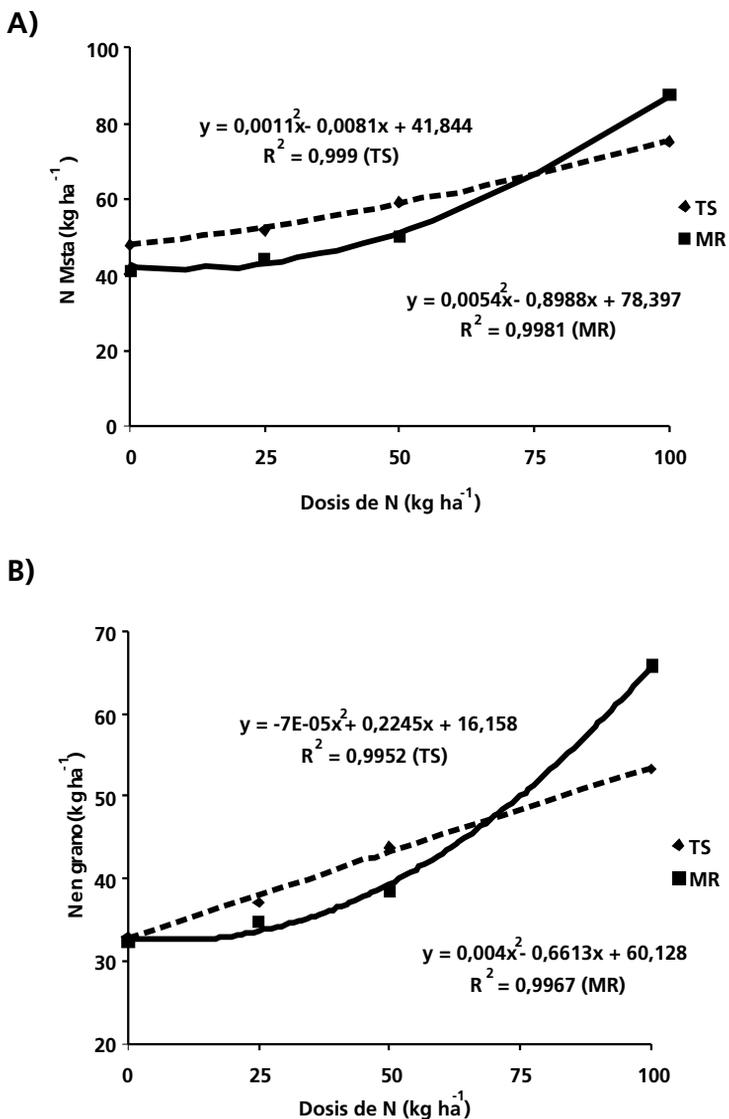
P1000, peso de mil granos (g); IC, Índice de cosecha; MS, diferencia mínima significativa (p<0,05) para los tratamientos dentro de cada ensayo; (ns) : no significativo, (\*) significativo (p< 0,05), (\*\*): significativo (p<0,01) entre ensayos para la misma dosis de fertilizante.

dosis de N y con las aplicaciones combinadas de S. La adecuada distribución de las precipitaciones pudo ser determinante de la escasa respuesta observada en este parámetro, sin embargo, ésta debería confirmarse en diferentes situaciones climáticas.

En general, las condiciones climáticas benéficas del año en estudio, la abundante disponibilidad hídrica durante la mayor parte del ciclo del cultivo, no permitieron alcanzaran los rendimientos máximos potenciales con las dosis utilizadas. El factor limitante de la producción se encontró en la etapa inicial del cultivo, durante la cual la disponibilidad de N condicionó la cantidad de espigas fértiles.

### Balace de nitrógeno a cosecha

En ambos ensayos, el aumento de la dosis de N produjo un incremento en el contenido de N en planta, tanto en grano como en la MS (Figura 2). Si bien presentaron curvas diferentes, en ninguno de los ensayos se alcanzó la máxima acumulación de N. La cantidad de N, tanto en grano como en MS, tendió a ser más bajo en MR con las dosis bajas y más alto con la aplicación de 100 kg de N, que en TS. Posiblemente sea una consecuencia de la inmovilización con dosis bajas y la estimulación de la mineralización del mayor contenido de MOP con la dosis alta. El cruce de las curvas (punto de equivalencia donde el fertilizante compensó la inmovilización)



**Figura 2.** Nitrógeno en la materia seca total (a) aérea y en grano (b) con distintas dosis de N en los ensayos TS y MR.

se produjo con 66 y 76 kg de N ha<sup>-1</sup> para el N en grano y en MS, respectivamente. Las diferencias entre la respuesta en grano y en MS podría estar relacionada con la disminución de la inmovilización con el tiempo. Considerando los 30 kg de N ha<sup>-1</sup> adicionales en TS al momento de la siembra, se podría estimar que la inmovilización al final del ciclo fue entre 36 y 46 kg N ha<sup>-1</sup>. Por otro lado, la mayor eficiencia en la producción de grano en MR estaría vinculada con el aporte de N proveniente de la mayor cantidad de MOP, en condiciones de buena humedad durante el llenado del grano. Con la dosis máxima, 100 kg de N ha<sup>-1</sup>, se encontró 15 kg más de N en la MS en MR, posiblemente originado en la mineralización de la MOP.

El índice de cosecha de N (Tabla 7) en TS mejoró con la aplicación de fertilizante, mientras que en MR fue constante. Esto posiblemente se debió al menor contenido de N en MR, como consecuencia de la inmovilización y a las buenas condiciones de humedad que favorecieron el traslado del N al grano.

**Tabla 7.** Contenido de N en madurez fisiológica. Eficiencia en el uso de nitrógeno.

TS								
Dosis (kg há <sup>-1</sup> )	N0	25N	50N	100N	50N+6S	50N+12S	50N+24S	DMS (P<0,05)
Ndisp(0-60)	75	100	125	175	125	125	125	
kg N grano	32,9	37,1	43,8	53,3	49,8	62,1	46,4	5,1
kg N MS	47,8	51,9	59,0	75,2	72,0	88,4	64,0	8,8
ICN	68,9	71,5	74,3	70,9	69,1	70,3	72,5	ns
EUN disp MS	63,8	51,9	47,2	43,0	57,6	70,7	51,2	
EUN disp grano	43,9	37,2	35,0	30,5	39,8	49,7	37,1	

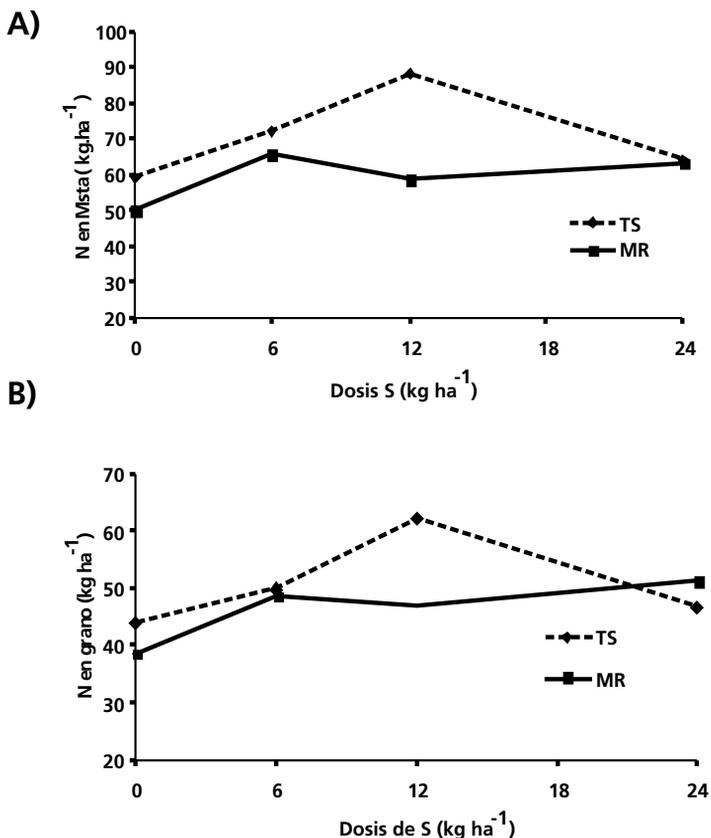
  

MR								
Dosis (kg há <sup>-1</sup> )	N0	25N	50N	100N	50N+6S	50N+12S	50N+24S	DMS (P<0,05)
Ndisp(0-60)	45	70	95	145	95	95	95	
kg N grano	32,4 ns	34,8 ns	38,5 ns	65,9 **	48,8 ns	47,0 *	51,3 ns	5,56
kg N MS	41,1 *	44,1 *	50,1 *	87,8 *	65,7 ns	58,8 **	63,2 ns	7,17
ICN	78,8 **	78,8 *	76,9 *	75,1 ns	74,4 ns	79,9 **	81,1 ns	ns
EUN disp MS	91,3	63,1	52,7	60,5	69,1	61,9	66,5	
EUN disp grano	71,9	49,7	40,5	45,5	51,4	49,43	53,9	

Ndisp(0-60), N disponible a la siembra; kg N grano, contenido de N en grano (kg ha<sup>-1</sup>); kg N MS, contenido de N en la materia seca total aérea (kg ha<sup>-1</sup>); ICN, índice de cosecha de N; EUN disp MS, eficiencia en el uso del N disponible por la materia seca; EUN disp grano, eficiencia de uso del N disponible por el grano; DMS, diferencia mínima significativa (p<0,05) para los tratamientos dentro de cada ensayo; (ns): no significativo, (\*) significativo 0,05, (\*\*): significativo 0,01 entre ensayos para la misma dosis de fertilizante.

El aumento de la dosis de N disminuyó la eficiencia con que la materia seca del cultivo absorbió el N disponible (N a la siembra más el fertilizante) en ambos ensayos. Los valores más altos de eficiencia observados en MR sugieren un aporte extra de N (mineralizado de la MO lábil durante el cultivo) de mayor importancia en este ensayo, en forma coincidente con los valores más altos de MOP.

Para una misma disponibilidad de N, la aplicación de S tendió a aumentar la cantidad de N tomado por el cultivo tanto en el grano como en la MS (Figura 3). Esto mejoró el ICN en ambos ensayos y se obtuvieron los máxi-



**Figura 3.** Nitrógeno en la materia seca total (a) aérea y en grano (b) con distintas dosis de S en los ensayos TS y MR para una misma dosis de N aplicada (50 kg de N ha<sup>-1</sup>).

mos valores con la dosis más alta. Sin embargo, la EUN mejoró al aplicar 12 kg de S ha<sup>-1</sup> en TS y 6 kg de S ha<sup>-1</sup> en MR. Es decir, se podrían diferenciar dos efectos diferentes del S sobre el N, por un lado, la cantidad de azufre mejoró la translocación del N al grano y, por el otro, el mejor balance N:S mejoró la eficiencia con que el cultivo usó el N disponible.

## CONCLUSIONES

El cultivo antecesor tiene un efecto significativo sobre la dinámica y la disponibilidad de N y S para el cultivo siguiente. Cuando es maíz con alta producción de residuos de cosecha, se produce una inmovilización adicional de N, que es variable con el tiempo, y la cosecha fue equivalente entre 36 y 46 kg de N ha<sup>-1</sup>.

La metodología DRIS permite poner en evidencia las diferencias en el balance de los nutrientes estudiados en las plantas de trigo.

El antecesor también modificó la disponibilidad de S y la respuesta a la fertilización, y fue la secuencia trigo-trigo la que presentó un mayor desbalance nutricional. La fertilización con S produjo dos efectos diferentes sobre la dinámica del N: 1) el aumento de la dosis favorecería la translocación del N al grano y 2) al mejorar la relación N:S aumentaría la eficiencia en el uso del N disponible.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, G.; LEFROY, R.; CHINOIM, N.; BLAIR, G. 1992. Soil Sulphur Testing. Sulphur in Agriculture. 16, 6-14.
- BRAY, R.H.; KURTZ, L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soils. Soil Sci. 59, 39-45.
- BREMNER, J.M. 1996. Nitrogen - Total. 1085-1123. In Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. (Ed. D.L. Sparks), SSSA-ASA, Madison, WI, USA.
- FAGERIA N.K.; BALIGAR V.C. 2005. Enhancing Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants. Advances in Agronomy 88: 97-185.
- GALANTINI J.A. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: Manual «Información y Tecnología en los Laboratorios de Suelos para el Desarrollo Agropecuario Sostenible» (Eds. L. Marban y S. Ratto) de la AACCS. Capítulo IV parte 2, 95-106.
- GALANTINI J.; LANDRISCINI M.R. 2007. Momento de fertilización y la dinámica del

- N: Un caso de estudio. En: «La Siembra Directa en los Sistemas Productivos del Sur y Sudoeste Bonaerense» (En prensa).
- GALANTINI, J.A.; LANDRISCINI, M.R.; FERNÁNDEZ, R. 2003. Azufre en suelos: Manejo y materia orgánica en el Sur. Revista Fertilizar 31, 20-25.
- GALANTINI, J.A.; LANDRISCINI, M.R.; ROSELL, R.A. 2000. Patrones de acumulación, balance y partición de nutrientes en diferentes sistemas de producción de trigo. RIA 29, 99-110.
- GONZÁLEZ PONCE, R.; SALAS, M.L. 1993. Nitrogen use efficiency by winter barley under different climatic conditions. J. Plant Nutr. 16, 1249-1261.
- IGLESIAS, J.O.; GALANTINI, J.A.; ANDRIULO, A.E.; ROSELL, R.A.; GLAVE, A. 1990. Sistemas de producción con trigo en el Sudoeste bonaerense. III. El agua del suelo y el crecimiento del cultivo. Actas II congreso Nacional de Trigo, Pergamino I, 226-235.
- JOHNSON, C. M.; ULRICH, A. 1959. Analytical methods. For use in plant analysis. Calif. Agric. Exp. St. Bull. 766, 26.
- KIRKBRIGHT, G.F.; WARD, E.; WEST, T.S. 1972. Determination of sulphur and phosphorus by atomic emission spectrometry with induction- coupled high frequency plasma source. Anal. Chim. Acta 62, 241-51.
- KLUTE, A. 1986. Water Retention: Laboratory Methods En: Arnold Klute (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1 pp. 635-661.
- LANDRISCINI, M.R; GALANTINI, J.A.; ROSELL, R.A. 1997. Determinación de normas para la aplicación del sistema DRIS en el cultivo de trigo de la región semiárida Bonaerense. Ciencia del Suelo 15, 17-21.
- LANDRISCINI, M.R.; GALANTINI, J.A.; ROSELL, R.A. 2002. Aplicación de la metodología DRIS al cultivo de trigo en la región semiárida pampeana: 2. Balance N-P-K-S. Investigaciones Agronómicas. INPOFOS Cono Sur, 12, 6-11.
- LÓPEZ-BELLIDO L.; LÓPEZ-BELLIDO R.; REDONDO R. 2005. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split N application. Field Crops Res. 94: 86-97.
- MILLER, T.D. 1992. Growth stages of wheat. Better crops with plant food. Potash & Phosphate Institute. 76, 12.
- MOLL R.H., KAMPRATH E.J., JACKSON W.A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency to nitrogen utilization. Agronomy Journal 74: 562-564.
- MOSS, H.J.; WRIGLEY, C.W.; MAC RITCHIE, F.; RANDALL, P.J. 1981. Sulfur and Nitrogen fertilizer effects on wheat. II. Influence on grain quality. Aust. J. Agric. Res. 32, 203.
- MULVANEY, R.L. 1996. Nitrogen Inorganic forms. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Sparks DL (Eds.), SSSA-ASA, Madison, Winsconsin, USA. pp. 1123-1184.
- PAOLONI, J.D.; VAZQUEZ, R. 1985. Necesidades teóricas de agua de los cereales de

- invierno y probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones como base para el balance hídrico. *Anales Edaf. Agrobiol.* XLIII (11-12), 1545-1556.
- SAN MARTÍN, N.F.; ECHEVERRÍA, H.E. 1995. Sulfato en suelos del sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 13, 95-97.
- STUDDERT, G.A.; CARABACA, L.S.; ECHEVERRÍA, H.E. 2000. Estimación del nitrógeno mineralizado para un cultivo de trigo en distintas secuencias de cultivos. *Ciencia del Suelo* 18, 17-27.
- SUMNER, M.E. 1981. Diagnosing the sulfur requirement of corn and wheat using foliar analysis. *Agron. J.*, 45, 87-90.
- SUMNER, M.E. 2000. Diagnóstico de los requerimientos de fertilización de cultivos extensivos. INPOFOS Cono Sur 9, archivo agronómico N 5.
- WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Adv. Soil Sci. B. A. Stewart ( Ed. ). Springer-Verlag. New York. Inc.* 6:149-188.
- WITHERS, P.J.A.; TYTHERLEIGH, A.R.J.; O´DONNELL, F.M. 1995. Effect of sulphur fertilizers on the grain yield and sulphur content of cereals. 125, 317-324.
- ZHAO, F.J.; SALMON, S.E.; WITHERS, P.J.A.; MONAGHAN, J.M.; EVANS, E.J.; SHEWRY, P.R.; McGRATH, S.P. 1999. Variations in the breadmaking quality and rheological properties of wheat in relation to sulphur nutrition under field conditions. *J. Cereal Sci.* 30, 19-31.