

# RESPUESTA DEL CULTIVO DE TRIGO AL AGREGADO DE AZUFRE EN EL SUDESTE BONAERENSE

NAHUEL IGNACIO REUSSI CALVO<sup>1</sup>; HERNÁN EDUARDO ECHEVERRÍA<sup>2</sup> & HERNÁN SAINZ ROZAS<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>CONICET; <sup>2</sup>Unidad Integrada FCA UNMDP-INTA EEA Balcarce. C.C.276, (7620) Balcarce, Argentina.  
Tel. 02266-439100. E-mail: hecheverr@balcarce.inta.gov.ar

Recibido: 00/00/00

Aceptado: 00/00/00

## RESUMEN

La intensificación de la agricultura en los últimos años, en la Región Pampeana y en el sudeste bonaerense en particular, provocó una disminución de la disponibilidad de azufre (S) en los suelos. Frente a esta situación, se planteó como objetivo evaluar el efecto de la fertilización azufrada sobre el rendimiento y el contenido de proteína en grano de trigo (*Triticum aestivum* L.), como así también su interacción con nitrógeno (N). Además se evalúan algunas de las metodologías de diagnóstico de S citadas en la literatura. Los experimentos (Experimento A: bajo SD y LC; Experimento B: bajo SD) se realizaron durante las estaciones de crecimiento 2003 y 2004 en la EEA INTA-Balcarce. En el Experimento A los tratamientos fueron: sistemas de labranza (LC y SD) asignados a las parcelas principales y combinación de nutrientes (T: testigo; NP: nitrógeno + fósforo; NPS: nitrógeno + fósforo + azufre) asignados a las subparcelas. Las dosis de nutrientes utilizadas fueron de 120 kg N ha<sup>-1</sup>, 30 kg P ha<sup>-1</sup> y 15 kg S ha<sup>-1</sup>. Para el Experimento B los tratamientos fueron dosis de N (70 y 130 kg ha<sup>-1</sup>) y de S (0 y 15 kg ha<sup>-1</sup>). Ambos experimentos fueron conducidos sin deficiencias de P y en condiciones de secano. En el Experimento B y para las dos campañas agrícolas el agregado de S incrementó el rendimiento (4.703 vs 5.328 kg ha<sup>-1</sup> sin y con S, respectivamente), mientras que en el Experimento A, la fertilización con S incrementó el rendimiento (4.172 vs 4.748 kg ha<sup>-1</sup>, sin y con S, respectivamente) sólo en el 2004 bajo SD. No se determinó respuesta en el contenido de proteína en grano por el agregado de S. La eficiencia de uso del N fue ligeramente mejorada por el agregado de S. La determinación de los contenidos de sulfato en el suelo en los primeros 20 cm, como así también la relación N/S total en grano no diagnosticaron satisfactoriamente la respuesta al agregado de S. Sin embargo, la determinación de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> en suelo (0-60 cm) al momento de la siembra se asoció en forma aceptable con el rendimiento del cultivo, y por lo tanto, sería una promisorio herramienta de diagnóstico de disponibilidad de S.

**Palabras clave.** *Triticum aestivum*, azufre, nitrógeno, método de diagnóstico.

## WHEAT RESPONSE TO SULPHUR FERTILIZATION IN THE SOUTHEAST BONAERENSE

### ABSTRACT

In the last years, a more intensive cropping in the Pampa region, and particularly in the southeast of Buenos Aires province, has caused a decrease of soil sulphur (S) availability. The objective of this work was to evaluate the effect of S fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) grain yield, grain protein and S concentration. Another objective was to evaluate some S diagnostic methodologies reported in the literature. Two experiments were carried out in the 2003 and 2004 growing seasons at Balcarce, Argentine (37° 45' S; 58° 18' W, 130 m on sea level) on a soil with a longer agriculture history. One experiment was carried out under no-tillage (NT) and conventional tillage (CT) (Experiment A) and another experiment was carried out under NT (Experiment B). In the Experiment A treatments were tillage system (NT and CT) and nutrient combinations [T: control; nitrogen (N) + phosphorus (P); NPS]. Nutrients rates were 120 kg N ha<sup>-1</sup>, 30 kg P ha<sup>-1</sup> and 15 kg S ha<sup>-1</sup>. Tillage systems were assigned to the main plots and nutrient combination to the sub-plots. The experiment was carried out with three replications. In the Experiment B treatments were two N rates (70 and 130 kg ha<sup>-1</sup>) and two S rates (0 and 15 kg ha<sup>-1</sup>). The experiment was carried out with four replications. Both experiments were carried out under rainfed conditions and without P limitation. In the Experiment B and for both years, S addition increased grain yield (4.703 vs 5.328 kg ha<sup>-1</sup> without and with S, respectively), whereas in the Experiment A, S addition increased grain yield (4.172 vs 4.748 kg ha<sup>-1</sup>, without and with S, respectively) only under NT in the 2004. Grain protein was not increased by S fertilization and N use efficiency was only slightly increased by S addition. Sulfur as sulfate (SO<sub>4</sub><sup>=</sup>-S) concentration (0-20 cm soil depth) at sowing and grain total N/S ratio were not able to detect S deficiencies. However, the SO<sub>4</sub><sup>=</sup>-S content (0-60 cm soil depth) at sowing would be a promissory methodology to detect S deficiencies.

**Key words.** *Triticum aestivum*, sulphur, nitrogen, diagnostic methods.

## INTRODUCCIÓN

La deficiencia de azufre (S) ha sido reconocida como un importante factor que limita la producción de los cultivos en varias partes del mundo (Echeverría, 2005). En la Argentina, se han determinado respuestas a la aplicación de S en trigo en el centro-norte de la Región Pampeana (Martínez *et al.*, 2001; Salvagiotti *et al.*, 2004), en donde la actividad agrícola se desarrolla hace más de un siglo sin el aporte de fertilizantes azufrados. En el sudeste de dicha región, los primeros trabajos a campo en la década del 80' no determinaron respuestas en rendimiento al agregado de S (Echeverría, 2002). Desde entonces se ha producido en toda la Región Pampeana y en el sudeste bonaerense en particular, un profundo cambio tecnológico, basado en el uso de materiales genéticos de mayor potencial de rendimiento, el empleo de fertilizantes en base a nitrógeno (N) y fósforo (P) en forma generalizada, y la implementación de sistemas de labranza conservacionistas como la siembra directa (SD).

La intensificación de la agricultura producida en los últimos años y la falta de reposición de S vía fertilizantes, pesticidas o abonos orgánicos, generaron una disminución de la disponibilidad de S en los suelos (Martínez *et al.*, 2001). Sin embargo en el sudeste de la Región Pampeana, aún con contenidos bajos de sulfato en el suelo ( $4-7 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en horizontes superficiales y subsuperficiales, no es frecuente observar incrementos en el rendimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.) por la adición de S aún en situaciones en las que se alcanzaron rendimientos próximos a los potenciales (Mestelán & Pazos, 1998). Esta aparente contradicción se explicaría por los aportes de S desde las fracciones orgánicas del suelo (Echeverría, 2002), las que son elevadas en dicha región (Echeverría & Ferrari, 1993). No obstante, Calviño *et al.* (2001) determinaron moderadas respuestas al agregado de S en trigo, bajo situaciones de prolongada historia agrícola, barbechos cortos, bajo siembra directa y/o con cultivo antecesor soja. En línea con estos resultados, para el sur y sudoeste bonaerense Galantini *et al.* (2004) encontraron moderadas respuestas al agregado de S. En estos trabajos no se reporta el efecto de S sobre el contenido de proteína de los granos a pesar de que Bailey (1987) determinó incrementos en dicho parámetro.

La producción de trigo con labranzas conservacionistas es una práctica que se ha difundido en los últimos años (Calviño *et al.*, 2000), siendo una alternativa para tender a una efectiva conservación del recurso suelo tratando de estabilizar los rendimientos (Echeverría & Studdert, 2000).

Considerando que la materia orgánica (MO) es la principal fuente de S de los suelos, la implementación de la SD disminuye la disponibilidad de este nutriente

producto de las menores tasas de mineralización, respecto al sistema de labranza convencional (LC) (Fox & Bandel, 1986; Linn & Doran, 1984).

Para diagnosticar las deficiencias de S, se han desarrollado diferentes métodos basados en el análisis de muestras de suelo y de material vegetal. Johnson & Fixen (1990), reportaron niveles críticos de  $\text{S-SO}_4^-$  en suelo de  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ , sin embargo, McGrant *et al.* (2002) obtuvieron una pobre correlación entre la concentración de  $\text{S-SO}_4^-$  y el rendimiento, debido a la gran cantidad de factores que inciden sobre la dinámica del S en el suelo. El análisis de material vegetal, ha sido reportado por numerosos autores como un indicador más confiable para detectar las deficiencias de S en numerosas especies (Zhao *et al.*, 1999). En el trigo la concentración de S en los granos no depende exclusivamente del aporte de ese nutriente sino también de N (Randall *et al.*, 1981), granos de trigo con respuesta a S serían aquellos que presenten una concentración menor a 0,12% de S total y una relación N/S total mayor de 17/1.

Considerando la intensificación de la actividad agrícola en el sudeste bonaerense y la mayor frecuencia del cultivo de soja en las rotaciones, se planteó como hipótesis que es factible determinar respuesta al agregado de S particularmente bajo SD. El objetivo de esta experiencia fue evaluar el efecto de la fertilización azufrada sobre el rendimiento y el contenido de proteína del trigo, como su interacción con N cuando los requerimientos de P están cubiertos. Además evaluar algunas de las metodologías de diagnóstico de S citadas en la literatura.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó durante las campañas agrícolas 2003 y 2004 en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA en Balcarce, Buenos Aires ( $37^\circ 45' \text{ S}$ ;  $58^\circ 18' \text{ W}$ , 130 m sobre el nivel del mar). El suelo del sitio experimental es un complejo Argiudol típico fino, mixto, térmico y Paleudol petrocálcico, fino, ilítico, térmico, textura superficial franca, que se mantiene bajo LC por lo menos desde 1980. En el 2000 se iniciaron dos ensayos de larga duración (A y B) con una rotación que incluye cuatro cultivos en tres años (soja, trigo/soja de segunda y trigo nuevamente). En este trabajo se analizan los cultivos de trigo del segundo (campaña 2003) y tercer año (campaña 2004) de la rotación de ambos ensayos.

En el Experimento A se utilizó un diseño experimental en bloques completos aleatorizados con un arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones. Se evaluaron dos sistemas de labranza (L), (LC y SD) asignados a las parcelas principales y combinación de nutrientes (T: testigo; NP: nitrógeno + fósforo; NPS: nitrógeno + fósforo + azufre) asignados a las subparcelas. Las dosis de nutrientes utilizadas fueron de  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $30 \text{ kg P ha}^{-1}$  y  $15 \text{ kg S ha}^{-1}$ . El tamaño de la unidad experimental fue de  $62 \text{ m}^2$ . El Experimento B se realizó bajo SD y el diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones, con

un arreglo factorial de los tratamientos. Los tratamientos fueron dosis de N (70 y 130 kg ha<sup>-1</sup>) y de S (0 y 15 kg ha<sup>-1</sup>). Se aplicaron en todas las parcelas 30 kg de P ha<sup>-1</sup> para asegurarse de que este nutriente no sea limitante, y el tamaño de la unidad experimental fue de 125 m<sup>2</sup>. En ambos ensayos, los fertilizantes nitrogenados, fosfatados y azufrados fueron aplicados a la siembra, al voleo en cobertura total, bajo la forma de urea granulada (46-0-0), superfosfato triple (0-46-0) y sulfato de calcio (20% S, 16% Ca), respectivamente. La aplicación de P se realizó en superficie debido a que los elevados niveles de P disponible en el suelo (Tabla 2), no determinan diferencias entre aplicaciones en la línea y al voleo (Covacevich *et al.*, 2005).

Al momento de la siembra del trigo se determinó en todas las sub-subparcelas el contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm) y P disponible, pH y carbono orgánico (CO) en superficie (0-20 cm). Los muestreos se realizaron recolectando al azar 10 submuestras para la profundidad de 0-20 cm y 3 submuestras para las profundidades 20-40 y 40-60 cm. La concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se extrajo con KCl y se determinó por colorimetría (Keeney & Nelson, 1982). El S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> se extrajo con Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (Islam & Bhuiyan, 1998) y se determinó por turbidimetría con BaCl y Tween 80 como estabilizador (Johnson, 1987). El P disponible se extrajo por el método Bray & Kurtz (1945) y se determinó por colorimetría según Murphy & Riley (1962). El CO se determinó por el método Walkley & Black (1934) y el pH en relación 1:2,5 (suelo-agua).

Para los dos ensayos, en los dos años de experimentación, la siembra del cultivo de trigo fue realizada entre la segunda quincena de junio y durante el mes de julio. La variedad utilizada fue Buck Sureño y la densidad de siembra osciló entre 250 y 300 semillas m<sup>-2</sup>. El barbecho de las parcelas bajo LC se inició dos meses antes de la siembra mediante una pasada de rastra de disco, culminando la preparación de la cama de siembra con una pasada de cultivador de campo. En las parcelas bajo SD el barbecho químico se inició mediante la aplicación de 3 L glifosato (48%) en 120 L de agua, efectuándose una segunda aplicación con igual dosis y volumen previo a la siembra del cultivo. Las malezas fueron adecuadamente controladas (al estado 13 según Zadoks *et al.*, 1974) con la aplicación de 6,6 g ha<sup>-1</sup> de Metsulfuron-metil (60%) más 0,1 L ha<sup>-1</sup> de Dicamba (24%), utilizando un volumen de 120 L ha<sup>-1</sup> de agua. Al estadio de antesis se aplicó 0,25 L ha<sup>-1</sup> de Azoxistrobina (25%) con el cual se logró un buen control de las enfermedades de hoja y de espiga.

El rendimiento se determinó mediante el corte de plantas a nivel del suelo de 6 surcos al azar de 1 m de longitud (1,14 m<sup>2</sup>).

Las espigas fueron desgranadas en una trilladora estacionaria y se midió el contenido de humedad. El rendimiento se expresó al 14% de humedad y se determinó la concentración de N y S en grano. La determinación de N orgánico total se realizó por digestión con ácido sulfúrico (Nelson & Sommers, 1973) y posterior destilación y titulación con equipo semiautomático (Tecator 1.030). Estos valores fueron transformados en concentración de proteína empleando 5,7 como factor de corrección. La determinación de S total se realizó por digestión nítrica-perclórica (Shaw, 1959) y posterior turbidimetría con BaCl y Tween 80 como estabilizador (San Martín *et al.*, 1986). Los valores de concentración de N y S total en grano se graficaron según la metodología de análisis propuesta por Randall *et al.* (1981) para diagnosticar granos con deficiencia de S. Además se analizó el contenido de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> en los primeros 20 cm de suelo como metodología de diagnóstico de deficiencias de S. La eficiencia agronómica de uso del nitrógeno (EAUN) se estimó a partir de la pendiente de la recta de la relación entre el rendimiento y el N disponible para el cultivo (nitrógeno del fertilizante (Nf)+ nitrógeno como nitrato en el perfil del suelo (Ni). Se correlacionó la disponibilidad de S en los primeros 60 cm de suelo con el rendimiento relativo del cultivo (rendimiento del tratamiento sin S/rendimiento del tratamiento con S).

Se realizó análisis de la varianza utilizando el procedimiento GLM incluido en las rutinas del programa Statical Analysis System (SAS Institute 1988). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleó el Test de la diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de probabilidad de 0,05 (SAS Institute 1996). Algunas variables fueron evaluadas por regresión.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características relevantes de las campañas agrícolas evaluadas

Las precipitaciones durante el período julio-diciembre 2003 superaron al promedio histórico (Tabla 1). Se registraron 618 mm de julio a diciembre, las que fueron particularmente abundantes en los meses de octubre, noviembre y diciembre, coincidiendo con el período crítico del cultivo (20 días antes y 10 días después de antesis).

Tabla 1. Precipitaciones mensuales en Balcarce durante las campañas de trigo 2003, 2004, y precipitaciones históricas (período 1983-2002).

Table 1. Monthly rainfall at Balcarce during the wheat growing seasons 2003 and 2004, and historical rainfall (period 1983-2002).

	Año	J	Jl	A	S	O	N	D	Jul-Dic
Precipitaciones (mm)	2003	61	69	49	54	108	142	136	618
	2004	27	86	125	32	51	70	62	425
	1983-2002	35	36	42	54	103	93	88	417

Considerando que los requerimientos hídricos del cultivo de trigo son de 400-450 mm, la disponibilidad hídrica no habría limitado el rendimiento del mismo. Durante la

campeña agrícola 2004 las precipitaciones superaron a la media histórica en sólo 8 mm para dicho período (Tabla 1). No obstante, durante el período crítico del cultivo se

Tabla 2. Fósforo disponible (P Bray), S de sulfatos ( $S-SO_4^{=}$ ) y N de nitratos ( $N-NO_3^{-}$ ) previo a la siembra del cultivo de trigo en los experimentos A y B para los años 2003 y 2004. LC: labranza convencional; SD: siembra directa; T: testigo; NP: nitrógeno + fósforo; NPS: nitrógeno + fósforo + azufre. N: nitrógeno y S: azufre.

Table 2. Available phosphorus, sulphate-S ( $SO_4^{=}$ -S) and nitrate-N ( $NO_3^{-}$ -N) before wheat sowing in the experiments A and B for 2003 and 2004 years. LC: conventional tillage; SD: no-tillage; T: control; NP: nitrogen + phosphorus; NPS: nitrogen + phosphorus + sulphur. N: nitrogen and S: sulphur.

Labranza	Nutriente	P Bray (mg kg <sup>-1</sup> ) .....0-20 cm.....	S-SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (kg ha <sup>-1</sup> ) .....0-60.....	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (kg ha <sup>-1</sup> ) .....0-60.....
.....Experimento A-año 2003.....				
LC	T	17,6	67,2	61,8
	NP	19,3	52,4	62,7
	NPS	21,7	52,4	67,8
SD	T	21,6	79,1	62,8
	NP	22,0	85,7	53,4
	NPS	23,9	85,7	58,6
CV%		10,6	22,0	7,9
.....Experimento A-año 2004.....				
LC	T	20,9	25,6	53,5
	NP	27,6	18,8	49,5
	NPS	25,4	26,6	50,1
SD	T	17,6	25,6	48,9
	NP	27,3	16,9	50,8
	NPS	24,3	25,7	52,1
CV%		16,3	18,1	3,4
Dosis N -----kg ha <sup>-1</sup> -----	Dosis S -----kg ha <sup>-1</sup> -----	P Bray (mg kg <sup>-1</sup> ) .....0-20 cm.....	S-SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (kg ha <sup>-1</sup> ) .....0-60.....	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (kg ha <sup>-1</sup> ) .....0-60.....
.....Experimento B-año 2003.....				
0	0	24,3	59,9	77,2
70	0	29,6	54,1	49,5
70	15	26,1	55,9	55,5
130	0	21,9	60,3	28,5
130	15	30,2	54,4	32,5
CV (%)		22,5	7,25	9,3
.....Experimento B-año 2004.....				
0	0	19,1	25,6	49,8
70	0	28,1	20,1	53,8
70	15	29,3	27,7	72,2
130	0	29,9	23,2	69,3
130	15	28,8	32,5	65,4
CV (%)		16,8	18,1	15,8

registraron menores precipitaciones que las históricas, lo cual sugiere un ligero estrés hídrico particularmente bajo LC. Chang & Lindwall (1989) determinaron mayores contenidos de agua bajo SD respecto de LC durante el período crítico del trigo, coincidiendo con lo reportado por Melaj *et al.* (2003), para suelos similares a los de esta experiencia.

El principal componente del rendimiento del cultivo de trigo es el número de granos  $m^{-2}$ , el cual depende principalmente de la radiación interceptada y de la temperatura. El coeficiente fototermal (Q), cociente entre la radiación fotosintéticamente activa media interceptada por el cultivo y la temperatura media menos la temperatura base de desarrollo ( $4,5\text{ }^{\circ}C$ ) para el período crítico del cultivo, fue adecuado en ambas campañas (0,9-1,03) (Abbate *et al.*, 1994). Esto indica que la radiación y la temperatura no limitaron el rendimiento del cultivo en ambas campañas.

El P Bray para ambas campañas (Tabla 2), fue superior al umbral reportado por Berardo (1994) y por Echeverría & García (1998) y por lo tanto, no habría limitado el crecimiento del cultivo. Los porcentajes de materia orgánica (MO) oscilaron entre 4,8 y 5,7% y son característicos de lotes con prolongada historia agrícola de la región (Studdert & Echeverría, 2000). A su vez, no se determinaron diferencias entre sistemas de labranza, probablemente debido a la escasa historia bajo SD. Los valores de pH variaron entre 5,7 y 6, valores que están dentro del rango reportado como adecuado para el crecimiento del cultivo (Mc Lean, 1982).

La disponibilidad de  $N-NO_3^-$  a la siembra fue adecuada en el Experimento A para la campaña 2003 (Tabla 2), y por lo tanto no sería necesaria la fertilización con N en dicho momento según lo reportado por González Montaner *et al.* (1991). En la campaña 2004, los contenidos de  $N-NO_3^-$  fueron algo más bajos, lo cual se explicaría parcialmente, por los elevados rendimientos de los antecesores (trigo-soja de segunda). No se determinaron diferencias entre sistemas de labranza, debido a la escasa historia bajo SD de los lotes. En el Experimento B para la campaña 2003 los niveles de  $N-NO_3^-$  fueron menores en los tratamientos con mayor dosis de N (N130) posiblemente por el mayor rendimiento de los cultivos previos en la rotación. Para la campaña 2004 el tratamiento T presentó baja disponibilidad de N a la siembra (Tabla 2). El valor promedio de  $S-SO_4^{=}$  en la campaña 2003, fue de 8,5 y de  $7,2\text{ mg kg}^{-1}$  (0-20 cm de profundidad) para el ensayo A y B, respectivamente, valores inferiores al nivel crítico (NC) de  $10\text{ mg kg}^{-1}$  definido por Johnson & Fixen (1990). Para la campaña 2004 estos valores fueron aún menores en ambos ensayos ( $4\text{ mg kg}^{-1}$ ). En la Tabla 2 se presentan los valores de  $S-SO_4^{=}$  en  $kg\text{ ha}^{-1}$  integrado de 0-60 cm de profundi-

dad. Si bien existen diferencias en las variables edáficas evaluadas por efecto de tratamiento (Tabla 2), las mismas no fueron estadísticamente significativa.

### Rendimiento en grano

En el Experimento A y para ambas campañas se determinaron respuestas en rendimiento por el agregado de NP siendo la magnitud de la misma mayor bajo SD que bajo LC (Tabla 3), lo que coincide con lo reportado por Falotico *et al.* (1999) y Melaj *et al.* (2003). En la campaña 2003 y para ambos sistemas de labranzas, no se obtuvieron respuestas significativas por el agregado de S lo que se explicaría por la adecuada disponibilidad a la siembra de este nutriente hasta los 60 cm de profundidad (Tabla 2). Coincidiendo con nuestros resultados, Grant *et al.* (2004) no determinaron respuesta al agregado de S bajo LC y SD en suelos con similares niveles de  $S-SO_4^{=}$  a la siembra. La falta de respuesta al agregado de S fue aceptablemente diagnosticada por la metodología de análisis de grano propuesta por Randall *et al.* (1981) (Figura 1). No obstante, los niveles de  $S-SO_4^{=}$  a la siembra en suelo fueron inferiores al NC de  $10\text{ mg kg}^{-1}$  en los primeros 20 cm de profundidad, lo que sugiere que otros aportes de S, principalmente el sulfato en profundidad, permitió cubrir las demandas del cultivo (San Martín & Echeverría, 1995). En el 2004, se determinó interacción ( $P < 0,05$ ) entre sistema de labranza y combinación de nutrientes, dado que el agregado de S incrementó el rendimiento sólo en SD (Tabla 3), no obstante la baja disponibilidad de S en ambos sistemas de labranzas (Tabla 2). Estos resultados sugieren que la mayor disponibilidad hídrica durante el período crítico del cultivo bajo SD permitió expresar la respuesta al agregado de S, lo cual coincide con lo reportado por Cordone & Martínez (2001).

En el Experimento B, para ambas campañas no se encontró interacción significativa en rendimiento entre dosis de N y S (Tabla 4). En ambos años se determinó respuesta al agregado de N, no obstante sólo en el año 2003 se observaron diferencias entre las dosis de 70 y  $130\text{ kg N ha}^{-1}$  (Tabla 4), lo que indicaría que la menor disponibilidad de agua en el 2004 limitó la respuesta al agregado de este nutriente. Se determinó respuesta al agregado de S para ambas campañas siendo la misma de aproximadamente  $625\text{ kg ha}^{-1}$  (Tabla 4), valores que superan a los reportados por Calviño *et al.* (2001) para condiciones similares a la de esta experiencia. La respuesta determinada cubre holgadamente los costos del fertilizante y la aplicación del mismo. Esta respuesta no fue aceptablemente diagnosticada por la metodología de análisis de grano propuesta por Randall *et al.* (1981) (Figura 1), lo que constituye una evidencia de la falta de sensibilidad de la misma.

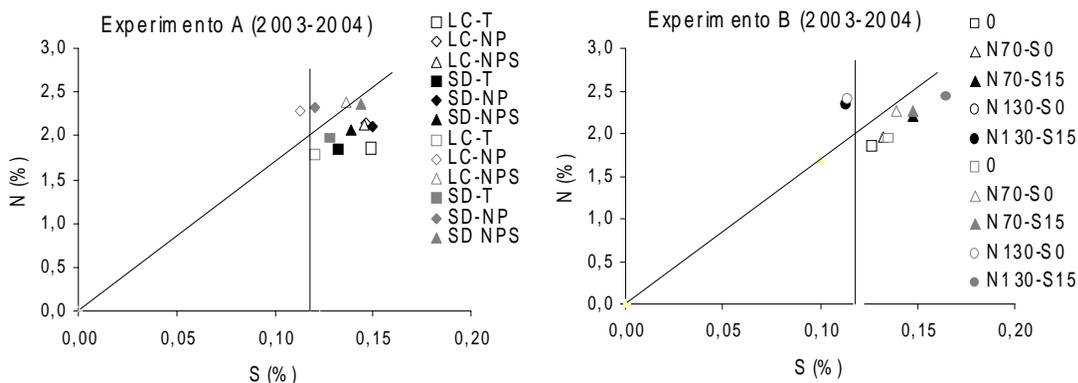


Figura 1. Relación entre la concentración de nitrógeno (N) y azufre (S) en grano de trigo. La línea vertical y oblicua corresponden a una concentración de 0,12% de S y a la relación N/S de 17/1 (N y S total), valores reportados por Randall *et al.* (1981) como umbrales de deficiencias de S en grano. Experimentos A y B, en los años 2003 (símbolos negros) y 2004 (símbolos grises). SD= siembra directa; LC= labranza convencional, T= testigo, N= nitrógeno, P= fósforo y S= azufre.

Figure 1. Relationship between nitrogen (N) and sulphur (S) concentration of wheat grain. Vertical and oblique lines corresponds to 0.12% of S concentration and a N/S ratio of 17/1 (total N and S), values reported by Randall *et al.* (1981) as thresholds of grain S deficiency. Experiments A and B, year 2003 (black symbols) and 2004 (gray symbols). SD= no-tillage; LC= conventional tillage, T= control treatment, N= nitrogen, P= phosphorus and S= sulphur.

En síntesis, para la mayoría de las situaciones se determinó respuesta al agregado de S en particular bajo SD, lo que sugiere que bajo este sistema de labranza los aportes de S por mineralización son inferiores que los registrados bajo LC.

La respuesta del cultivo al agregado de S estaría asociada a la disponibilidad de  $S-SO_4$  (0-60 cm) al momento de la siembra, dado que se determinó una aceptable relación entre dicha variable y el rendimiento relativo (rendimiento del tratamiento sin S / rendimiento del tratamiento con S (Figura 2).

### Concentración de N y S en grano

Para el Experimento A, en ambas campañas, se determinaron diferencias en la concentración de N en grano por efecto de la combinación de nutrientes (Tabla 3).

En el tratamiento NP se obtuvo mayor concentración de N en grano y por consiguiente de proteína que en el tratamiento T (12,6 y 10,7%, respectivamente).

No se determinaron diferencias en la concentración de N por efecto del agregado de S y de los sistemas de labranza (Tabla 3). En el Experimento B, para ambas campañas, se observó un aumento en la concentración de N en grano (Tabla 4), producto de la mayor disponibilidad de N en los tratamientos N70 y N130 (12,4 y 13,8%

proteína, respectivamente), pero no se determinaron respuestas en la concentración de N por el agregado de S (12,7 y 12,9% proteína para 0 y 15 kg S ha<sup>-1</sup>, respectivamente).

No se observó efecto de tratamiento sobre la concentración de S en grano para ambas campañas y ensayos, siendo en general los valores de concentración de S en grano superiores al umbral reportado por Randall *et al.* (1981).

Purakayastha & Nad (1998) reportaron incrementos en la absorción de N frente a mayor disponibilidad de S y siguiendo con la misma línea Salvagiotti *et al.* (2004) y Fernández *et al.* (2005) determinaron una mayor eficiencia agronómica de utilización del N (pendiente de la relación rendimiento-N disponible) ante aumentos en la disponibilidad de este nutriente.

En la Figura 3 se observa un incremento en la eficiencia de uso del N por el agregado de S (12,4 y 10,0 kg grano kg N<sup>-1</sup> para los tratamientos con y sin S, respectivamente), sin embargo el test de paralelismo no fue significativo. La diferencia entre estos resultados y los obtenidos por Salvagiotti *et al.* (2004) se debería a que las deficiencias de S en el sudeste bonaerense son menos severas, y por lo tanto, el efecto del S sobre la nutrición nitrogenada del cultivo no es tan claro.

Tabla 3. Rendimiento en grano y concentración de N y S en grano de trigo (Experimento A) bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) con tres combinaciones de nutrientes (Nut). (T: testigo; NP: nitrógeno + fósforo; NPS: nitrógeno + fósforo + azufre).

Table 3. Grain yield, grain N and S concentration (Experiment A) under no-tillage (SD) and conventional tillage (LC) with three nutrients combinations (Nut). T= control; NP: nitrogen plus phosphorus; NPS: nitrogen plus phosphorus plus sulphur).

Labranza	Nutriente	Rendimiento kg ha <sup>-1</sup>	N		S	
			%		%	
Año 2003						
LC	T	3.645	1,92	0,15		
	NP	4.289	2,21	0,15		
	NPS	4.542	2,13	0,15		
SD	T	3.164	1,91	0,13		
	NP	4.899	2,14	0,15		
	NPS	4.681	2,15	0,14		
Promedio L	LC	4.158	2,10	0,15		
	SD	4.248	2,01	0,14		
Promedio Nut	T	3.404b	1,86b	0,14		
	NP	4.594a	2,13a	0,15		
	NPS	4.611a	2,11a	0,14		
LSD L		ns	ns	ns		
LSD Nut		*	*	ns		
LSD L*Nut		ns	ns	ns		
Año 2004						
LC	T	3.012b	1,78	0,12		
	NP	4.392a	2,29	0,11		
	NPS	4.292a	2,38	0,14		
SD	T	2.523c	1,99	0,13		
	NP	4.172b	2,33	0,12		
	NPS	4.748a	2,37	0,14		
Promedio L	LC	3.899	2,15	0,12		
	SD	3.814	2,23	0,13		
Promedio Nut	T	2.768	1,89b	0,12		
	NP	4.282	2,31a	0,14		
	NPS	4.520	2.370	0,14		
LSD L			ns	ns		
LSD Nut			*	ns		
LSD L*Nut		*	ns	ns		

\*= diferencia mínima significativa al 5% de probabilidad; ns= no significativo. Valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente según el test de la mínima diferencia significativa (MDS) al 5% de probabilidad.

## CONCLUSIONES

En la mayoría de las situaciones bajo SD se determinaron respuestas en rendimiento de grano de trigo por el agregado de S siendo la magnitud de la misma de aproximadamente 625 kg ha<sup>-1</sup>. Por el contrario, no se obtuvie-

ron cambios en la concentración de proteína en grano por el agregado de dicho nutriente. La determinación de los contenidos de sulfato en el suelo en los primeros 20 cm, como así también la relación N/S total en grano no diag-

Tabla 4. Rendimiento en grano y concentración de N y S en grano de trigo (Experimento B) bajo siembra directa para dos dosis de nitrógeno (N) (70 y 130 kg ha<sup>-1</sup>) y dos dosis de azufre (S) (0 y 15 kg ha<sup>-1</sup>).

Table 4. Grain yield, grain N and S concentration (Experiment B) under no-tillage for two nitrogen (N) rates (70 y 130 kg ha<sup>-1</sup>) and two sulphur (S) rates (0 y 15 kg ha<sup>-1</sup>).

Dosis N	Dosis S	Rendimiento kg ha <sup>-1</sup>	N		S
			%		
Año 2003					
0	0	3.105	1,85	0,13	
70	0	5.303	1,96	0,13	
70	15	5.467	2,20	0,15	
130	0	5.760	2,51	0,20	
130	15	6.991	2,35	0,15	
Promedio N	0	3.105c	1,85c	0,13	
	70	5.385b	2,08b	0,14	
	130	6.375a	2,43a	0,17	
Promedio S	0	5.532b	2,23	0,16	
	15	6.229a	2,27	0,15	
LSD N		*	*	ns	
LSD S		**	ns	ns	
LSD N*S		ns	ns	ns	
Año 2004					
0	0	2.333	1,97	0,14	
70	0	3.878	2,27	0,14	
70	15	4.378	2,27	0,15	
130	0	3.874	2,41	0,11	
130	15	4.477	2,45	0,16	
Promedio N	0	2.333b	1,96c	0,14	
	70	4.127a	2,26b	0,14	
	130	4.175a	2,43a	0,14	
Promedio S	0	3.875b	2,34	0,13	
	15	4.427a	2,36	0,16	
LSD N		*	*	ns	
LSD S		*	ns	ns	
LSD N*S		ns	ns	ns	

\*, \*\*= diferencia mínima significativa al 5% y 10% de probabilidad, respectivamente; ns= no significativo. Valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente según el test de la mínima diferencia significativa (MDS) al 5% de probabilidad.

nosticaron aceptablemente dicha respuesta. Sin embargo, la respuesta del cultivo al agregado de S estaría asociada a la disponibilidad de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> (0-60 cm) al momento de la siembra del cultivo.

#### AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado con fondos del proyecto de la UNMDP N° 15/A 163 y del convenio de vinculación tecnológica INTA-Asociación Civil Fertilizar.

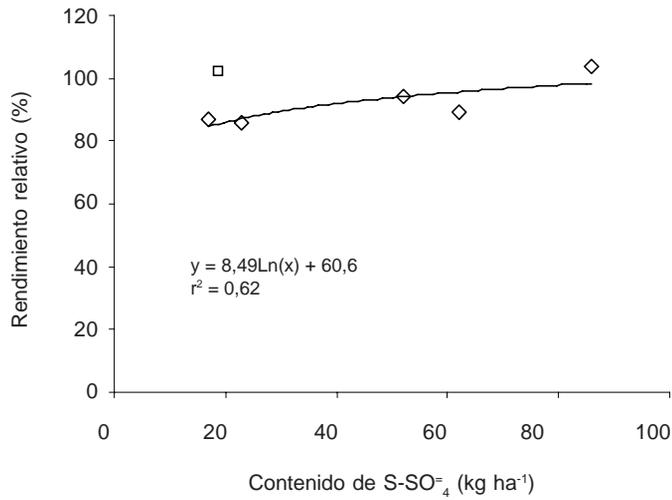


Figura 2. Relación entre el rendimiento relativo del tratamiento sin azufre respecto del tratamiento con S y la disponibilidad de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> en suelo (0-60 cm) al momento de la siembra. El símbolo cuadrado corresponde al tratamiento sin S bajo labranza convencional (2004) y no fue incluido en la regresión debido a la existencia de déficit hídrico.

Figure 2. Relationship between relative grain yield of treatment without sulphur respect to the treatment with sulphur and soil SO<sub>4</sub><sup>=</sup>-S availability (0-60 cm) at sowing. Square symbol correspond to treatment without S under conventional tillage (2004) and it was not include in the regression due to the existence of water stress.

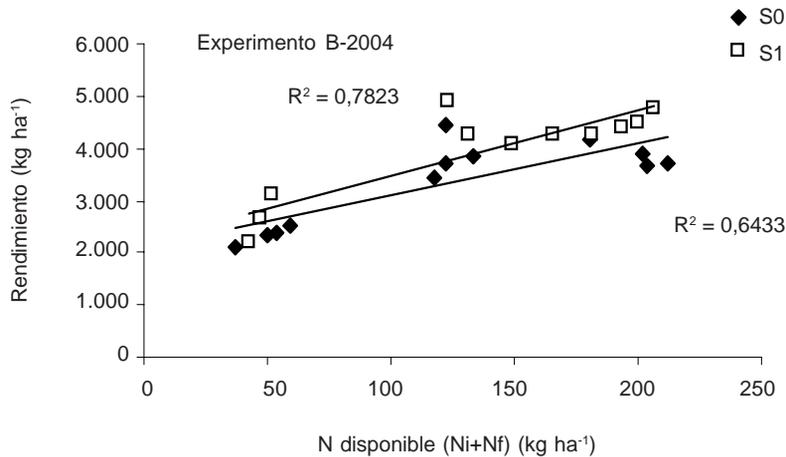


Figura 3. Relación entre el rendimiento en grano y el nitrógeno disponible para los tratamientos con 0 (S0) y 15 (S1) kg S ha<sup>-1</sup>. Ni: Nitrógeno disponible inicial, Nf: Nitrógeno aportado por el fertilizante.

Figure 3. Relationship between grain yield and available nitrogen for treatments with 0 (S0) and 15 (S1) kg S ha<sup>-1</sup>. Ni: initial available nitrogen, Nf: nitrogen of fertilizer.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Abbate, PE; F Andrade & JP Culot. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín Técnico N° 133. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. P. 17.
- Bailey, L. 1987. Sulphur in plant nutrition. p. 14-17. *In*: E. Berg (ed) Western Canada Sulphur Handbook. Western Canada Fertilizer Association. Calgary, AB, Canada.
- Berardo, A. 1994. Aspectos generales de fertilización y manejo de trigo en el área de influencia de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. Boletín Técnico N° 128. P. 34.
- Bray, RH & L Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Calviño, PA; HE Echeverría & M Redolatti. 2000. Trigo en siembra directa en el sudeste bonaerense: diagnóstico de necesidades de nitrógeno en función de la fertilización fosfatada. *En*: Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (en CD, 4 páginas), Mar del Plata, Argentina.
- Calviño, PA; HE Echeverría & M Redolatti. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 20:36-42.
- Calviño, PA; HE Echeverría; H Sainz Rozas & M Redolatti. 2001. Influencia del cultivo antecesor sobre la respuesta en trigo a la fertilización con azufre. V Congreso Nacional de Trigo. Carlos Paz-Córdoba. Actas en CD, 4 pág.
- Chang, C & CW Lindwall. 1989. Effect of long-term minimum tillage practices on some physical properties of Chernozemic clay loam. *Can. J. Soil Sci.* 69:443-449.
- Cordone, G & F Martínez. 2001. Efecto de la aplicación de distintas dosis de nitrógeno y azufre sobre el rendimiento del doble cultivo trigo-soja. Para mejorar la producción 18-SOJA-EEA Oliveros INTA. Santa Fe.
- Covacevich, F; HR Sainz Rozas; PA Barbieri & HE Echeverría. 2005. Formas de colocación de fósforo sobre el crecimiento y la micorrización espontánea del cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo* 23: 39-45.
- Echeverría, HE. 2002. Exploración de deficiencias de azufre en sistemas productivos del sudeste bonaerense. Boletín Técnico N° 156. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. P. 19.
- Echeverría, HE. 2005. Azufre. Pp. 139-160. *En*: HE. Echeverría & FO García (eds). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Echeverría, HE & J Ferrari. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. Boletín Técnico N° 112. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. P. 18.
- Echeverría, HE & FO García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico N° 149. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. P. 16.
- Echeverría, HE & GA Studdert. 2000. La importancia del nitrógeno en el cultivo de trigo en siembra directa. *Visión Rural* IX(39):8-11.
- Falotico, J; GA Studdert & HE Echeverría. 1999. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo* 17:9-20.
- Fernández, R; JA Galantini; MR Landriscini; A Marinissen & M Enrique. 2005. Nitrogen and Sulphur fertilization in wheat: N balance under different previous crop. 7th International Wheat Conference, Mar del Plata, Nov. 27-Dec, pág.182.
- Fox, RH & VA Bandel. 1986. Nitrogen utilization with no-tillage. *In*: MA Sprage and GB Triplett (eds.) No Tillage and Surface-Tillage Agriculture. The Tillage Revolution. John Wiley and Sons. EEUU. P. 117-148.
- Galantini, JA; R Fernández; G Minoldo; MR Landriscini; R Kiessling & RA Rosell. 2004. Fertilización del trigo con N y S en suelos bajo siembra directa del S y SO Bonaerense. VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. 21-22 de Octubre, Bahía Blanca. Pág. 141-142.
- García, FO & A Berardo. 2005. Trigo. Pp. 233-249. *En*: HE Echeverría & FO García (eds.) Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- González Montaner, J; G Maddoni; N Mailland & M Posborg. 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo, a partir de un modelo de decisión para la subregión IV. *Ciencia del Suelo* 1:41-51.
- Grant, CA; AM Johnston & GW Clayton. 2004. Sulphur fertilizer and tillage management of canola and wheat in western Canada. *Can. J. Plant Sci.* 84:453-462.
- Islam, M & N Bhuiyan. 1998. Evaluation of various extractants for available sulfur in wetland rice (*Oryza sativa*) soils of Bangladesh. *Indian J. Agric. Sci.* 58:603-606.
- Johnson, GV. 1987. Sulfate: Sampling testing, and calibration. P. 89-96. *In*: JR Brown (ed.). Soil testing: Sampling correlation, calibration and interpretation. SSSA Spec. Publ. 21. SSSA, Madison, WI.
- Johnson, GV & PE Fixen. 1990. Testing Soils for Sulfur, Boron, Molybdenum, and Chlorine. P 265-273. *In*: Westerman, R. L. (ed) Soil testing and Plant analysis, Third edition. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. p. 643-698. *In*: AL Page *et al.* (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monog 9 ASA and SSSA, Madison, WI.
- Linn, DM & JW Doran. 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:1267-1272.
- Martínez, F; G Cordone & FO García. 2001. Azufre y otros nutrientes. *En*: Trigo. Cuaderno de actualización técnica N° 63. CREA. P 46-51.
- Mc Grant, SP; FJ Zhao & MMA Blake-kalff. 2002 Sulphur in soils: procesos, behaviour and measurement. Proceedings N° 499, International Fertiliser Society, York, UK.
- Mc Lean, EO. 1982. Soil pH and lime requirement. *In*: AL Page ed. Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and Microbiological properties. Agronomy Monograph N°9. (2nd Edition) Pag. 199-224.
- Melaj, M; H Echeverría; S López; G Studdert; F Andrade & N Bárbaro. 2003. Timing of nitrogen fertilization in wheat under conventional and no-tillage system. *Agron. J.* 95:1525-1531.
- Mestelan, S & S Pazos. 1998. Diagnóstico de la disponibilidad de S para molisoles del centro de la provincia de Buenos Aires según metodología DRIS y el análisis de la relación N/S en grano en cultivo de trigo. IV Congreso Nacional de Trigo. Mar del Plata, Buenos Aires, 11 al 13 de noviembre de 1998.3-39.

- Murphy, J & JP Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Plant and Soil* 34:467-481.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. *Agron. J.* 65:109-112.
- Purakayastha, TJ & BK Nad. 1998. Effect of sulphur, magnesium and molybdenum on mustard (*Brassica juncea* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.): yield and uptake of macronutrients. *Indian Journal of Plant Physiology* 3:2, 112-115.
- Randall, PJ; K Spencer & JR Freney. 1981. Sulphur and nitrogen fertilization effects on wheat. I Concentration of sulphur and nitrogen to sulphur ratio in relation to yield response. *Austr. J. Agric. Res.* 32:203-212.
- Salvagiotti, F; D Miralles; J Castellarín & H Pedrol. 2004. La fertilización azufrada incrementa la absorción y la eficiencia en el uso del nitrógeno en trigo. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná. Entre Ríos. 2004. pp 147.
- Salvagiotti, F; G Gester; S Bacigaluppo; J Castellarin; C Galarza & N González *et al.* 2004. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. *Ciencia del Suelo* 22: 92-101.
- San Martín NF & HE Echeverría. 1995. Sulfato en suelos del sudeste Bonaerense. *Ciencia del Suelo* 13: 95-97.
- San Martín, NF; CA Navarro & HE Echeverría. 1986. Determinación de azufre total en material vegetal. *IDIA*. 457-462: 40-45. (Editado en 1991).
- SAS INSTITUTE INC. 1988. SAS/STAT Users Guide. Version 6.03 Edition. Cary, NC.
- Shaw, WM. 1959. Nitric-Perchloric Acid Oxidation for Sulfur in Plant and Animal Tissues. *Agricultural and Food Chemistry* 7: 843 - 847.
- Studdert, GA & HE Echeverría. 2000. Maíz, girasol y soja en los sistemas de cultivo del sudeste bonaerense. En: FH Andrade y V Sadras (eds.) Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. INTA – Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP). Advanta Semillas SAIC. P. 407-437.
- Walkley, A & IA Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-37.
- Zadoks, JC; TT Chang & CF Zonzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14:415-421.
- Zhao, FJ; MJ Hawkesford & SP McGrant. 1999. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *Journal of Cereal Science* 30, 1-17.