

Efecto de la Fertilización con N y S sobre el Crecimiento y Rendimiento del Doble Cultivo Trigo/Soja

Resultados de la Campaña 2004-05

Ing. Agr. Sergio Pergolini

Asesor Privado

spergolini@yahoo.com.ar

Introducción

En la región pampeana argentina, los nutrientes generalmente deficientes son el nitrógeno (N) y el fósforo (P). En los últimos años, el azufre (S) se ha revelado como deficiente en numerosas zonas de la región pampeana (García, 2003).

Deficiencias de N, P, S y otros nutrientes disminuyen el crecimiento de los cultivos a través de reducciones en el desarrollo y expansión foliar y en la fotosíntesis foliar. Las caídas en expansión foliar y en fotosíntesis foliar ante disminuciones en la disponibilidad de nutrientes reducen, a nivel cultivo, la intercepción de radiación y la eficiencia de conversión de radiación en biomasa, respectivamente, por lo que la tasa de crecimiento del cultivo se reduce (Andrade *et al*, 2000).

La adecuada nutrición de los cultivos permite optimizar la eficiencia de uso de los recursos e insumos utilizados en la producción. Conocer y solucionar las deficiencias nutricionales de los cultivos permite ajustar las prácticas de manejo, específicamente de fertilización, para alcanzar los rendimientos máximos económicos (Ambrogio *et al*, 2000).

Antecedentes e importancia del trabajo

Una de las manifestaciones más claras de crecimiento de los cultivos está dada por el aumento del peso de las plantas. Por su parte, el rendimiento en grano es el producto entre el número de granos producidos y el peso medio del grano, siendo el número de granos el componente del rendimiento más comprometido en situaciones productivas (Andrade *et al*, 1996).

En el cultivo de trigo, la fertilización con N es el factor de manejo de mayor impacto sobre el rendimiento (Alvarez y Grigera, 2004). En la zona de Río Cuarto se han observado respuestas, promedio de 4 cultivares, de 1300 kg ha⁻¹ de grano a la fertilización con NP (Pergolini, 2003), mientras que en proximidades de Vicuña Mackenna, en un suelo con adecuado contenido de P, se han encontrado respuestas del orden de los 932 kg ha⁻¹ a la aplicación de 113 kg ha⁻¹ de N (Pergolini, 2004; datos no publicados). Por otra parte, en nuestra zona no existen antecedentes de respuesta a la fertilización con azufre (S). Sin embargo, diversos autores (Díaz Zorita *et al.*, Ventimiglia *et al.*, 1998, Melgar (1997) y Martínez y Cordone, autores citados por García y Fabrizzi) encontraron respuestas del orden de los 250 a 350 kg ha⁻¹ a la adición de S en diferentes sectores de la región pampeana. Chiarotti y Pontoni (2000) también encontraron que, con base NP, la aplicación de 20 kg ha⁻¹ de S a la siembra aumentó significativamente en 500 kg ha⁻¹ los rendimientos del cultivo de trigo.

En soja de segunda, Cordone y Martínez (2002), observaron que lotes con altos rendimientos de trigo, en los que se había usado alta dosis de N tuvieron menor rendimiento de la soja siguiente que los lotes sin fertilizar. Estos resultados los

atribuyeron a un mayor consumo de agua durante el ciclo del trigo; y, por otro lado, a una deficiencia inducida de S en el cultivo de soja, a causa de la inmovilización del S en los microorganismos del suelo, y por la mayor exportación de este nutriente por el mayor rendimiento en grano del cultivo de trigo. Estos mismos autores han encontrado respuesta de la soja de 2da al agregado de S entre los 250 a 500 kg ha⁻¹ (respuesta más frecuente) y hasta 1200 kg ha⁻¹.

Teniendo en cuenta la importancia de realizar una fertilización balanceada y con los antecedentes mencionados, la hipótesis de este trabajo fue que, con adecuada disponibilidad de fósforo (P), existe efecto de la fertilización con N y con N+S sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de trigo y de soja de 2da. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con N y con N+S sobre el crecimiento y rendimiento en grano del cultivo de trigo y de soja de segunda, en un suelo con adecuada disponibilidad de P.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en la campaña 2004/05, en un lote de producción ubicado al Sur-Oeste de la localidad de Vicuña Mackenna, sitio conocido como Colonia La Argentina. El análisis de suelo del lote, al momento de la siembra del trigo, se detalla en la tabla 1.

Tabla 1.- Análisis de suelo del lote

M.O. (%) 0-20 cm	P Bray (ppm) 0-20 cm	NO ₃ (ppm) 0-60 cm	pH 0-20 cm
1.06	24.50	8.00	6.89

El cultivo de trigo fue sembrado el 24 de Junio bajo un sistema de siembra directa, a una densidad de 313 semillas m⁻² (100 kg ha⁻¹), con un espaciamiento de 21 cm entre hileras. La variedad utilizada fue Klein Escorpión. Los antecesores del cultivo de trigo fueron soja (2002-03) y maní (2003-04).

Al momento de la siembra del cultivo de trigo, se aplicaron 45 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico en la línea de siembra como fertilización de arranque. Posterior a la siembra, se aplicó el nitrógeno utilizando UAN (32% N p/p) y la combinación nitrógeno + azufre utilizando la mezcla UAN + Tiosulfato de amonio (27% N : 6.6% S p/p), ambos fertilizantes fueron aplicados en forma chorreada sobre la superficie del suelo.

La soja de 2da (DM 4600), se sembró el 13 de Diciembre, con una densidad de 12 sem/m lineal y un espaciamiento entre hileras de 21 cm.

El diseño del experimento fue en franja de 4.9 m de ancho por 60 m de largo, siendo cada franja dividida en tres parcelas. El ensayo, al no contar con repeticiones, no presenta análisis estadísticos. Los tratamientos evaluados se detallan en la tabla 2.

El crecimiento de los cultivos fue evaluado mediante el corte de plantas en una superficie de 0.25 m² por parcela. Las muestras se secaron y pesaron, promediándose los 3 datos y expresándolos en g m⁻². Por su parte, el rendimiento en grano se determinó mediante el corte y la trilla manual de espigas y vainas en una muestra de 0.25 m² por parcela, promediándose los tres datos y expresándolos en kg ha⁻¹, corregidos por humedad.

Tabla 2.- Tratamientos evaluados, fertilizantes utilizados y nutrientes aplicados en cada uno de los tratamientos

Tratamiento	1	2	3
Nombre	Testigo	N	N + S
Fertilizante	--	UAN	UAN + TSA
Nutrientes (kg ha ⁻¹)	0	85	85 + 20

Referencias: N: nitrógeno; S: azufre; TSA: tiosulfato de amonio

La respuesta de los cultivos, en producción de materia seca o en grano, a la aplicación de N se calculó como la diferencia entre el testigo (1) y el tratamiento con N (2), mientras que la respuesta al azufre se calculó como la diferencia entre el tratamiento combinado (3) menos el tratamiento con N (2).

Resultados y discusiones

1.- Crecimiento

1.1.- Trigo

La imagen 1 muestra el estado general del cultivo, en el estadio de macollaje, en las franjas con fertilización nitrogenada (N85) y nitro-azufrada (N85+S20).

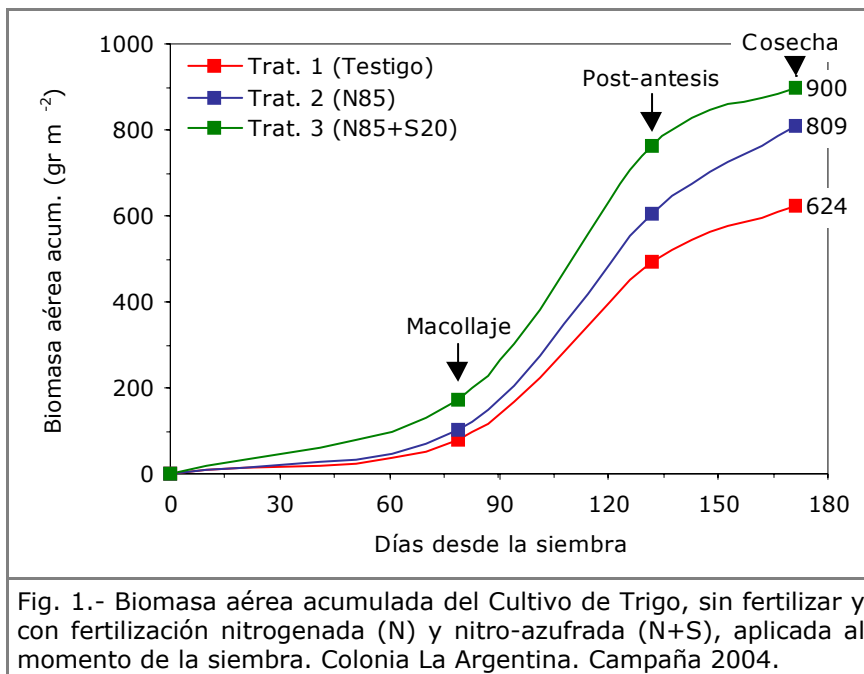


* y **: En foto tratamiento 4 y 6 respectivamente, por estar incluido en otro proyecto.

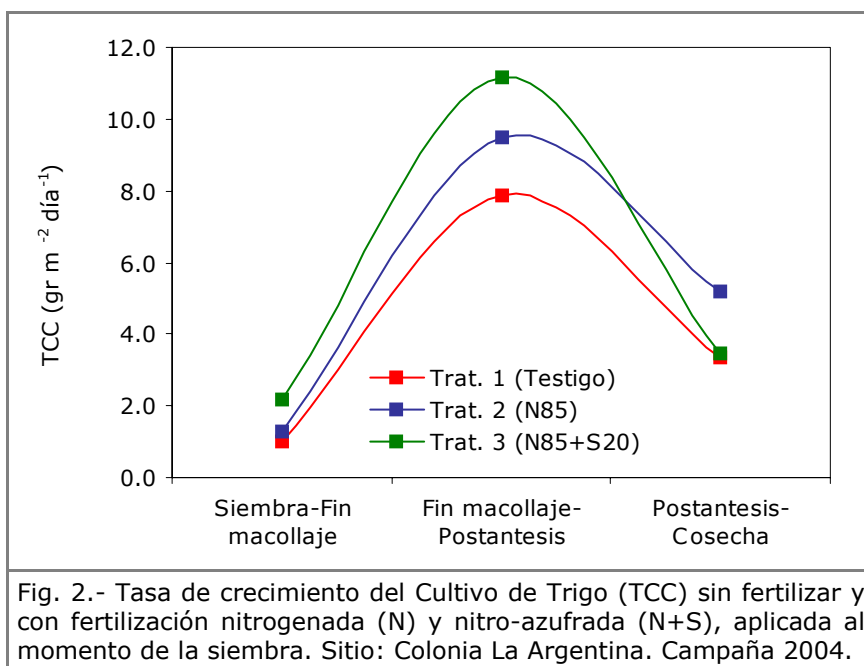
Por su parte, la Fig. 1 muestra el proceso de acumulación de biomasa aérea, conjuntamente con los estadios fenológicos correspondiente, del cultivo en los diferentes tratamientos de fertilización evaluados. Si bien las curvas de acumulación de materia seca de dicha figura muestran ciertas diferencias entre tratamientos en los diferentes estadios de desarrollo del cultivo (datos no mostrados), los valores de biomasa aérea a cosecha serán los únicos que se analizarán y discutirán, ya que engloban la totalidad del crecimiento del cultivo.

La aplicación conjunta de N85 y S20 incrementó la producción de materia seca en un 44% (900 vs. 624 g m⁻²). La adición de 85 kg ha⁻¹ de N a la siembra aumentó la

acumulación de materia seca en un 29% con respecto al testigo (624 vs. 809 g m⁻²). Por su parte, la aplicación adicional de 20 kg ha⁻¹ de S al cultivo fertilizado con 85 kg ha⁻¹ de N incrementó la producción de materia seca en un 11% (809 vs. 900 g m⁻²). Estos resultados señalan al N como nutriente más relevante que el S sobre la acumulación de biomasa aérea del cultivo de trigo.



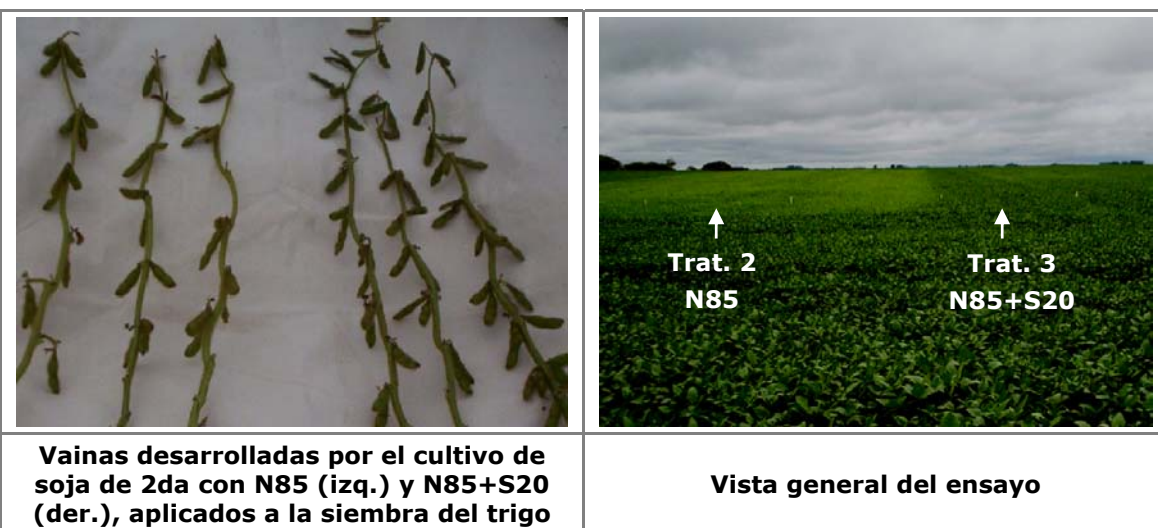
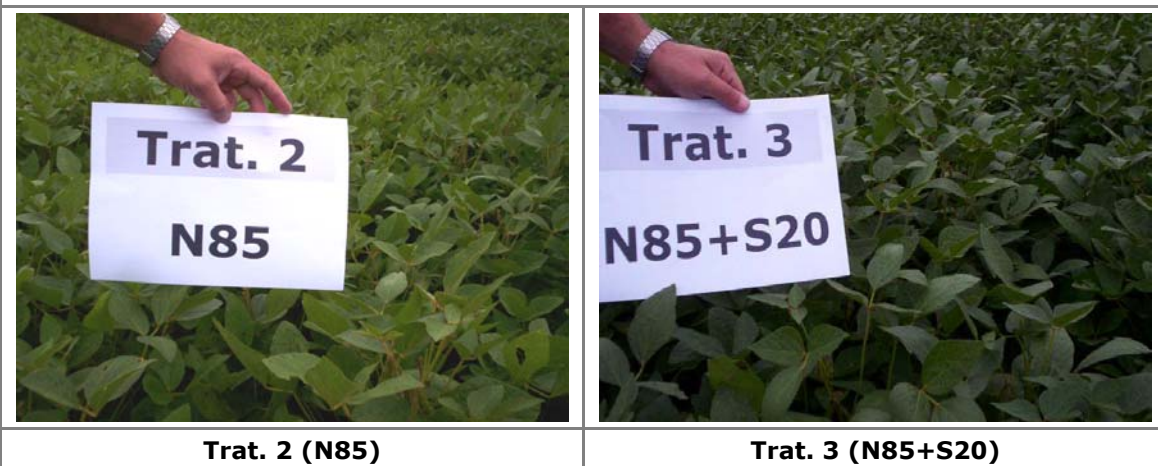
La mayor acumulación de materia seca del cultivo fertilizado con N y con N+S, se debería a la mayor intercepción de radiación solar y/o a la mayor eficiencia de conversión en biomasa, lo cual modificó la tasa de crecimiento del cultivo (Fig. 2).



1.2.- Soja de 2da

Las imágenes a continuación, muestran el estado general del cultivo en el estadio R6 en las franjas de los tratamientos 2 (N85) y 3 (N85+S20), el detalle de las vainas desarrolladas por el cultivo en estos tratamientos y una vista general del ensayo.

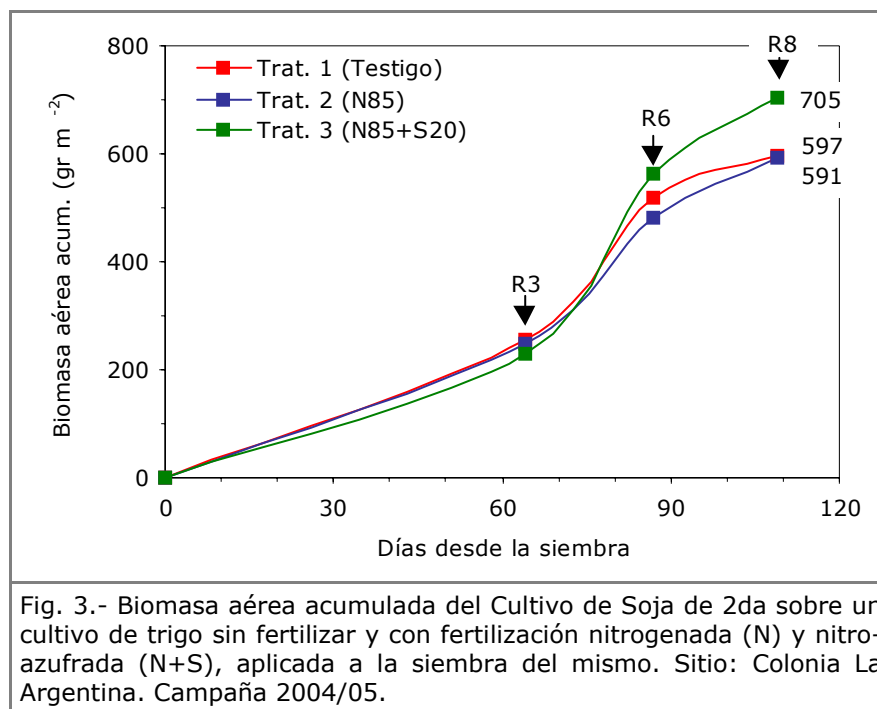
Imagen 2.- Estado del cultivo de Soja de 2da en R6 con fertilización nitrogenada (N) y nitro-azufrada (N+S), aplicada a la siembra del cultivo de trigo. Sitio: Colonia La Argentina. Campaña 2004/05.



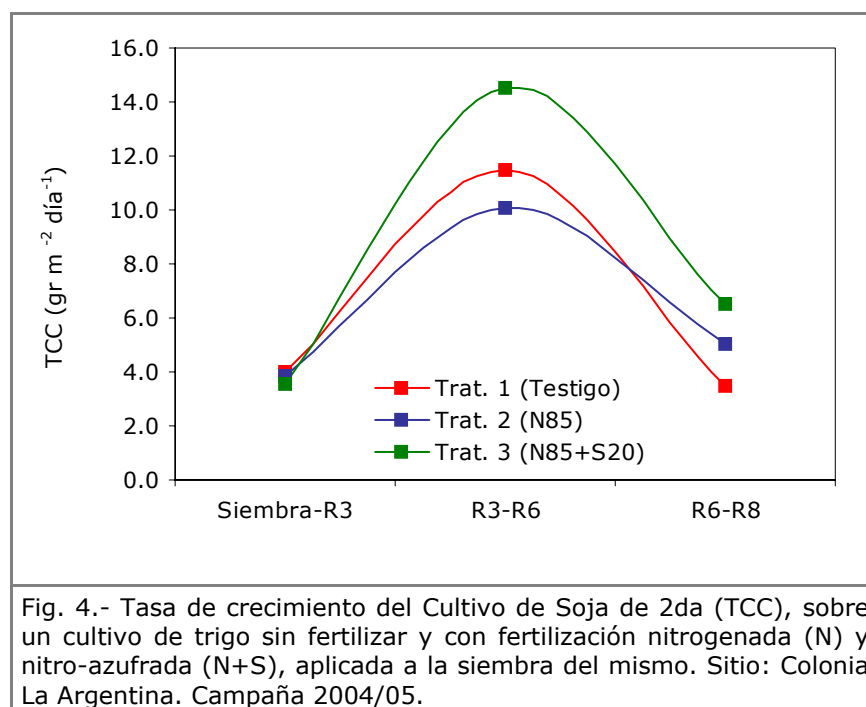
Al igual que lo realizado en el cultivo de trigo, los datos de materia seca total acumulada serán los únicos que se analizarán y discutirán, ya que engloban la totalidad del proceso de crecimiento del cultivo.

En la Fig. 3 se pueden observar las curvas de crecimiento del cultivo en los diferentes tratamientos de fertilización evaluados. Dichas curvas muestran que la adición de 85 kg ha⁻¹ de N a la siembra del cultivo de trigo produjo una leve tendencia negativa (-1%) a disminuir la acumulación de materia seca del cultivo de soja de 2da. Por otra parte, se puede observar que la adición de S a la siembra del trigo presentó efectos positivos sobre la acumulación de biomasa del cultivo de soja de segunda. El

incremento en la producción de materia seca total del cultivo de soja de 2da debido a la aplicación de 20 kg ha^{-1} de S a la siembra del cultivo de trigo fue del 19% ($705 \text{ vs. } 591 \text{ gr m}^{-2}$).



Al igual que lo expuesto en trigo, la mayor acumulación de materia seca del cultivo en la franja fertilizada con S, se debería a la mayor intercepción de radiación solar y/o a la mayor eficiencia de conversión en biomasa, lo cual modificó la tasa de crecimiento del cultivo (Fig. 4).



2.- Rendimientos obtenidos y sus componentes

La tabla 3 muestra el rendimiento del trigo y de la soja de segunda en cada tratamiento y sus componentes indirectos y directos. Por su parte, la Fig. 5 y 6 también muestran el rendimiento y, además, la respuesta en grano de ambos cultivos a los tratamientos de fertilización evaluados.

Tabla 3 (A y B).- Rendimiento del cultivo de trigo y de soja de 2da en los tratamientos evaluados y sus componentes indirectos y directos

Cultivo	Trat.	Componentes indirectos		Componentes directos		Rendimiento kg ha ⁻¹ (14% hum)
		Espigas m ⁻²	Granos espiga ⁻¹	Granos m ⁻²	Peso de mil granos (gr)	
(A) Trigo	Testigo	265	19.2	5111	38	1942
	N85	297	24.0	7148	40	2859
	N85+S20	384	23.8	9168	34	3117

Cultivo	Trat.	Componentes indirectos		Componentes directos		Rendimiento kg ha ⁻¹ (13.5% hum)
		Vainas m ⁻²	Granos vaina ⁻¹	Granos m ⁻²	Peso de mil granos (gr)	
(B) Soja de 2da	Testigo	653	2.18	1425	135	1924
	N85	582	2.27	1326	143	1896
	N85+S20	796	2.36	1880	147	2764

La adición conjunta de N85+S20 incrementó el rendimiento del cultivo de trigo en 1175 kg ha⁻¹ sobre el testigo sin fertilizar. La aplicación de 85 kg ha⁻¹ de N incrementó el rendimiento, con respecto al testigo, en 917 kg ha⁻¹ (47.2%). García y Fabrizzi (2003), en el sudeste bonaerense, reportan una respuesta, en siembra directa, de 1355 kg ha⁻¹ al agregado de 90 kg ha⁻¹ de N a la siembra. Esta diferencia de respuesta se debería a las mejores condiciones agroecológicas para el cultivo de trigo en esa región. Por otra parte, la aplicación de 20 kg ha⁻¹ de S a la siembra produjo un incremento de 258 kg ha⁻¹ de grano (9%), sobre el tratamiento con N85. Respuestas similares al agregado de S fueron encontradas por numerosos autores. Estos resultados coinciden con los efectos descritos anteriormente del N y el S sobre la acumulación de materia seca, señalando que las prácticas de fertilización que favorecieron la acumulación de materia seca del cultivo mejoraron la producción de grano (relación no mostrada) y que existió un mayor efecto del N que del S sobre el rendimiento de este cultivo.

En soja de 2da, el rendimiento prácticamente no difirió entre el tratamiento 1 y 2. Sin embargo, se pudo observar una leve tendencia negativa del rendimiento en grano de este cultivo en la franja en que el trigo antecesor había recibido fertilización nitrogenada. Este resultado estaría en concordancia con lo mencionado por Cordone y Martínez (2002) y con lo observado por Gerster y Novello (2003). Estos últimos autores muestran una respuesta negativa del cultivo de soja de 2da al N aplicado en el trigo antecesor, promedio de 2 sitios, de 56 kg ha⁻¹. Por otra parte, se observaron diferencias entre el tratamiento 2 y 3 (N85+S20). La adición de 20 kg ha⁻¹ de S a la siembra del cultivo de trigo incrementó el rendimiento del cultivo de soja de segunda

en 868 kg ha⁻¹ (46%) sobre el tratamiento con N85. Este nivel de respuesta estaría dentro de los mencionados por Cordone y Martínez (2002). Por último, estos resultados coinciden con los efectos descritos anteriormente del N y el S sobre la acumulación de materia seca, señalando, al igual que para el trigo, que las prácticas de fertilización que favorecieron la acumulación de materia seca del cultivo mejoraron la producción de grano (relación no mostrada).

Las diferencias encontradas en los rendimientos de ambos cultivos entre los tratamientos evaluados se deberían a la modificación del número de granos m⁻², ya que fue el componente directo que presentó mayor correlación con el rendimiento (r²=0.96; n=9 y r²=0.99; n=9 para trigo y soja, respectivamente). A su vez, el componente indirecto que presentó mayor correlación con el número de granos m⁻² fue el número de espigas m⁻² en trigo (r²=0.78 ; n=9) y el número de vainas m⁻² en soja (r²=0.92 ; n=9).

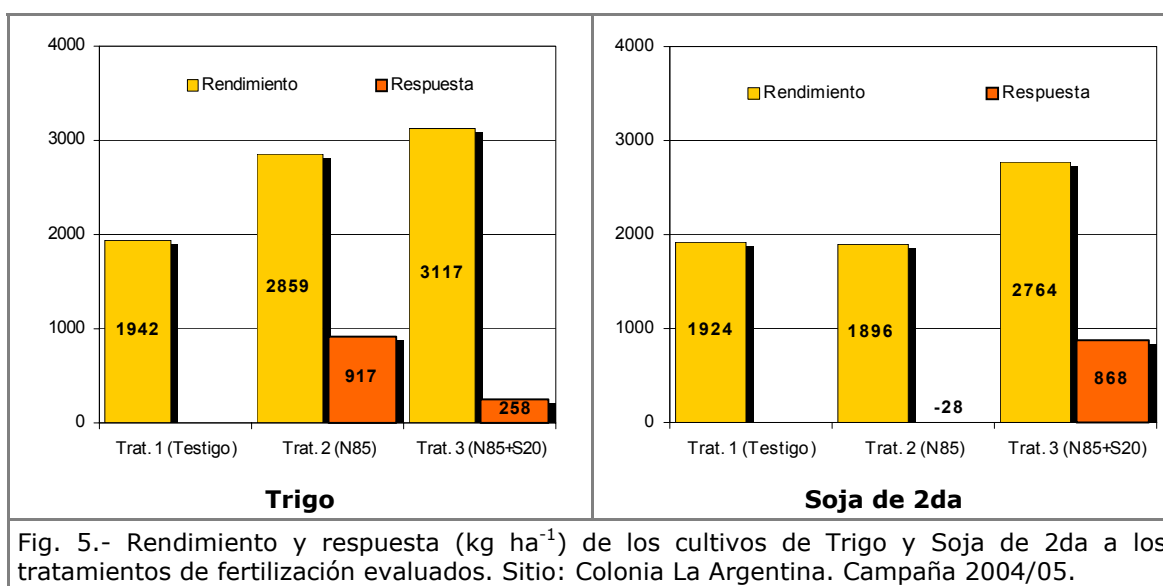


Fig. 5.- Rendimiento y respuesta (kg ha⁻¹) de los cultivos de Trigo y Soja de 2da a los tratamientos de fertilización evaluados. Sitio: Colonia La Argentina. Campaña 2004/05.

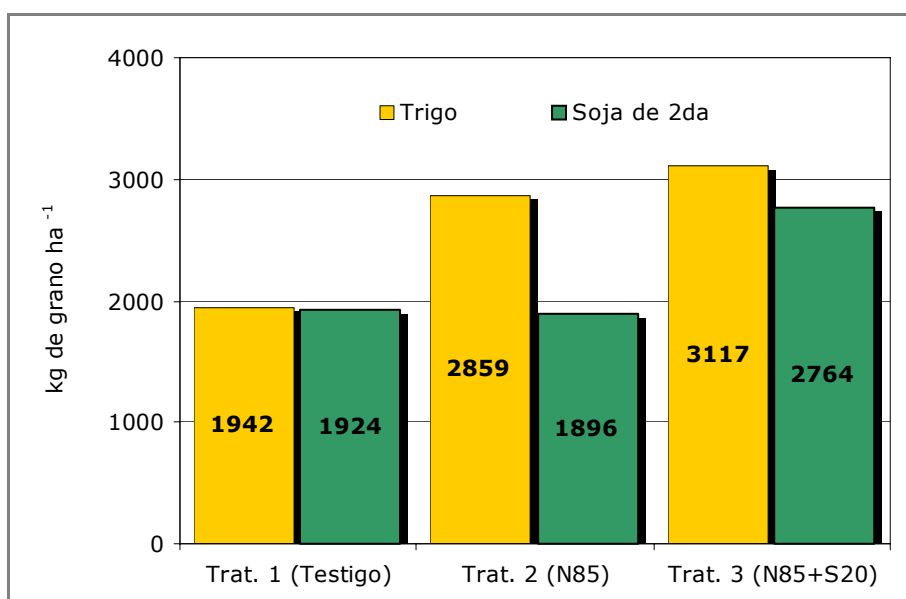


Fig. 6.- Rendimiento del Cultivo de Trigo y de Soja de 2da en un suelo con 24.5 ppm P Bray, sin fertilización y con fertilización a base de N85 y N85+S20, aplicada a la siembra del cultivo de trigo. Sitio: Colonia La Argentina. Campaña 2004/05.

Conclusiones

Trigo

- ❑ La materia seca respondió positivamente al agregado de N y S, siendo los mayores aportes provinieron del N y en menor medida del S.
- ❑ La fertilización con N y S, en este suelo con adecuado contenido de P, produjo aumentos en la producción de trigo, con la mayor expresión de respuesta para la combinación de ambos (N+S). Al igual que lo observado en la producción de materia seca, los mayores aportes provinieron del N y en menor medida del S.

Soja de segunda

- ❑ La materia seca respondió positivamente a la fertilización con S que se realizó a la siembra del cultivo de trigo, no existiendo prácticamente diferencias entre el tratamiento con N85 y el testigo.
- ❑ La fertilización con N realizada a la siembra del trigo prácticamente no tuvo efectos sobre el rendimiento del cultivo de soja de 2da. Por otra parte, la fertilización con S, en este suelo con adecuado contenido de P, si presentó efectos residuales-positivos sobre el rendimiento de este cultivo.

Bibliografía

Alvarez, R. y Grigera, S. 2004. Factores de fertilidad y manejo determinantes de los rendimientos de trigo y maíz en la Pampa Ondulada. INPOFOS - Informaciones agronómicas del Cono Sur N° 22.

Ambrogio, M., Lorenzatti, S., Bizet, H. Don, H., Tanducci, W., García F. y Fontanetto, H. 2000. Trigo: Explorando deficiencias nutricionales en la región pampeana. Resultados de los ensayos de fertilización AAPRESID-INPOFOS 1999/00. INPOFOS - Informaciones agronómicas del Cono Sur N° 5.

Andrade, F., Cirilo, A., Uhart, S. y Otegui, M. 1996. Crecimiento del cultivo. En: Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa. Dekalb Press y CERBAS-EEA INTA Balcarce.

Andrade, F. H., Echeverría, H. E., González, N. S. y Uhart, S. A. 2000. Requerimiento de nutrientes minerales. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Ed: Andrade, F. H. y Sadras, V. O. Editorial Médica Panamericana S.A.

Chiarotti, S. y Pontoni, C. 2000. Trigo: Ensayo de Fertilización Azufrada. INPOFOS - Informaciones agronómicas del Cono Sur N° 15.

Cordone, G. y Martínez, F. 2002. Efecto de la aplicación de Azufre y distintas dosis de Nitrógeno sobre el rendimiento del doble cultivo trigo/soja. INPOFOS - Informaciones agronómicas del Cono Sur N° 13.

García, F. 2003. Nutrición y manejo de la fertilización del cultivo de trigo en la región Pampeana. En: www.inpofos.org

García, F. y Fabrizzi, K. 2003. La fertilización del cultivo de trigo en la región Pampeana. En: www.inpofos.org

Gerster, G. R. y Novello, O. 2003. Fertilización con nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes en la secuencia trigo-soja. Ensayos INTA Cañada de Gómez - Campañas 2001/02 y 2002/03. INPOFOS - Informaciones agronómicas del Cono Sur Nº 18.

Pergolini, S. O. 2003. Comportamiento de cultivares de trigo ante cambios en la disponibilidad hídrica y nutricional. Trabajo final presentado para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Director: Castillo, C. A. - Codirector: Espósito, G. P. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.