CONTENIDO DE AZUFRE Y RELACION N:S EN GRANO DE TRIGO EN EL CENTRO SUR Y SUDOESTE BONAERENSE

XXI Congreso Argentino de la ciencia del suelo - Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo
13 al 16 de mayo de 2008 Potrero de los Funes (San Luis), Argentina

Loewy, T. 1, R. Bergh2 y M. M. Ron3
(1) INTA Bordenave. Viamonte 685. 8000. Bahía Blanca. E mail tloewy@bordenave.inta.gov.ar
(2) Estación Experimental Integrada Barrow. 7500 Tres Arroyos.
(3) Dpto de Agronomía. Universidad Nacional del Sur. 8000 Bahía Blanca

INTRODUCCIÓN

Diversos factores concurrentes han determinado la creciente importancia de las deficiencias de azufre (S), que se observan en la región pampeana. García y Berardo (2005) citan trabajos en los que se ha reportado respuesta al S en trigo en Santa Fe y en el norte, centro oeste y sudeste de Buenos Aires. En el centro sur y sudoeste (SO) de la provincia, este cultivo tiene alta importancia económica y agronómica en la definición de los sistemas productivos. En el centro sur, Bergh et al. (2006) no encontraron respuestas significativas a la fertilización azufrada. Galantini et al. (2007) hallaron para el SO bonaerense incrementos importantes en rendimiento, por aplicación de azufre bajo siembra directa, destacando la influencia de la disponibilidad de agua para calcular los requerimientos. Bajo labranza convencional, Ron y Loewy (2007a) y Loewy et al. (2007) obtuvieron resultados menos contundentes.

Las respuestas del trigo a la fertilización azufrada son esporádicas e impredecibles, en parte por las dificultades analíticas del diagnóstico. Esto se ha verificado en el forraje y aun más en grano (Girma et al. 2005). La experimentación a campo, empero, aporta información para mejorar la nutrición y el balance N-S del cultivo. Un rol trascendente del S se basa en su efecto sobre la calidad panadera del grano. Esta depende de la disponibilidad de nutrientes a lo largo del desarrollo del cultivo y particularmente de la absorción y removilización interna desde las fuentes hacia los destinos.

La concentración de S en grano (CSG) tiene alta relación con propiedades reológicas (Zaho et al. 1999, Naheem y Mac Ritchie, 2003). Esto es potencialmente más relevante en zonas semiáridas o subhúmedas, para alcanzar niveles de rentabilidad más previsibles. Además, en conjunto una CSG menor que 1200 mg kg-1 y N:S mayor que 17 advierten sobre situaciones de deficiencia azufrada (Gooding and Davies, 1997). El objetivo de este trabajo es analizar la respuesta del trigo a la nutrición N-S, en el centro sur y SO bonaerense, en términos de la CSG y su relación con N en el grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

En los años 2005 y 2006 se establecieron 6 ensayos, ubicados en suelos y condiciones climáticas diferentes, en los partidos de Tres Arroyos, González Chávez, Coronel Suárez y Puan. Los tratamientos incluyeron 3 niveles de N (suelo + fertilizante) de base: testigo, 120 y 160 kg N ha-1, combinados con 0 y 10 kg de S ha-1. La fertilización se realizó en macollaje con los productos líquidos Sol-UAN (32%N) y Sol-Plus (12%N- 26% S) . Las características de los sitios se pueden observar en la Tabla 1.

De cada parcela se analizaron los granos, en un total de 108 muestras. Previa molienda, se extrajo el S por digestión húmeda (Johnson y Ulrich, 1959). La cuantificación en el extracto se midió con espectrometría de emisión, por plasma inducido (Zhimadzu ICPS 1000 III). Las determinaciones se realizaron en el laboratorio LANAQUI (Dpto. Agronomía - UNS - B. Blanca). El contenido de proteína en grano se midió usando espectroscopía en infrarrojo cercano (NIR) en el laboratorio de la Cámara Arbitral de Cereales de Bahía Blanca. Para estimar el contenido de nitrógeno en grano (CNG) se usó el factor 5,7. La relación N:S se calculó como el cociente entre CNG y CSG. La cantidad de S acumulado en el grano (Scos) se estimo a traves de CSG y el rendimiento.
Los resultados fueron analizados mediante ANOVA, prueba de la diferencia mínima significativa de Fisher (DMS 5%) y análisis de regresión lineal empleando el paquete estadístico Infostat (2004)

Tabla 1 – Cultivares y análisis de suelos (0–20 cm) en años y sitios, con P no limitante

Año	Partido	Variedad	pH	M.O. g kg^{-1}	S disp. mg kg^{-1}	N disp (0 – 60 cm) kg ha^{-1}
2005	C. Suárez	B. Sureño	6,40	38,2	8,1	60
	Puan	B. Farol	6,80	23,2	8,5	45
2006	C. Suárez	B. Sureño	7,15	38,9	10,1	56
	Puan	B. Farol	6,62	15,0	15,0	59
2006	G. Chávez	B. Sureño	6.6	54,0	10	56
	Tres Arroyos	B. Sureño	6.5	39,0	11.5	42

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los experimentos proveyeron un buen espectro ambiental. El rendimiento en las parcelas osciló entre 1 y 6 t grano ha-1, con concentraciones de proteína en el rango de 9 a 16 %, reflejando las diferencias entre sitios, años y por fertilización. La CSG varió entre 753 y 1752 mg S kg-1, con un promedio de 1111 mg S kg-1. Las referencias sobre requerimientos nutricionales habitualmente usadas en Argentina indican que se requieren 4,5 - 5 kg de S para producir 1 t de grano. De éstos se exportan con el grano entre 25 y 40% (INPOFOS, 1999; Ciampitti y García 2007). Los valores de la CSG que se derivan de esta información fluctúan entre 1125 y 2000 mg kg-1. El amplio rango responde a que la bibliografía consultada incluye trabajos no sólo de la Argentina, sino también del hemisferio norte con valores de CSG superiores (Zhao *et al.* 1995). La relación N:S fluctuó entre 13,4 y 34,9, con promedio de 20,1; 3 puntos por encima del máximo aceptable. El diagnóstico retrospectivo, basado en CSG y N:S contabilizó 60 % de muestras con nutrición azufrada insuficiente.
En un trabajo anterior Ron y Loewy (2007b) reportaron valores casi idénticos a los encontrados aquí en ensayos realizados en el SO bonaerense durante el periodo 1996 - 2000. La N:S fue de 20,1 para trigo pan y 17,9 para candeal, mientras que la CSG fue de 1109 mg kg-1, no diferenciándose entre las dos especies.
En coherencia con este panorama de baja disponibilidad de S, lo exportado en grano (Scos) fue de 2,8 kg ha-1 en promedio, cubriendo valores desde sólo 1,2 kg ha-1, para los casos con menor rendimiento, hasta un excepcional 8,3 kg ha-1, en Tres Arroyos.
La Tabla 2 resume las estadísticas para las variables estudiadas por experimento. De acuerdo con estos valores las mayores carencias de S se habrían producido en C. Suárez 2006, Puan 2006 y G. Chávez, siendo la proporción de muestras diagnosticadas como deficientes en S del 100, 72 y 94 %, respectivamente. Los valores de CSG en Tabla 2 se

relacionaron con el rendimiento promedio, en el rango entre 1500 y 3000 kg ha-1, en forma similar a lo descrito para P y S en otros ensayos (Ron y Loewy, 2005 y 2007b). Esto muestra que las condiciones ambientales inciden directa e indirectamente (a través del rendimiento) sobre la composición del grano (figura 1). En la figura se excluyó a Tres Arroyos, con rendimiento medio de 4605 kg ha-1 y la mejor provisión de S, de acuerdo con los parámetros de Tabla 2.

Tabla 2 Media ± desvío estándar para las concentración de azufre en grano (CSG), la relación N:S y el S exportado con el grano (Scos) en cada experimento (n=18)

Año	Sitio	CSG mg kg^{-1}	N:S	Scos kg ha^{-1}
2005	C. Suarez	1208 ± 161	19.8 ± 4,0	2,5 ± 0,4
2005	Puan	1313 ± 200	18,0 ± 2,5	2,4 ± 0,4
2006	C. Suarez	918 ± 129	25,3 ± 5,1	2,0 ± 0,5
2006	Puan	1159 ±100	20,6 ±1,5	1,9 ± 0,3
2006	G. Chavez	922 ± 81	20,2 ± 1,9	2,8 ± 0,4
2006	Tres Arroyos	1145 ± 151	16,7 ± 2,0	5,3 ± 1,5

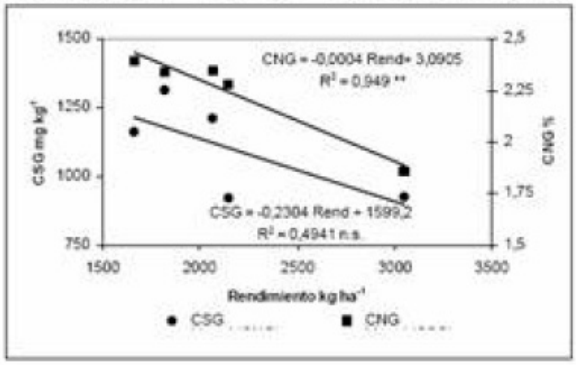

Figura 1 Concentración de S y N en grano según rendimiento promedio en 5 ensayos (n= 18)

En la Tabla 3 se relaciona la CSG con otras variables. Durante el desarrollo del grano, el balance de N y S se mantiene mediante mecanismos homeostáticos (Tabe et al., 2002). Esto explica la relación altamente significativa entre la CNG y la CSG observada para 4 sitios, en particular para Puan 2006 y G. Chávez en que N:S se mantuvo independiente de CSG. En C. Suárez, por el contrario, CSG no correlacionó significativamente con la CNG y se registró la asociación negativa más fuerte con N:S. Esto parecería indicar una movilización del S hacia al grano menos supeditada al N. En Puan, la esperable relación positiva y significativa entre CSG y Scos tuvo los menores coeficientes de correlación, atribuibles a las mayores restricciones climáticas para el rendimiento.

Tabla 3 Coeficiente de correlación entre la concentración de azufre en grano (CSG) y 3 variables para cada experimento (n=18)

Año	Sitio	CNG	N:S	Scos kg ha^{-1}
2005	C. Suárez	-0,040	-0,713**	0.856**
2005	Puan	0,593**	-0.578**	0.587**
2006	C. Suárez	0,136	-0.620**	0.803**
2006	Puan	0,820**	0.176	0.476*
2006	G. Chavez	0,611**	0.099	0.736**
2006	Ts. Arroyos	0,603**	-0.504*	0.776**

*, ** coeficientes significativos a P <0,05 y 0,01, respectivamente

La CSG respondió significativamente a la fertilización con N en todos los ensayos, excepto C. Suárez 2005. En 3 experimentos el efecto fue simple y positivo, con aumento de entre 1 y 2 mg S kg-1 grano por kg de N aplicado (figura 2a). La tendencia fue la misma para los dos niveles de nutrición azufrada, no registrándose efecto del S aplicado sobre la CSG. En Puan 2005 y C. Suárez 2006, los dos sitios en que se registró interacción NxS, los testigos tuvieron similar CSG, pero la respuesta a la fertilización nitroazufrada fue muy diferente. En primer lugar, mostraron diferencias en cuanto a la respuesta al S sobre el testigo. En Puan la CSG aumentó 50% mientras que en C. Suárez disminuyó, pero no significativamente (probable dilución por aumento rendimiento). La relación positiva entre la CSG y el N disponible en el suelo, observada en el centro sur bonaerense y Puan 2006, se repitió en ausencia de S adicional en Puan 2005 y en las parcelas fertilizadas con S en C. Suárez 2006 (figura 2 b).

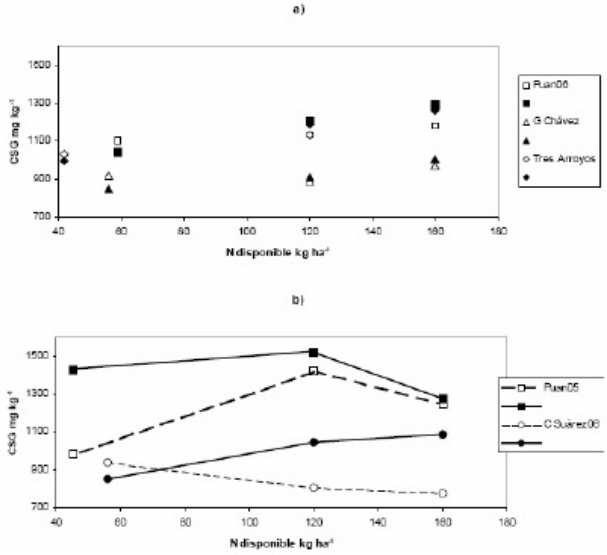

Figura 2. Relación entre la concentración de S en grano (CSG) y la disponibilidad de N.
a) Ensayos sin interacción NxS. b) Ensayos con interacción NxS. Símbolos vacíos: sin S dicional; llenos: con S adicional

La comprensión de los mecanismos que gobiernan las respuestas en la CSG a la fertilización nitro- azufrada deben incluir la disponibilidad edáfica de N y S, la distribución y redistribución de los elementos en planta y el grado en que se ven afectados por las condiciones climáticas. En Puan se registraron valores de reducida disponibilidad hídrica que concentraron el S y N en el grano, con un bajo nivel de rendimiento. En C. Suárez 2006 se puede hipotetizar condiciones de abastecimiento más desfavorables para S que N a lo largo del ciclo, lo que implicaría la formación de proteínas con un contenido de S relativamente menor. En cuanto al centro sur la disponibilidad de N y S parece haber sido mejor y más balanceada en Tres Arroyos, mientras que en G. Chávez podrían asumirse condiciones similares a C. Suárez, pero menos restrictivas para el rendimiento.

La relación N:S fue afectada positiva y significativamente por los tratamientos de fertilización nitrogenada en todos los sitios menos Tres Arroyos (Tabla 4). El efecto fue simple en 4 ensayos. De estos, sólo en Puan 2005 hubo influencia del S aplicado sobre N:S, disminuyendo de 19,3 a 16,8. En C. Suárez 2006 la relación N:S fue de 29 y 34 para los tratamientos con 120 y 160 kg N disponible ha-1, sin S adicional. Con la aplicación de S, esta se redujo en 7 y 10 puntos, respectivamente.

El Scos, al igual que las otras variables, fue más afectado por el N aplicado (a través de su efecto sobre el rendimiento) que por el S (Tabla 5). Los efectos significativos y positivos del S aplicado se verificaron en Puan 2005 para el promedio de los tratamientos con N y en C. Suárez 2006, en los niveles de 120 y 160 kg N ha-1. En estos, la recuperación aparente del S aplicado osciló entre el 6 y 10 %. En Tres Arroyos el Scos disminuyó significativamente ante el agregado de S (de 7,4 a 5,9 kg ha-1) en las parcelas con mayor suministro de N.

Tabla 4 Efecto de la disponibilidad del N sobre la relación N:S en grano (n=6)

	Suarez 2005	Puan2005	Suarez 2006	Puan 2006	G. Chavez	Tres Arroyos
Testigo	15,9 a	17,0 a	20,9	19,3 a	18,4 a	16,4 a
120 kg N ha^{-1}	20,6 b	17,4 ab	25,6	20,7 b	20,7 b	16,7 a
160 kg N ha^{-1}	22,8 b	19,7 b	29,3	21,9 b	21,4 b	17,1 a
			Interacción NxS			

Letras distintas difieren a P < 0,05 por diferencia media significativa de Fisher

Tabla 5 Efecto de la disponibilidad del N sobre el S cosechado en grano en kg ha^{-1} (n=6)

	Suarez 2005	Puan2005	Suarez 2006	Puan 2006	G. Chavez	Ts. As
Testigo	2,37 a	2,08 a	1,63	1,76 a	2,53 a	3,88
120 kg N ha^{-1}	2,67 a	2,75 b	2,19	1,98 a	2,85 ab	5,61
160 kg N ha^{-1}	2,45 a	2,36 a	2,13	2,03 a	3,07 b	6,50
			Interacción NxS			Interacción NxS

Letras distintas difieren a P < 0,05 por diferencia media significativa de Fisher

La adición de S no alcanzó, en muchos casos, para la corrección de su carencia en grano y/o balance con el N. Esto iría más allá de la dosis de S empleada o las proporciones N:S en el fertilizante (Ron y Loewy, 2007). Otros aspectos de la tecnología de fertilización deberán involucrarse para mantener la disponibilidad edáfica de S, compensando así las limitaciones de su movilidad en planta.

CONCLUSIONES

Los resultados observados sugieren que, al menos para calidad del grano, las carencias de S podrían ser muy importantes en el área estudiada. Sólo un sitio (Tres Arroyos) exhibió altos rendimientos y respuestas a N, sin resignar niveles de S en grano. Se confirmó la relevancia de las condiciones climáticas en la concentración de S en grano por sobre otras variables de sitio. Dentro de cada ensayo, ésta se vio afectada más por la nutrición con N que con S. El S en grano mostró patrones de relación (concentración/dilución), con el rendimiento, similares al N. Aun con evidencia de mecanismos que tienden a mantener constante la relación N:S en grano, los altos valores obtenidos advierten sobre desbalances de N-S en el suelo. La tecnología de fertilización azufrada debería explorarse a los fines de una mayor eficacia nutricional en trigo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó en el marco de un Proyecto de Grupos de Investigación sobre Temas de Interés Regional de la UNS. La financiación del mismo incluye fondos de la UNS, y el aporte de INTA, Cámara Arbitral de Cereales de Bahía Blanca, Petrobras Energía S.A. y Syngenta S.A.

BIBLIOGRAFIA

Bergh R, Forján H, Seghezzo M.L. y E. Molfese. 2006. Respuesta del trigo pan a la fertilización con nitrógeno y azufre en el centro sud bonaerense. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta, septiembre de 2006

Ciampitti I.A. y F.O. García. 2007 Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, oleaginosos e industriales. Archivo Agronómico Nº 11 Informaciones Agronómicas Nº 33 Instituto Internacional de nutrición de Plantas. Programa Latinoamérica – Cono Sur

Galantini J.A., Landriscini M.R. y R. Fernández. 2007. Fertilización con azufre en sistemas productivos del sur y SO bonaerense (Ed. Galantini) Revista técnica especial en Siembra Directa AAPRESID pp 50-54

García F.O. y A. Berardo. 2005. Trigo en "Fertilización de cultivos" (Eds Echeverría y García) Capítulo 11. INTA INPOFOS

Girma K., Mosali J., Freeman K.W., Raun W.R., Martin K.L. and W.E. Thomason. 2005 Forage and grain yield response to applied sulfur in winter wheat as influenced by source and rate. Journal of Plant Nutrition 28(9): 1541-1553

Gooding M.J. y P.W. Davies 1997. *Wheat Production and utilization*. CAB International Chapter 6 **InfoStat**. 2004.. InfoStat, versión 2004. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina.

Johnson C.M. and A. Ulrich. 1959. II Analytical Methods. For Use in Plant Analysis 26-27. Certif.Agric.Exp.Stn.Bull 766.

INPOFOS. 1999. Requerimientos nutricionales de los cultivos. Informaciones Agronómicas del Cono Sur Nº 4. Archivo Agronómico Nº 3. Diciembre 1999

Loewy T., Salomón N. Y M.M. Ron. 2007. Fertilización nitro-azufrada de trigo pan en el SO bonaerense. In *Simposio Fertilidad 2007: bases para el manejo de la nutrición de los cultivos y los suelos* (compilado por I A Ciampitti y F. García)1 ed. Acassuso: Potash and Phosphate Institute of Canada pp 119-122

Naheem H.A. and F. Mac Ritchie 2003 Effect of sulphur nutrition on agronomic and quality attributes of wheat in Sulphur in Plants Abrol, Ahmad (Eds.), Kluwer Academic Press, 398 pag, pp 305 – 324

Ron M. M. y T. Loewy. 2005. Remoción de fósforo en granos de trigo y cebada en el SO bonaerense. Simposio Fertilidad 2005 Nutrición producción y ambiente Ed. (Garcia FO y F Micucci). Rosario 27-28 abril 2005 INPOFOS. 118-120 **Ron M. M. y T, Loewy.** 2007a. Eficiencia de urea y fuentes sulfonitrogenadas para trigo en el sudoeste bonaerense. Actas IV Jornadas Interdisciplinarias del SO bonaerense. Bahía Blanca, 7 a 9 de setiembre de 2006

Ron M. M. y T, Loewy. 2007b. Sulphur content and N:S ratio of small grains in the southwest of Buenos Aires province (Argentina).1 Conferencia Latinoamericana ICC International Conference on Cereals and Cereal Products Quality and safety. 23 – 26 Septiembre 2007 Rosario. Argentina

Tabe L., Hagan N. y T.J.V. Higgins. 2002. Plasticity of seed protein composition in response to nitrogen and sulfur availability. Current opinion in plant biology 5: 212-217

Zhao F.J., McGrath S. P., Crosland A. R. and S.E. Salmon. 1995. Changes in the sulphur status of British wheat grain in the last decade, and its geographical distribution J. Sci. Food Agric. 68 (4): 507-514.

Zhao F.J., Hawkesford M.J. and S.P. McGrath. 1999 Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat Journal of Cereal Science 30:1-17