

Estrategias de fertilización para mejorar el rinde y la calidad industrial del trigo

N.A. Darwich y G. A Darwich

Introducción

El trigo es el cereal de invierno más importante de la República Argentina. En las últimas tres cosechas, Argentina produjo en promedio 14 millones de toneladas/año. Entre 4 y 5 millones de toneladas de grano se dedican al consumo humano, representando el 30 % de la producción anual. Nuestro país es uno de los cinco mayores exportadores de trigo del mundo. Su participación en el comercio mundial se mantiene entre el 4,7 y el 5 % del total comercializado. Históricamente, Argentina ha exportado trigos de calidad, pero de un solo tipo (sin clasificar) (Salomón y Miranda, 2002).

La producción de trigos de calidad puede ser una estrategia interesante para acceder a nichos de mercado con sobreprecios que mejoren la rentabilidad del cultivo, particularmente en aquellas zonas donde el rendimiento potencial está limitado por factores climáticos. Para definir calidad, es necesario ubicarnos en algún eslabón de la cadena agroalimentaria del trigo. Desde esta perspectiva, la calidad es la capacidad que tiene el producto de satisfacer las necesidades de los consumidores o usuarios del mismo. Para el productor agropecuario (eslabón primario de la cadena), un trigo de calidad será aquel que le permita alcanzar altos rendimientos y mayores márgenes de ganancia. Para la industria molinera, las propiedades evaluadas serán, por ejemplo, rendimiento en la molienda, peso de 1000 granos, cenizas en grano entero, etc. Desde el punto de vista de la calidad panadera, los atributos más importantes a tener en cuenta son el contenido de proteínas del grano, gluten húmedo, propiedades reológicas de la masa medidas por alveógrafo, farinógrafo y ensayo de panificación (Proyecto Fertilizar, 2003).

Dentro de las regiones trigueras argentinas, la subregión triguera IV se ha caracterizado tradicionalmente por obtener los mejores valores en los parámetros de rendimiento y calidad industrial. No obstante, en los últimos cinco años, el aumento de los rendimientos unitarios y las condiciones climáticas que lo favorecieron, produjeron un deterioro en el porcentaje de gluten y proteína de los granos, así como en la estabilidad de las harinas (Ver tabla 1 y 2).

Tabla 1: Evolución del rendimiento y de los parámetros asociados a calidad industrial para trigos de la sub-región IV. (G. Montaner, 2003)

<i>Zona Mar y Sierras (AAPROTRIGO)</i>						<i>GRANOTEC subregión IV</i>				
<i>Año</i>	<i>Rto kg/ha</i>	<i>Prot %</i>	<i>Gluten %</i>	<i>W</i>	<i>Estab min</i>	<i>Rto kg/ha</i>	<i>Prot %</i>	<i>Gluten %</i>	<i>W</i>	<i>Estab min</i>
98	3794	12.1	28.8	362		2460	11.5	26.6		
99	3809	13.3	30.5	350		2910	12.2	27.2	331	
00	4390	11.3	27.1	292	33	3106	10.6	22.5	263	23
01	4120	10.9	25.5	294	12.2	3020	10.9	24.2	221	11.5
02						3290	10.2	22.1	260	17.2

Tabla 2: Relación entre rendimiento y porcentaje de proteína en granos. Zonas Pigue y Balcarce (Prov. Bs As). Fuente: T. Loewy, INTA Bordenave; Echeverría y Studdert, INTA Balcarce

Localidad / Año	Cultivar	Rendimiento (kg/ha)	% Proteína
Pigüé 02/03	Aca 203	3373	10.4
Pigüé 02/03	Aca 302	2867	11.2
Pigüé 01/02	Buck Guapo	4890	9.0
Balcarce 98/99	Prointa Oasis	4880	10.2
Balcarce 98/99	Prointa Oasis	4147	10.9

Para obtener un diferencial de precio en la comercialización del trigo pan, es necesario contar con granos que posean un contenido de gluten húmedo superior al 28-30 % y porcentajes de proteína superiores al 12,5 % (Peña, 2001). Para lograr estos estándares de calidad es necesario seleccionar las variedades con mejor aptitud panadera e implementar un plan de fertilización en función de las metas prefijadas.

Factores que regulan los parámetros de calidad

El clima, el suelo, la variedad o cultivar, el manejo, particularmente la nutrición nitrogenada del cultivo, la cosecha y las condiciones de almacenamiento, son los responsables de las variaciones anuales en los parámetros de rendimiento y calidad. Esto es lo que se ha denominado comúnmente "interacción genotipo-ambiente".

El Nitrógeno y el Azufre han demostrado ser los nutrientes que con mayor frecuencia condicionan la obtención de altos contenidos de gluten y proteínas en los granos de trigo.

El objetivo de este trabajo es señalar las pautas de programación conocidas en lo referente a manejo nutricional (métodos y formas de aplicación de nutrientes) en las distintas etapas del cultivo y sus relaciones con el rendimiento y la calidad industrial de los granos cosechados.

El manejo nutricional afecta tanto el rendimiento como la cantidad de proteína en los granos, mientras que la genética (cultivar), afecta la calidad de dichas proteínas.

Estructura proteica del grano de trigo

1-Gluten

El contenido proteico del trigo varía ampliamente (8-20 % sobre base seca), y es determinado por factores genéticos de la variedad, por la interacción de estos con el medio ambiente y por las prácticas culturales utilizadas por el productor, principalmente la fertilización nitrogenada. La mayoría de la proteína del endosperma del trigo es gluten, un complejo visco-elástico conformado por proteínas insolubles en agua o en soluciones salinas, las cuales se clasifican como poliméricas o gluteninas, y monoméricas o gliadinas (Mac Ritchie, 1994).

Importancia de la fertilización nitrogenada en la determinación del rendimiento y calidad panadera

Una de las disyuntivas que tiene el productor a la hora de programar el manejo del cultivo, es la selección del cultivar y luego la implementación de las prácticas de fertilización, para lograr rendimientos rentables sin deteriorar la calidad industrial de los granos. Una vez seleccionado el cultivar por su adaptabilidad a las condiciones zonales, perfil sanitario y aptitud industrial de sus granos, debe implementarse el programa de fertilización para lograr las metas propuestas. En general, la expresión satisfactoria de las buenas características de panificación se logra con niveles de proteínas en grano superiores al 13 % sobre base seca (Peña 2001). El cultivo de trigo necesita acumular 30-33 kg de N en biomasa aérea por tonelada de grano a producir. Si la tasa de acumulación es inferior (25kg N/t), el contenido de proteína resultante en los granos cosechados será normalmente menor al 10 %.

Los bajos contenidos de proteína en grano, se presentan principalmente cuando existe baja fertilidad del suelo o bajo contenido de nitrógeno en etapas posteriores a la aparición del primer nudo del tallo de la planta (Fowler, 1998). Por esta razón, es necesario aplicar el fertilizante nitrogenado de tal manera que éste permita un desarrollo óptimo de la planta y una adecuada acumulación de proteína en el grano. En la Figura 1, R.Bergh y col., 1998, muestran una relación lineal entre el incremento en el contenido proteico del grano y las dosis de N aplicadas esto es así cuando los niveles de rendimiento no superan los 35 qq/ha. Cuando los rendimientos unitarios superan los 4.500 kg/ha, la relación deja de ser lineal cuando se realiza una única aplicación de N, (Rizzalli, García *et al* 1994). La obtención de granos con porcentajes de proteína superiores a 12,5 %, con niveles de rendimiento superiores a 50 qq/ha, requiere de aplicaciones fraccionadas de Nitrógeno al suelo y a las plantas (ver Figura 2). Numerosos ensayos han demostrado la necesidad de aplicaciones de N, tanto a la siembra como en etapas de llenado del grano, para lograr estos objetivos. El incremento en el contenido de N en los granos de trigo generalmente mejora su calidad panadera (Finney *et al.*, 1957). Las variaciones en el contenido de proteína del grano afectan, tanto a la fuerza como a la extensibilidad del gluten, de tal manera que cuanto menor es el contenido de proteína de la masa de panificación, menores son su fuerza y extensibilidad y menor su calidad de panificación. Los efectos de la aplicación de fertilizantes nitrogenados posteriores a la emergencia de las espigas, sobre el aumento del contenido de N en el grano, han sido relativamente consistentes, mientras que el efecto sobre la calidad panadera fue altamente variable (Gooding y Davies, 1992).

Trabajos realizados por Echeverría y Studdert, (1998), demostraron que el contenido de proteína en el grano aumentó, tanto con aplicaciones de nitrógeno a la siembra, como retrasadas (espigazón). *La fertilización nitrogenada en aplicaciones foliares, desde espigazón hasta pos antesis, aumentó en forma variable el rendimiento y el contenido de proteína y gluten del grano.* R. Bergh 2001/02, 2002/03 y T. Loewy 2001/02. (tablas 3, 4 y 5). Cuando las aplicaciones de N (120 kg ha^{-1}) se realizaron a la siembra, los incrementos promedio obtenidos en el contenido de proteína de los granos variaron entre 2,1 y 2,6 %. La aplicación foliar de 20 y 40 kg de N ha^{-1} en espigazón, produjo incrementos porcentuales de 1,25 y 1,85 puntos de proteína cuando los cultivos no fueron fertilizados con nitrógeno a la siembra, mientras que para los cultivos que recibieron fertilización a la siembra, los incrementos en el contenido proteico por fertilización foliar en espigazón, variaron entre 0,54 y 0,84 %, Echeverría y Studdert, (1998) (Figura 3 a y b).

Tabla 3: Fertilización con N foliar en trigo pan. CEI Barrow, Campaña 2001/02, (R.Bergh y col. 2002)

Sitio Experimental	De la Garma – Productor: A. Puig							
Cultivar	Buck Brasil				Buck Chambergó			
Índice Verdor	34				31			
Aplic. Foliar SolU	29 de noviembre							
Tratamientos	Rto. kg/ha	Pot. %	GH %	W	Rto. kg/ha	Pot. %	GH %	W
Testigo	3.454	10.5	21.8	227	4.010	10.4	25.4	206
30 kgN/ha FoliarSolU	4.269	11.3	25.9	287	4.014	11.7	29.2	256

Tabla 4: Fertilización con N foliar en trigo pan. INTA Bordenave, Campaña 2001/02 (T.Loewy y col.)

Sitio Experimental	Pigüé –MO: 4.2% - SD		Cnel Suárez_MO :4.4%-LC	
Cultivar	Buck Guapo		Klein Estrella-5 Jul	
Índice Verdor	37		29	
Aplic. Foliar SolU	12 noviembre		14 noviembre	
Tratamientos	Rto. kg/ha	Pot.%	Rto. kg/ha	Pot. %
Testigo	4.489	9.0	3.108	8.5
30 kgN/ha FoliarSolU	5.574	10.4	3.635	9.6

Tabla 5: Fertilización con N foliar en trigo pan. INTA Bordenave, Campaña 2002/03 (T.Loewy y col.)

Sitio Experimental	Pigüé –MO: 4.6% - SD		Cnel Suárez_MO :4.0%-LC	
Cultivar	ACA 223 – 22 jn		ACA 302 – 25 jun	
Índice Verdor	36		37	
Aplic. Foliar SolU	4 noviembre		4 noviembre	
Tratamientos	Rto. Kg/ha	Pot.%	Rto. Kg/ha	Pot. %
Testigo	3.373	10.4	2.867	11.2
10 kgN/ha	3.579	10.8	3.064	11.7
20 kgN/ha FoliarSolU	3.817	11.0	3.150	12.0

Tanto Echeverría y Studdert (1998) en trigo pan, como Bergh y colab. (1998) en trigo candeal, encontraron una estrecha correlación entre el contenido de nitrógeno en hoja bandera durante el estadio de grano lechoso, y el porcentaje de proteínas en los granos al momento de la cosecha. Trabajos posteriores (Bergh y col, 1999 y 2001), demostraron que cuando el cultivo de trigo no ha sido expuesto a déficit hídrico durante el periodo de llenado de granos, la concentración de nitrógeno en hoja bandera durante dicho período puede ser utilizada como predictor del contenido final de proteína en los granos (Figura 4), tal como lo propusieron Echeverría y Studdert (1998). El contenido de nitrógeno en hoja

bandera, a su vez, ha sido correlacionado por varios autores con el contenido de clorofila de dicha hoja, por lo que la estimación del contenido de Nitrógeno en hoja mediante lecturas con un medidor de clorofila (Minolta SPAD 502), ha sido también eficazmente correlacionada (Figura 5).

Importancia del azufre en la determinación de la calidad panadera

La nutrición azufrada influye sobre la calidad del grano de trigo. Castle y Randall (1987), estudiaron la respuesta del azufre durante el desarrollo de la semilla después de antesis, y encontraron que la síntesis y la acumulación de la mayor cantidad de proteínas, ocurrieron prematuramente cuando se presentaron deficiencias de azufre con respecto de los casos en que la concentración de S en el grano fue la adecuada. Este resultado puede ser explicado por el hecho de que la deficiencia de azufre acorta el período inicial del desarrollo de la semilla, el cual es caracterizado por la alta división celular y la baja tasa de acumulación de proteínas.

En granos de trigo maduros, la mayor parte del azufre está presente en proteínas, formando aminoácidos azufrados como metionina, cisteína y cistina. Generalmente, con altos niveles de azufre, hay un incremento en la cantidad de aminoácidos que contienen azufre. De acuerdo con los experimentos realizados por Wrigley *et al.*, 1980, y Byers *et al.*, 1987, en suelos pobres en azufre, la deficiencia azufrada resultó en una menor concentración de metionina y cisteína en granos, expresado como el porcentaje sobre el total de aminoácidos presentes en el mismo. Las deficiencias azufradas en trigo no sólo reducen la calidad nutricional, sino que también afectan negativamente la calidad industrial de la harina. Varios estudios han reportado la influencia del azufre sobre la calidad panadera del grano de trigo (Haneklaus *et al.*, 1992; Haneklaus and Schnug, 1992). En Inglaterra, Zhao *et al.*, 1999, encontraron que el volumen de la hogaza de pan aumenta con el agregado de S. En relación con esto, se obtuvieron respuestas en rendimiento de grano al agregado de azufre hasta con 20 kg de S ha⁻¹, mientras que se encontraron incrementos en el volumen de la hogaza de pan con aplicaciones de hasta 100 kg. de S ha⁻¹ (Figura 6).

Algunas de las variaciones en la magnitud de la respuesta a azufre, pueden ser atribuidas a diferencias en el abastecimiento del nitrógeno. Debido a que el nitrógeno y el azufre son componentes estructurales de las proteínas, las interacciones entre ambos elementos son comunes que ocurran (Rendig, 1986). Un balance entre nitrógeno y azufre en el grano es esencial para que el trigo posea una buena calidad panadera (Randall y Wrigley, 1986).

En el trabajo realizado por Randall y col. (1986), los granos de trigo provenientes de plantas que recibieron una adecuada nutrición nitrogenada, pero no recibieron suficiente azufre, contenían 0,12 % de S o menos, y tuvieron una relación N:S de 17:1 o mayor. Los investigadores clasificaron a estas plantas como "Con respuesta a Azufre". En estos casos, adiciones de azufre al cultivo, produjeron incrementos en rendimiento y aumentaron la concentración de azufre en los granos. En los casos en que el grano provenía de plantas con deficiencias de nitrógeno, estas no respondieron a la aplicación de azufre solo, por lo cual fueron clasificadas como "Sin respuesta a Azufre", y sus granos tuvieron una relación N:S de 16:1 o menor.

Altos rendimientos y buena calidad panadera, son características deseables en el mercado actual del trigo. Ambas características pueden ser incrementadas a través de estrategias de fertilización nitrogenada o nitroazufradas, las cuales deben considerar dosis, fuentes y momentos de aplicación para cada caso (Luo *et al.*, 2000).

Conclusiones

Las variaciones en la oferta de nitrógeno y el azufre durante las distintas etapas del cultivo, producen cambios significativos en el contenido y la calidad de las proteínas del grano de trigo, afectando las cualidades panaderas de la harina y las propiedades de la masa (fuerza, extensibilidad y elasticidad).

Incrementos en el contenido proteico del grano, traen aparejado un aumento en el contenido de gluten. Valores de proteína del 13 % sobre base seca, proveen características de visco-elasticidad en el gluten, lo cual genera una óptima panificación.

El manejo de la fertilización nitrogenada, complementando las fertilizaciones tempranas (siembra o macollaje) con fertilizaciones tardías en espigazón, ha demostrado ser una herramienta eficaz en el aumento del porcentaje proteico en los granos. Asimismo, la determinación del contenido de nitrógeno total en hoja bandera al momento del llenado de granos, ha demostrado ser una excelente herramienta de diagnóstico para predecir el porcentaje final de proteína en los granos.

En los trabajos analizados, *el nitrógeno afectó el contenido proteico de los granos, mientras que las variaciones en la disponibilidad de azufre durante el cultivo produjeron, mayormente, cambios en la calidad de las proteínas*, afectando la calidad panadera de la harina y las propiedades de la masa.

La relación N:S en el grano es un indicador de las deficiencias azufradas padecidas por el cultivo. Granos con relaciones N:S de 17:1 o mayor, pertenecen a plantas con suficiente nitrógeno pero con deficiencia de azufre. Por el contrario, relaciones N:S en los granos de 16:1 o menores indican que estos provienen de cultivos que no tuvieron deficiencias de azufre.

Actualmente, el productor triguero necesita obtener alta rentabilidad de su cultivo para poder solventar los costos de producción. Una alternativa es emplear variedades de alto potencial de rendimiento, y otra es utilizar estrategias de fertilización (N-S) diferenciadas durante el ciclo de cultivo, para obtener un incremento de calidad en los granos que le permita lograr una bonificación en el precio de venta que fija el mercado. En los últimos años, en la zona Mar y Sierras, dentro de la sub-región triguera IV, algunos productores han decidido, mediante convenios con acopios, producir trigos de calidad que al momento de la comercialización obtienen bonificaciones de hasta el 12 % sobre el precio de pizarra.

Bibliografía

- Bergh, R.; Zamora, M.; Seghezzo, M. L. y Molfese, E., 2001. Nutrición nitrogenada y proteína en trigo candeal. Actas V Congreso 3^{er} Simposio Nacional de Cereales. Villa Carlos Paz, 25 al 28 de sep. de 2001.
- Bergh, R.; Báez, A.; Zamora, M y Quatrocchio, A. 1999. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada para calidad en trigo. En: Seminario Diagnósticos de deficiencias de N, P Y S en cultivos de la región pampeana. INTA, IPG, SAGPyA, 1 al 2 de julio 1999. pág. 21-30.
- Bergh, R.; Báez, A.; Zamora, M. y Quatrocchio, A. 1998. Fertilización nitrogenada del trigo Candeal en el centro sur bonaerense. Actas IV Congreso 2^{do} Simposio Nacional de Cereales. Mar del Plata, 11 al 13 de Nov. 1998.
- Byers, M.; Franklin, J.; Smith, S.J. 1987. The nitrogen and sulphur nutrition of wheat and its effect on the composition and baking quality of the grain. *Aspects Appl. Biol.* 15, 337–344.
- Castle, S. L.; Randall, P. J. 1987. Effects of sulfur deficiency on the synthesis and accumulation of proteins in the developing wheat seed. *Aust. J. Plant Physiol.* 14, 503–516.
- Echeverría, H.E.; Studdert, G.A. 1998. El contenido de nitrógeno en la hoja bandera del trigo como predictivo del incremento de proteína en el grano por aplicaciones de nitrógeno en la espigón. *Revista de la facultad de Agronomía, La Plata* 103 (1), pág. 27-36.
- Finney, K.F.; Meyer, J.W.; Smith, F. W. y Fryer, H. C. 1957. Effects of foliar spryng on Pawnee wheat with urea solutions on yield protein content, and protein quality. *Agronomy Journal* 49: 341-347.
- Fowler, D. B. 1998. The importance of crop management and cultivar genetic potencial in the production of wheat with hight protein concentration. En: *Wheat protein production and marketing*. University Extension Press, U of Saskatchewan. Canadá. pág. 285-290.
- González Montaner, J. 2003. Manejo y fertilización del cultivo de trigo en la región sudeste de la provincia de Buenos Aires. En: *Jornada técnica para productores: Capturando las oportunidades de altos rindes en trigo*. Miramar, 19 de noviembre de 2003.
- Gooding M. J.; Davies, W. P. 1992. Foliar urea fertilization of cereals: a review. *Fertilizer Research* vol 32: pág. 209-222.
- Haneklaus, S.; Evans, E. y Schnug, E. 1992. Baking quality and sulphur content of wheat I. Influence of grain sulphur and protein concentrations on loaf volume. *Sulphur in Agriculture* 16 (1992) 31–34.
- Haneklaus, S. y Schnug, E. 1992. Baking quality and sulphur content of wheat II. Evaluation of the relative importance of genetics and environment including sulphur fertilization. *Sulphur in Agriculture* 16 (1992) 35–38.
- Luo C.; Branlard, G.; Griffin, W. B. y Mc Neil, D. L. 2000. The effect of nitrogen and sulphur fertilisation and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameters. *Journal of Cereal Science* 31 185-194.
- Mac Ritchie, F. 1994. Role of polymeric proteins in flour functionallity. En: *Wheat kernel proteins: molecular and functional aspects*. Bitervo, Italy: Universita degli studi della Tuscia, p. 145-150.
- Peña, R. J. 2001. Contribución de las gluteninas (alto y bajo peso molecular) y las gliadinas al mejoramiento de la calidad de trigo. En: *Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo*. CIMMYT e INIA, Colonia Uruguay. Pág. 151-162.
- Proyecto Fertilizar, 2003. Cómo lograr más proteína en trigo. En: *Revista Chacra*. Año 73 N° 872. Julio 2003, pág. 82-84.
- Randall, P. J.; Wrigley, C. W., 1986. Effects of sulfur supply on the yield, composition, and quality of grain from cereals, oilseeds, and legumes. *Adv. Cereal Sci. Technol.* 8, 171– 206.
- Rendig, V. V., 1986. Sulfur and crop quality. En: *Tabatabai, M.A. (Ed.) Sulftir in agriculture*. Agron. Monogr. 27, ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, pp. 635–652.
- Salomón, N. y Miranda, R. 2001. Índice de calidad industrial en trigo: una herramienta para determinar la aptitud de los materiales genéticos. En: *Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo*. CIMMYT e INIA, Colonia Uruguay. Pág 163-173.
- Wrigley C. W.; du Cros, D. L.; Archer, M. J. *et al*, 1980. The sulfur content of wheat endosperm proteins and its relevance to grain quality. *Australian Journal of Plant Physiology* 7 p 755-766.
- Zhao, F.J., Hawkesford, M.J. y Mac Grath, S.P. 1999. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *Journal of Cereal Sci.* 1-17 pág. 1-15.