

**Jornada de  
Cultivos de Invierno  
“Trigo: Calidad vs. Rendimiento”**

**ABRIL 2006**

**Serie Actividades de Difusión N°444**

# TABLA DE CONTENIDO

## Página

Introducción a la Calidad: Determinantes de la Calidad, Parámetros y su Importancia a Nivel Industrial .....	1
<i>Daniel Vázquez, INIA La Estanzuela</i>	
Trigos INIA: ¿Se puede reunir buena calidad y alto rendimiento en un mismo cultivar? .....	4
<i>Rubén P. Verges, Daniel Vázquez, Wilfredo Ibáñez, INIA La Estanzuela</i>	
El efecto de la nutrición mineral sobre el rendimiento y la calidad del grano de trigo .....	8
<i>Adriana García Lamothe, INIA La Estanzuela</i>	
Aspectos sanitarios y su incidencia en la calidad y el rendimiento .....	22
<i>Martha Díaz, Adriana García, Daniel Vázquez, Silvia Germán y Silvia Pereyra</i>	
Análisis de la relación rendimiento de grano-calidad en trigo y factores abióticos que la afectan ....	30
<i>Marina Castro, Sergio Ceretta y Daniel Vázquez</i>	

# **Introducción a la Calidad: Determinantes de la Calidad, Parámetros y su Importancia a Nivel Industrial**

Daniel Vázquez<sup>1</sup>

Si bien el significado de calidad depende de las condiciones y el momento de la comercialización, se puede convenir que en el sentido más amplio del concepto, se considera que un producto es de “buena calidad” cuando satisface los requisitos del comprador. En el caso particular del trigo, la dinámica del concepto se ha movido hacia niveles de mayor exigencia debido básicamente a dos motivos. Por un lado, el consumidor ha aumentado en los últimos años los requerimientos de los productos que consume. Por otro, la evolución de la tecnificación de la industria de proceso de las harinas hace que las exigencias sean cada vez mayores.

El concepto de calidad del trigo es complejo. Por un lado, la composición del grano es compleja. Por ejemplo, la proteína constituye solo un octavo del peso de la harina, pero juega un rol fundamental en la determinación del potencial panadero de un trigo. Cuando se habla de proteína de trigo, hay que tener en cuenta que se ha reportado más de 1200 cadenas polipeptídicas distintas en un solo grano de trigo (Gianibelli 2001). Para simplificar su estudio, se han dividido las proteínas del grano de trigo en cuatro grupos. Desde el punto de vista tecnológico, dos de ellos son importantes: las gluteninas y las gliadinas. Entre ambos constituyen la mayoría de la proteína del endosperma. Cuando se mezcla harina con agua, se obtiene una masa de propiedades únicas que permiten la panificación. Estas propiedades son a causa de la formación de una red en la que participan gluteninas y gliadinas: el gluten. Mientras que las gluteninas le dan elasticidad a la masa, las gliadinas le brindan extensibilidad. En resumen, no solo la cantidad de proteína es importante, sino que se debe tener en cuenta cuales están presentes y en qué proporción.

Por otro lado, la exigencia es compleja. Aún teniendo en cuenta un solo proceso industrial, panificación, se le exige al trigo una compleja combinación de requisitos: que la harina sea capaz de absorber la mayor cantidad de agua, que la masa se pueda extender y a su vez mantener la forma que se le dio, etc. Esto obliga a que al describir la calidad de un trigo se deban incluir varios parámetros, y que todos ellos deban ser interpretados en conjunto.

El presente trabajo tiene como objetivo introducir al lector no familiarizado con conceptos de calidad de trigo a los efectos de facilitar la comprensión del resto de los trabajos de la presente publicación, y no pretende ser un tratado exhaustivo del tema. Por ello, se definirán los parámetros de calidad que más se utilizan a nivel industrial, y porqué se aplican.

## **Peso hectolítrico**

Es el parámetro que mejor conoce el productor agropecuario. Se define como el peso en kilogramos de un volumen de grano de 100 litros. Es un valor muy útil porque resume en un solo valor qué tan sano es el grano. Esto es importante porque cuanto más sano sea (menor cantidad de impurezas, granos dañados o quebrados, chuzos, picados, fusariosos o con presencia de cualquier enfermedad), mayor será la proporción de almidón en el grano y mejor será la separación del endosperma del resto del grano. Por lo tanto, cuanto más sano, mayor extracción de harina. A su vez, es una medida de la homogeneidad de la partida de trigo, factor clave en el proceso industrial. Por consiguiente, el peso hectolítrico es una buena estimación tanto de la calidad física del grano, como de la calidad molinera.

## **Contenido de proteínas**

El contenido de proteínas en trigo se define como el contenido de nitrógeno multiplicado por un factor (5.7), y generalmente se informa como porcentaje en base a 13.5% de humedad. Usualmente se determina por Kjeldahl o por un equipo de espectrofotometría de infrarrojo cercano (NIR, NIRS o NIT) calibrado por Kjeldahl.

---

<sup>1</sup> Q.F., MSc., PhD, Responsable de Calidad de Granos. INIA

Entre los componentes químicos, el porcentaje de proteínas del grano de trigo es el parámetro más utilizado comercialmente para definir la calidad panadera de un trigo. Cuanto mayor es la cantidad de proteína, mejor será la calidad del trigo (Finney y Barmore 1948, Shewry et al 2003). Pero la calidad de proteína, definida básicamente por la variedad, es tan importante como la cantidad. Por ello, en países donde la comercialización de trigo se encuentra desarrollada, se estimula a una mayor cantidad de proteínas, pero incluyendo una separación de variedades en distintos grupos de calidad.

Si bien existen diferencias entre distintos genotipos, la cantidad de proteína del grano de trigo estará altamente influenciada por el ambiente en que fue cultivado. Básicamente, es necesario que el trigo tenga suficiente disponibilidad de nitrógeno en el suelo (García Lamothe 2004).

### Fuerza Panadera (W)

No existen parámetros de calidad de trigo utilizados a nivel industrial que definan calidad de las proteínas de trigo independientemente de la cantidad, ya que ambos están interrelacionados. La relación entre la calidad de las proteínas de trigo y los requisitos es tan compleja que no se utilizan parámetros puramente químicos para determinar la calidad del trigo. En su lugar se realizan tests que se denominan “reológicos”. La reología es la ciencia que estudia el comportamiento de un cuerpo cuando es sometido a una deformación.

El método reológico más utilizado a nivel industrial en Uruguay es el alveograma. En este estudio, se mezcla harina con agua y sal en condiciones estandarizadas. Luego se corta parte de la masa en forma de discos, los que se dejan descansar determinado tiempo, siempre en condiciones claramente estandarizadas. En el alveógrafo, estos discos son presionados con un aro y se inflan graficando la presión necesaria para que el flujo de aire sea constante versus el tiempo. La figura obtenida es llamada “alveograma” (ver figura 1).

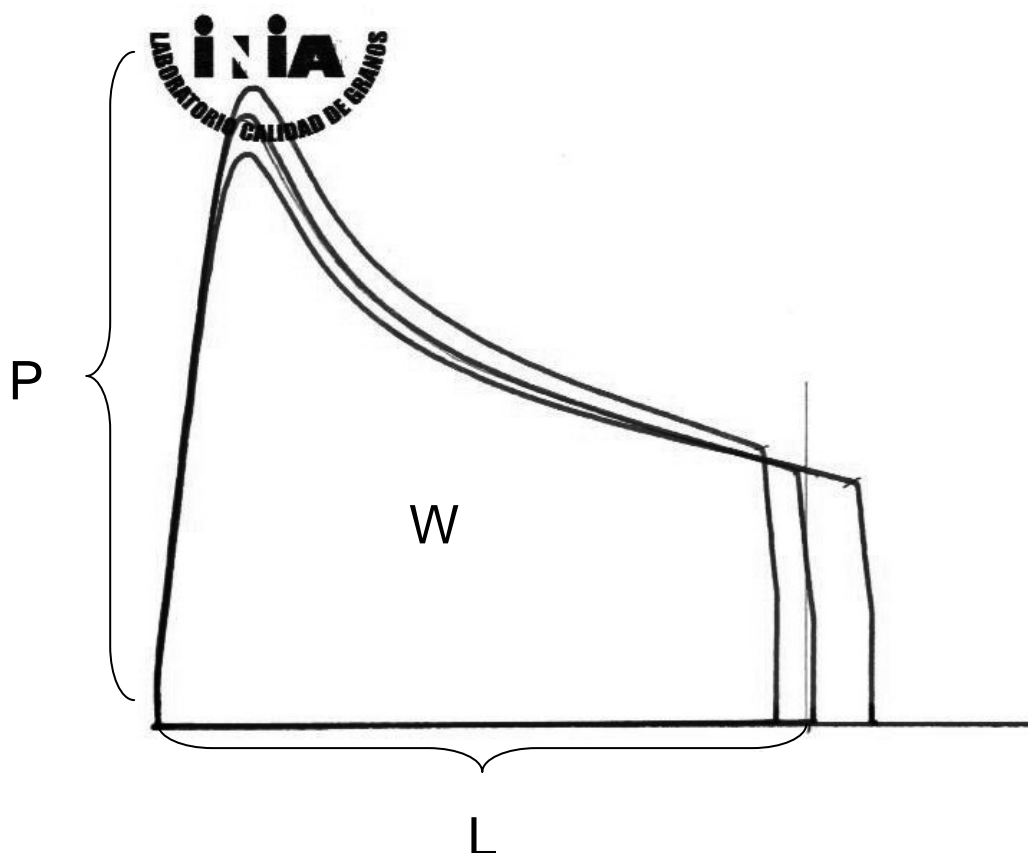


Figura 1. Alveograma tipo

Del alveograma se obtienen cuatro parámetros. El área bajo la curva es proporcional a la energía necesaria para romper el globo formado y se conoce como W o “fuerza panadera”. La mayor resistencia a la extensión o “tenacidad” es conocida como P, y se visualiza en la gráfica como la altura máxima. La extensibilidad es definida como el largo de la curva al momento de la rotura del globo (L), y es una estimación de qué tanto puede extenderse la masa sin fractura. El cuarto parámetro utilizado es la relación entre tenacidad y extensibilidad (P/L).

Si bien existen otros valores que están altamente relacionados con la calidad panadera (Vázquez & Watts 2004), la fuerza panadera (W) es por sí solo el parámetro preferido por los panaderos para definir la calidad de una harina o trigo con un solo valor. Un mayor W permitirá obtener un pan de mayor volumen y mejor calidad.

Comparando distintas muestras de trigo de una misma variedad, al aumentar el porcentaje de proteínas, se espera que aumente el W. Si se comparan muestras de trigo de distintas variedades pero de igual contenido de proteínas, la variedad de mejor calidad de proteína tendrá un mayor W. Por consiguiente, para obtener un trigo con buena calidad panadera, es decir, con alto W, es necesario contar con una variedad de buena calidad y que haya sido cultivado en condiciones en que la cantidad de proteína obtenida en el grano sea alta.

## Referencias

- Finney, K. F. y Barmore, M. A. 1948. Loaf volume and protein content of hard winter and spring wheats. *Cereal Chem.* 25: 291-312.
- García Lamothe, A. 2004. Manejo de la fertilización con nitrógeno en trigo y su interacción con otras prácticas agronómicas. Serie Técnica 144. INIA La Estanzuela. pp 58.
- Gianibelli, M. C., Larroque, O. R., McRitchie, F., and Wrigley, C. W. 2001. Biochemical, Genetic, and Molecular Characterization of Wheat Endosperm Proteins. *Cereal Chem.* 78: 635-646.
- Shewry, P.R. 2003. Wheat gluten proteins. En: “Wheat Gluten Protein Analysis”. P.R.Shewry y G.L.Lookhart, ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA, pp. 61-89.
- Vázquez, D. and Watts, B. 2004. Gluten extensibility: a key factor in Uruguayan wheat quality. En: *The Gluten Proteins*. The Royal Society of Chemists, Cambridge, UK. p. 279-282.

## **Trigos INIA: ¿Se puede reunir buena calidad y alto rendimiento en un mismo cultivar?**

Rubén P. Verges<sup>1</sup>  
Daniel Vázquez<sup>2</sup>  
Wilfredo Ibáñez<sup>3</sup>

### **Introducción**

El rendimiento de grano y la calidad del mismo son, sin dudas, los aspectos de mayor relevancia para la cadena agroindustrial del trigo y, por lo tanto, determinantes fundamentales del éxito de cualquier variedad. Para lograr mejor rentabilidad el productor necesita trigos de alta productividad y, a su vez, para satisfacer a sus respectivos clientes las industrias molinera y panadera necesitan trigos que alcancen los requisitos de calidad, evitando en lo posible el uso de aditivos, por razones de costos y seguridad alimentaria.

Dentro de este marco, los programas de mejoramiento genético enfrentan el desafío de obtener variedades que satisfagan de la mejor manera a todos los eslabones de la cadena agroindustrial del trigo.

En general, la mayoría de las características que son objetos de selección en el mejoramiento genético del trigo en el Uruguay están correlacionadas positivamente con el rendimiento de grano o muestran un comportamiento independiente. Esto permite obtener, sin mayores dificultades, nuevos genotipos (cultivares) que reúnan esas características en forma balanceada. Ejemplos de esto son las resistencias genéticas a enfermedades, vuelco y desgrane que, generalmente, aportan positivamente al rendimiento final de un cultivar.

En cuanto a calidad de grano, principalmente calidad panadera, no ocurre lo mismo, ya que se ha reportado que en este caso calidad y rendimiento de grano frecuentemente se encuentran correlacionados negativamente (Peña 2002, U.S. Congress 1989). Por otra parte, es muy conocido el efecto de “dilución de la proteína”, que ocurre a menudo en condiciones de alta productividad y limitada disponibilidad de nitrógeno, lo cual no permite a la planta de trigo almacenar adecuada cantidad de proteína en el grano (Brown 2000, García Lamothe 2004, O'Brien 1989).

Dadas estas referencias, el presente trabajo tuvo como principal objetivo analizar las correlaciones entre rendimiento de grano y parámetros indicadores de calidad (contenido de proteína, fuerza panadera y peso hectolítrico) en una muestra representativa del germoplasma desarrollado por el programa de mejoramientos de trigo del INIA, que incluyó las variedades comerciales que se han liberado en los últimos años y las que se liberarán en los próximos. Finalmente, los resultados de este estudio pueden tener implicancias tanto para el futuro desarrollo de variedades (mejoramiento) como para la producción de trigo, en cuanto a la factibilidad de disponer de variedades que reúnan alto potencial de rendimiento de grano y calidad del mismo acorde a las demandas de las industrias.

### **Materiales y Métodos**

El material experimental utilizado en este estudio provino de los Ensayos Finales de Rendimiento del Programa de Mejoramiento Genético del INIA. De estos ensayos surgen las líneas experimentales que pasan a la Red Oficial de Evaluación de Trigo y que, por lo tanto, son potenciales candidatas para liberación comercial. Dichos ensayos están divididos por ciclo vegetativo en tres grupos, ciclo largo, ciclo intermedio y ciclo corto, y cada grupo incluye variedades comerciales como testigos. Para este estudio, los ensayos de ciclo intermedio y ciclo corto se consideraron como un solo grupo, por tratarse de experimentos que se manejan en forma similar en cuanto a fechas de siembra, fertilización, etc.

---

<sup>1</sup> Ing. Agr., M. Sc., Responsable del Proyecto Mejoramiento Genético de Trigo. INIA

<sup>2</sup> Q.F., MSc., PhD., Responsable de Calidad de Granos. INIA.

<sup>3</sup> Tec.Agr., Biometría. INIA.

El período de tiempo considerado fueron los años 2003, 2004 y 2005, lo cuales fueron muy favorables para la expresión de rendimientos. Las localidades utilizadas fueron La Estanzuela y Young.

De esta forma, el estudio incluyó 18 ensayos (ambientes), en los cuales se realizaron 328 observaciones en total, para las variables estudiadas (rendimientos de grano, % de proteína, fuerza panadera y peso hectolítrico). En la tabla 1 se detallan los grupos de cultivares estudiados y el número de observaciones tomadas en cada grupo, mientras que en la tabla 2 se especifican los nombres de las variedades comerciales usadas como testigos.

El diseño experimental de los ensayos fue láttice con tres repeticiones y parcelas de 6 surcos a 17 cm por 5 m de largo. Las mediciones de las variables incluidas en este trabajo fueron hechas en parcelas de la segunda repetición de cada ensayo.

Los criterios para la fertilización fueron corregir las deficiencias de fósforo mediante el agregado de una fuente de este nutriente previo a la siembra (fosfato de amonio en la mayoría de los casos) y la fertilización nitrogenada se manejó fraccionada, con aplicación alrededor de Zadoks 22 y, de ser necesario, con una refertilización en Zadoks 30, mediante diagnóstico con el medidor de clorofila.

Los análisis de calidad fueron hechos en el Laboratorio de Calidad de Granos del INIA. El peso hectolítrico es el peso en kilogramos de un volumen de grano de 100 litros. El porcentaje de proteína se determinó por el método Kjeldahl sobre grano de trigo y se informó sobre base de humedad al 13.5%. La fuerza panadera o W se obtuvo mediante alveogramas realizados por la norma UNIT 5530-4 con modificaciones menores, utilizando harinas obtenidas con un molino experimental Quadrumat Junior de acuerdo a especificaciones de la técnica AACC 26-50.

Se determinaron correlaciones fenotípicas simples entre rendimiento de grano y parámetros de calidad. A su vez, se removió el efecto ambiental mediante la estimación de valores residuales obtenidos por análisis de varianza por mínimos cuadrados (PROC GLM del paquete informático de SAS Institute, v.8.0) y se determinaron las correlaciones entre dichos valores residuales.

**Tabla 1.** Grupos de cultivares y cantidades de observaciones por localidad

<b>Grupo de cultivares</b>	<b>Líneas Experimentales</b>	<b>Variedades Comerciales</b>	<b>Total</b>
<b>Ciclo largo</b>	64	15	79
<b>Ciclos intermedio y corto</b>	63	22	85
<b>Total</b>	127	37	164

**Tabla 2.** Variedades comerciales usadas como testigos

<b>Ciclo Largo</b>	<b>Ciclo Intermedio</b>	<b>Ciclo Corto</b>
LE 2255-INIA <b>Gavilán</b>	LE 2193-INIA <b>Caburé</b>	LE 2249-INIA <b>Churrinche</b>
LE 2245-INIA <b>Gorrión</b>	LE 2303-INIA <b>Tero</b>	<b>INIA Mirlo</b>
LE 2210-INIA <b>Tijereta</b>	LE 2333 (1)	LE 2331 (1)
LE 2271-INIA <b>Torcaza</b>		
LE 2313 (1)		

(1) Próximas liberaciones

## Resultados

En la Tabla 3 se presenta la media y el rango de variación de los datos para las diferentes características y para cada grupo de cultivares. Aunque el conjunto de los valores promedios se pueden considerar altos o moderadamente altos para cada una de las características, los rangos de variación son amplios, lo que indican la presencia de una variabilidad importante para cada parámetro en el germoplasma estudiado.

La tabla 4 incluye las correlaciones entre rendimientos de grano y las características de calidad para los datos originales y las mismas correlaciones usando los residuales, o sea luego de haber removido el efecto ambiental en los datos originales.

Las correlaciones sobre los datos originales no muestran ningún tipo de asociación entre rendimiento de grano y las características de calidad, aunque cuando se observan los signos se nota una leve tendencia de asociación negativa de rendimiento con fuerza panadera y una tendencia también leve, pero positiva, de asociación del rendimiento con el peso hectolítrico y con el % de proteína.

Cuando las correlaciones se efectuaron sobre los residuales, en el caso de peso hectolítrico las tendencias mencionadas se evidenciaron algo más, llegando a ser significativas para el total de los cultivares y cuando se tomaron todos los genotipos de ciclo corto e intermedio. A su vez, de este análisis surgen correlaciones significativamente negativas entre rendimiento y % de proteína para el total de genotipos y para los grupos que incluyen el total de ciclo largo y el total de ciclos cortos e intermedios. Tanto para peso hectolítrico como para proteína, cuando se consideraron solo las variedades comerciales, el coeficiente de correlación es menor, y en ningún caso es significativo. Cuando se considera la fuerza panadera (W), en ningún caso hay correlación significativa.

**Tabla 3.** Media y rango de variación de los diferentes parámetros

Grupo de cultivares	N	Rendimiento (kg/há)		% Proteína		Fuerza Panadera (W)		Peso Hectolítrico	
		Rango	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango	Media
<b>Total</b>	328	1982-9190	5747	8,9-18,3	12,4	46-656	276	71,4-84,5	79,6
<b>CL</b>	158	1982-9190	5790	8,9-18,3	12,5	46-656	284	71,4-84,5	79,3
<b>CC y CI</b>	170	2183-7962	5707	9,8-14,7	12,3	80-483	269	74,2-84,5	79,8
<b>Variedades Comerciales (CL)</b>	30	3352-6748	5683	9,8-17,9	12,9	155-656	331	76,2-84,5	79,7
<b>Variedades comerciales (CC y CI)</b>	44	2183-7962	5595	9,8-14,4	12,5	140-483	268	74,2-84,5	79,8

CL: Ciclo largo, CI: Ciclo intermedio, CC: Ciclo corto

**Tabla 4.** Correlaciones entre rendimiento de grano y parámetros de calidad.

GRUPO DE CULTIVARES	N	% Proteína		Fuerza Panadera (W)		Peso Hectolítrico	
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
<b>Total</b>	328	0,11	-0,33**	-0,04	-0,13	0,05	0,18**
<b>Ciclo largo</b>	158	0,12	-0,43**	0,08	-0,18	0,00	0,15
<b>Ciclo corto y ciclo intermedio</b>	170	0,10	-0,25**	-0,14	-0,09	0,11	0,21**
<b>Var. comerciales ciclo largo</b>	30	0,15	-0,19	-0,17	-0,01	0,12	0,12
<b>Var. comerciales CC y CI</b>	44	0,05	-0,30	-0,05	-0,02	0,24	0,24

(1) Correlaciones con datos originales

(2) Correlaciones con residuales

\*\* Significativo al 0,01



## Conclusiones

- En promedio, el conjunto del germoplasma analizado demostró poseer buenos niveles de rendimiento de grano (5747 kg/há), % de proteína (12,4), fuerza panadera (276) y peso hectolítrico (79,6).
- Como era de esperar, los rangos de variación para estas características fueron mayores en las líneas experimentales que en las variedades comerciales.
- Si bien las diferencias en rendimiento y proteína no fueron importantes, las variedades comerciales de ciclo largo mostraron mejores niveles de fuerza panadera que las de los ciclos intermedio y corto.
- Aunque se observaron algunas tendencias, las correlaciones con los datos originales no mostraron asociaciones del rendimiento con los parámetros de calidad.
- Cuando las correlaciones se efectuaron removiendo los efectos ambientales, para los grupos que incluyen materiales experimentales se encontró una asociación negativa y altamente significativa entre rendimiento y % de proteína. Sin embargo, esta asociación señala que menos de 20% de la variación en % de proteína se debe a la variación en rendimiento de grano.
- Esta asociación no se registró para rendimiento y fuerza panadera, por lo que es posible seleccionar combinando en un mismo cultivar altos valores para las dos características.
- La correlación positiva y, en algunos casos, altamente significativa encontrada entre rendimiento y calidad física de grano (peso hectolítrico) era de esperar, dado que peso de grano es uno de los componentes del rendimiento.
- Finalmente, los resultados de este estudio confirman información ya disponible en cuanto a que es posible identificar y liberar cultivares con alto potencial de rendimiento y buena calidad de grano, tanto física como industrial.

## Referencias

- Brown, B. 2000. Nitrogen management for hard wheat protein enhancement. University of Idaho Winter Commodity Schools Proceedings - 2000.
- García Lamothe, A. 2004. Manejo de la fertilización con nitrógeno en trigo y su interacción con otras prácticas agronómicas. Serie Técnica 144. INIA La Estanzuela. pp 58.
- O'Brien, L., Panozzo, J. F. and Ronalds, J. A. 1989. F3 response to F2 selection for quality and its effect on F3 yield distribution. Aust. J. Agric. Res. 40: 33-42.
- Peña, R. 2002. Wheat for bread and other foods. En: Bread wheat: improvement and production. Curtis, B. C., Rajaram, S. y Gómez Macpherson, H., editors. FAO. Roma, Italia.
- U.S. Congress, Office of Technology Assessment. 1989. Enhancing the Quality of U.S. Grain for International Trade, OTA-F-399. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. pp 293.

# El efecto de la nutrición mineral sobre el rendimiento y la calidad del grano de trigo

Ing. Agr. Adriana García Lamothe<sup>1</sup>

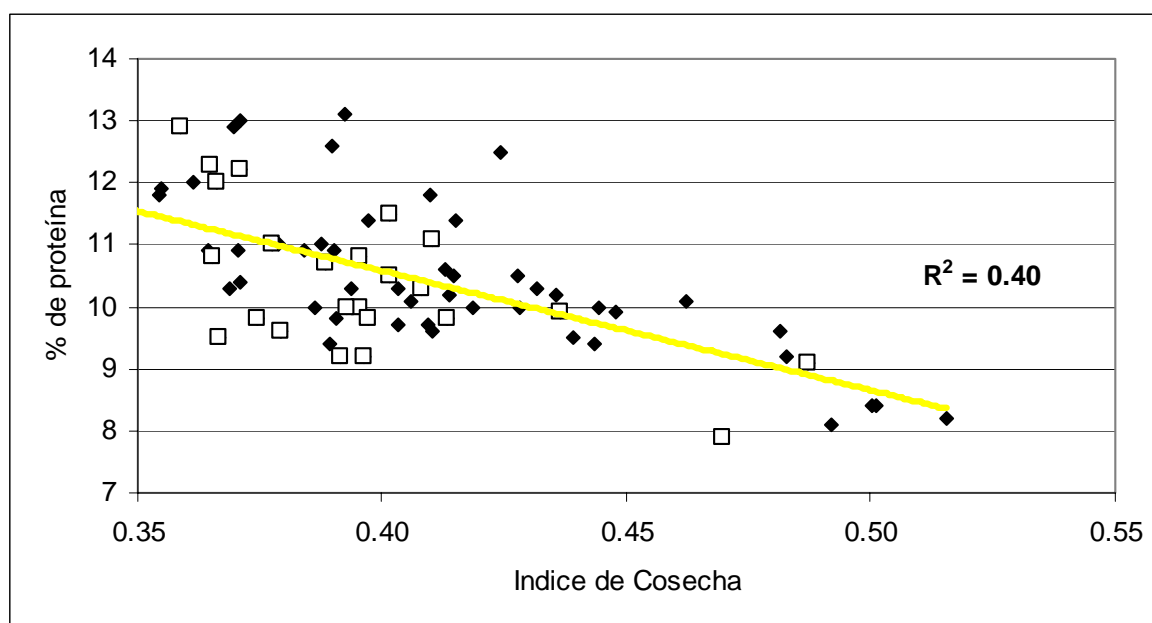
## Introducción

En Uruguay, en las últimas décadas el mejoramiento genético y el avance en prácticas agronómicas, han incrementado el potencial de rendimiento del cultivo de trigo, pero las condiciones ambientales tuvieron un rol fundamental en el promedio nacional de los dos últimos años, cercano a 3 ton./ha. En algunas chacras de productores se cosecharon 5 ton./ha de grano, en tanto que en experimentos, se llegó a doblar ese rendimiento.

Este incremento del rendimiento del cultivo estuvo asociado consistentemente, en particular a nivel de producción, con una disminución de la concentración de proteína del grano, el criterio de calidad más importante en trigo pan.

*¿Pero, es inevitable la relación negativa entre rendimiento y calidad?*

Cuando uno de los criterios de selección del mejoramiento es proteína en el grano, los cultivares que se liberan tienen la base genética para potencial de proteína, pero como ocurre con el potencial de rendimiento, para que se exprese requiere un manejo adecuado. Lo que sí es cierto, es que el mejoramiento genético ha tendido a aumentar el potencial de rendimiento a través de un aumento del índice de cosecha (relación grano/paja) y este hecho aumenta la dependencia de los cultivares a insumos como el N (figura 1).



**Figura 1.** Relación entre IC y proteína en el grano (trigos ciclo largo año 2005).

Para encontrar soluciones al problema de la relación negativa entre rendimiento y % de proteína, es esencial entender por qué ocurre. El objetivo de este trabajo es analizar esa relación procurando establecer un manejo de la fertilización del que disminuya el riesgo de obtener alto rendimiento en grano con baja concentración de proteína. A su vez, si bien la composición de la proteína depende del genotipo, puede verse afectada por el manejo del cultivo por lo que también este efecto debería contemplarse.

<sup>1</sup> Suelos y Manejo de Cultivos, INIA La Estanzuela

## **Proteínas del Grano**

De una forma muy general se puede decir que las proteínas del grano son de dos tipos, citoplásmicas o metabólicas (solubles en agua), y de almacenaje (insolubles en agua), que incluyen gliadinas y gluteninas de las que dependen la calidad de la harina para pan.

### ***Factores que la afectan***

Son numerosos los factores que pueden afectar la proteína del grano, varios incontroles y peor aún, difíciles de predecir, otros, más o menos manejables. Entre los primeros están las condiciones ambientales como: precipitaciones, temperatura del aire, mineralización de nitrógeno (N). La elección del cultivar, la época de siembra, el sistema de labranza, la protección sanitaria, y otras prácticas que alteren directa o indirectamente la disponibilidad de nutrientes y de agua para el cultivo, suelen afectar la proteína del grano. Estos factores son controlables hasta cierto punto, porque su efecto también interacciona con el ambiente.

## **Nutrición del cultivo de trigo y uso de fertilizantes**

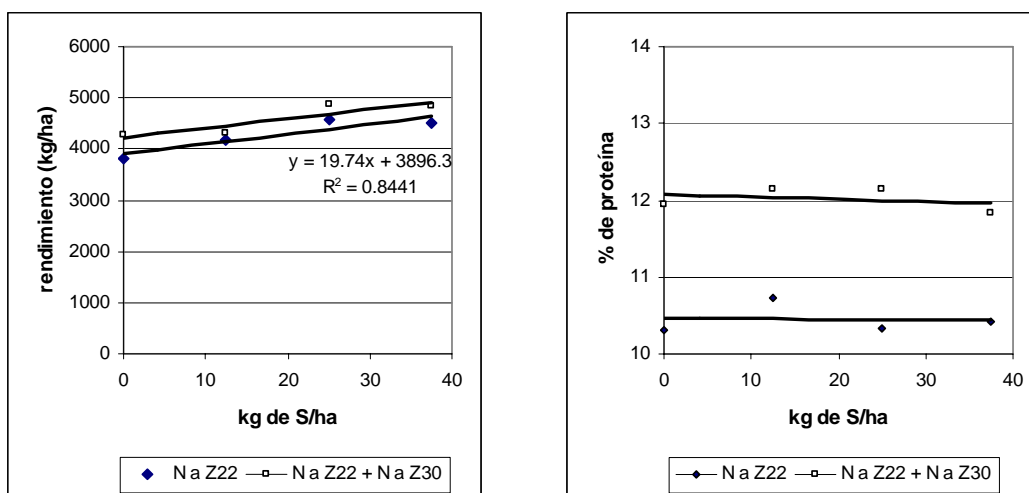
El agua es el factor más limitante del rendimiento del trigo en muchas regiones pero en Uruguay los períodos con exceso hídrico en otoño e invierno son más frecuentes que la falta de agua. No obstante, problemas de infiltración que impiden el buen aprovechamiento del agua de lluvia y/ o capas de suelo compactadas que dificultan la exploración de las raíces, contribuyen a que haya estrés hídrico en etapas críticas del cultivo más frecuentemente de lo esperado, considerando las precipitaciones promedio. La escasez de agua limita la respuesta a los nutrientes.

El cultivo de trigo requiere de 16 nutrientes esenciales entre macro y micro elementos, la diferencia entre ellos es la cantidad que la planta necesita. Los micronutrientes son requeridos en muy pequeña cantidad, pero su deficiencia al igual que la de los macronutrientes puede limitar el desarrollo, la producción de granos y su calidad. El carbono (C), el hidrógeno (H) y el oxígeno (O), son macro elementos que la planta obtiene de la atmósfera y del agua. El nitrógeno (N) y el fósforo (P) los obtiene del suelo y suelen proveerse mediante fertilizantes cuando el suelo no aporta lo suficiente. No hay tradición en el país de fertilizar con azufre (S) o potasio (K) al trigo, el aporte del primero, ha dependido de la aplicación de fertilizantes usados para suministrar otros nutrientes, y el K no es deficiente en la mayoría de los suelos del área triguera. La producción de trigo tampoco se basa en uso de micronutrientes, pues se asume que en la mayoría de los suelos el aporte es suficiente. La deficiencia de macro y micro nutrientes es no obstante, más probable cuando se utilizan cultivares de alto potencial y sistemas de producción muy extractivos, y en INIA hay evidencia experimental al respecto. En este trabajo se hará referencia sólo a los dos nutrientes considerados de mayor incidencia sobre la calidad del trigo, el S y N, pero con énfasis en este último pues su efecto es el más consistente y significativo.

### ***El azufre (S)***

El S forma parte de los aminoácidos cisteína y metionina y otros compuestos esenciales. Un cultivo deficiente en S produce menos granos, de menor tamaño, y en trigo, puede tener efecto negativo sobre la calidad de la harina. La síntesis de proteínas deficientes en S reduce la formación de enlaces S-S y S-H, de los que depende la estructura tridimensional de las proteínas del gluten, y por consiguiente puede afectar propiedades de la masa.

En La Estanzuela se ha visto que el S puede ser insuficiente en etapas tempranas del cultivo de trigo, llegando a afectar la producción inicial de biomasa, pero que su deficiencia tiende a desaparecer a medida que avanza la estación de crecimiento. No obstante, se ha encontrado respuesta en rendimiento a S en rendimiento de trigos de buen potencial, asociada en general, a escasa presencia de residuos frescos en el suelo y/o a compactación. (figura 2).



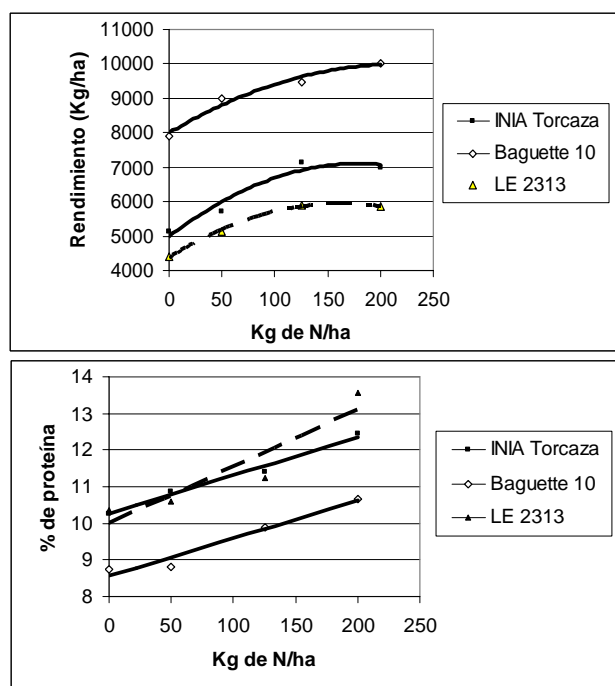
**Figura 2.** Respuesta a Azufre en trigo año 2005. Cultivar I. Churrinche con diferente fertilización nitrogenada

No se ha determinado efecto consistente del S sobre la concentración de proteína del grano pero sí se observó en algunos casos que el S mejoró parámetros de calidad como el Gluten Index, la relación P/L (alveograma) y sobretodo el W, pero lo errático de los resultados sugiere una interacción importante con el genotipo.

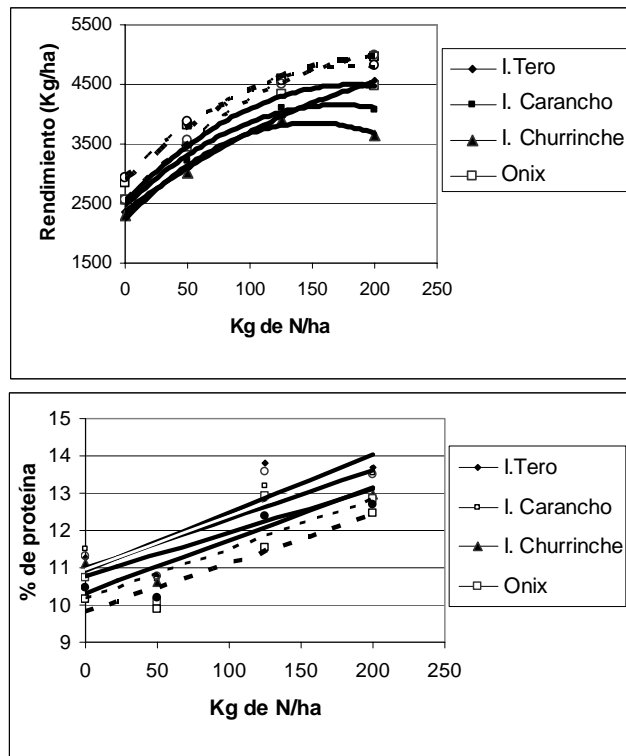
### El nitrógeno

Entre los macro nutrientes es el N el que más comúnmente limita el rendimiento y el de mayor efecto sobre la calidad del grano de trigo. El N en el suelo abunda pero más del 95 % está en forma orgánica y las plantas toman N mineral ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ). La forma mineral más frecuente es el  $\text{NO}_3^-$ , de gran movilidad y sujeto a transformaciones y procesos de pérdida, por lo que en climas húmedos como el nuestro, es mínima la residualidad del N aplicado.

La liberación de N mineral desde los residuos orgánicos suele ocurrir a una tasa insuficiente para satisfacer la demanda en momentos críticos de trigos de alto potencial. En consecuencia, a diferencia de otros nutrientes más fáciles de encontrar en la cantidad adecuada en el suelo, la respuesta a N es la más probable y la de mayor impacto sobre la productividad del trigo. (figura 3a y 3b)



**Figura 3a.** Respuesta a N en rendimiento y % de proteína del grano (año 2005) Trigos: ciclo largo.



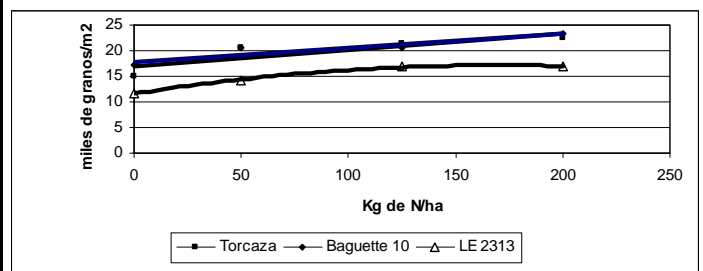
**Figura 3b.** Respuesta a N en rendimiento y % de proteína del grano (año 2005) Trigos: ciclo intermedio.

La concentración del N en los tejidos vegetales varía entre 1 y 5 % de la materia seca. El nutriente es constituyente de aminoácidos, proteínas estructurales y metabólicas, nucleótidos, ácidos nucleicos, clorofila y coenzimas. Cuando ningún otro factor es limitante, el crecimiento del cultivo es directamente proporcional al N disponible. El potencial de rendimiento del trigo está asociado a la capacidad de respuesta a N.

**El N y los componentes de rendimiento**

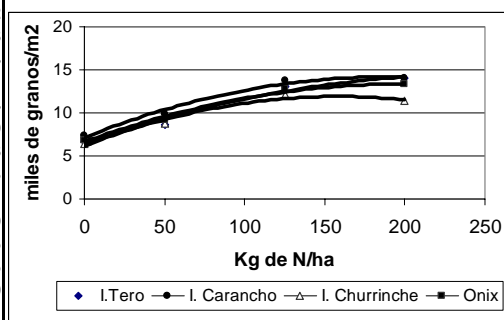
La cantidad de granos por unidad de área es el parámetro que mejor se relaciona con el rendimiento y se obtiene de multiplicar: el número de plantas x las espigas por planta x los granos por espiga. Finalizado el llenado del grano se define el peso de éste, y al multiplicarlo por la cantidad de granos se obtiene el rendimiento final. Todos los componentes del rendimiento pueden beneficiarse con la fertilización nitrogenada, pero el número de plantas depende principalmente de la densidad de siembra, la calidad de la semilla y la condición física del suelo, y el peso del grano es muy dependiente de las condiciones ambientales durante el llenado por lo que el efecto del N es poco consistente (figuras 4a y 4b).

cultivares	dosis N/ha	espigas /m2	espiguillas por espiga	granos/ espiguilla	granos/ ESPIGA	PESO 1000G
INIA Torcaza	0	550	23.1	1.1	22.6	34.4
	50	656	17.9	1.2	22.3	34.6
	125	731	19.4	1.3	26.8	34.4
	200	760	21.7	1.3	27.0	30.8
Baguette 10	0	333	20.3	2.6	45.6	46.8
	50	359	16.7	2.3	44.5	48.8
	125	460	19.5	2.0	38.7	45.8
	200	536	19.2	2.1	40.0	43.8
LE2313	0	407	21.5	1.3	26.6	38.8
	50	428	24.0	1.5	31.4	38.4
	125	604	20.4	1.5	29.4	35.8
	200	635	20.6	1.6	33.3	34.8



**Figura 4 a.** Efecto del N sobre los componentes del rendimiento. Ciclos largos año 2005.

cultivares	dosis N/ha	espigas /m <sup>2</sup>	espiguillas por espiga	granos/ espiguilla	granos/ ESPIGA	PESO 1000G
INIA Tero	0	264	17.68	1.9	34.5	35.7
	50	279	17.32	2.1	36.4	36.2
	125	308	18.90	2.2	40.8	30.8
	200	273	19.35	2.0	38.8	32.4
I. Carancho	0	273	16.79	1.9	32.3	34.4
	50	299	17.33	1.8	30.5	32.9
	125	351	18.88	2.0	38.6	29.8
	200	359	19.81	1.8	36.6	29.3
I. Churrinche	0	320	14.93	1.9	28.0	35.9
	50	332	16.26	1.7	27.1	34.5
	125	411	17.82	1.8	31.3	32.5
	200	397	16.39	1.9	31.7	32.0
Onix	0	282	14.18	2.0	28.4	37.2
	50	333	15.36	1.9	28.8	37.3
	125	343	15.87	2.1	33.7	33.9
	200	384	16.13	2.0	31.4	33.6



**Figura 4 b.** Efecto del N sobre los componentes del rendimiento. Ciclos Intermedios año 2005.

Aunque el N puede tener efecto positivo sobre cada componente individual ocurren fenómenos compensatorios entre componentes del rendimiento, y el aumento de uno por lo común, está asociado a la caída de otro. De este modo, el mismo rendimiento en grano puede obtenerse con diferentes combinaciones. Es importante tener esto presente al tratar el tema calidad del grano, porque el efecto del N sobre los componentes de rendimiento varía según el momento en que se aplica, y la cantidad de N que pueda acumular el grano dependerá también de la estructura del rendimiento.

La respuesta al N aplicado temprano (siembra-inicio del macollaje) en número de macollos por planta y biomasa es prácticamente lineal, y en menor grado, la de espigas hasta un alcanzar valor máximo. Existe un valor mínimo o de suficiencia para cantidad de espigas por unidad de superficie que debe obtenerse para lograr el potencial de un cultivo, y que varía según el ciclo del cultivo. Aplicaciones hacia fin del macollaje promueven el desarrollo individual de macollos y su sobrevivencia.

Las espiguillas comienzan a formarse al inicio del macollaje y el proceso termina cuando la caña comienza a alargarse. La aplicación de N posterior a esta etapa no afecta al número de espiguillas por espiga, uno de los parámetros que determina la producción de granos por espiga, pero puede modificar el otro, los granos por espiguilla. La iniciación floral comienza a mediados del macollaje y termina poco antes de que el cultivo espigue, coincidiendo en gran parte con el crecimiento de la caña y por ende, compitiendo por N. A floración quedan sólo 4 o 5 flores por espiguilla y una adecuada disponibilidad de N y otros nutrientes, aumenta la fertilidad de esas flores. También el llenado de grano puede verse favorecido por la disponibilidad de N si contribuye al mantenimiento de la fotosíntesis.

### Origen del N de las proteínas del grano

El N asimilado por la planta previo a floración puede ser transportado al grano y de hecho constituye la mayor parte del N utilizado en la síntesis de proteínas del grano. El genotipo y el ambiente pueden afectar la eficiencia del proceso de movilización de ese N.

*La eficiencia de uso de N es la proporción del N acumulado en órganos vegetativos que llega al grano y oscila entre 50 y 60 %, pero puede llegar a más de 80% en trigos de alto potencial. Estos cultivares pueden además tener mayor capacidad de absorber N luego de floración, aunque esto parece depender más de factores ambientales que genéticos.*

La proporción del N asimilado movilizadora al grano disminuye si la disponibilidad de agua es escasa o excesiva, depende también de la absorción de N y otros nutrientes durante el llenado del grano, de la presión de enfermedades y del patógeno involucrado. Bajo condiciones similares, genotipos resistentes suelen ser más eficientes que los que no lo son.

## *Índice de Cosecha*

El potencial de rendimiento de un cultivo es determinado por la producción total de biomasa y el índice de cosecha, y la relación entre la fuente de N (hojas, tallos, etc.) y la fosa (granos), depende esencialmente del N disponible. Como el N del grano proviene en su mayor parte, de los tejidos vegetales, su acumulación en el grano está limitada por la fuente y depende poco de la duración del llenado del grano. En cambio la acumulación de carbono no está limitada por la fuente, por lo que la variación debida al ambiente puede resultar mucho mayor que para el N.

### *Efecto de la duración del llenado del grano*

Como la duración del llenado del grano está determinada principalmente por la acumulación térmica, un incremento en temperatura media diaria acorta ese lapso, disminuyendo la acumulación de C en el grano. Un mecanismo compensatorio entre duración del llenado del grano y tasa de movilización del N al grano (aumenta con la temperatura) permite buena acumulación de proteína, pudiendo el índice de cosecha de N llegar a 80 %.

Por el contrario, un clima fresco durante el llenado del grano prolonga el proceso e incrementa la acumulación de C (síntesis de almidón), pero la cantidad de N movilizada al grano puede permanecer constante. El resultado final será granos con más materia seca y menos concentración de proteína.

La interacción entre temperatura y agua está poco estudiada. No obstante, cuando la disponibilidad de agua y N en el suelo permite la absorción tardía de N, se tiende a compensar el desbalance entre fuente y fosa, porque tiene poco efecto sobre esta última. Al respecto habría diferencias entre genotipos y seguramente, de la interacción con el estado sanitario. En esa situación, además, es probable que sea mayor la eficiencia de movilización del N asimilado al grano.

El N movilizado proviene de la degradación de proteínas, una gran proporción de ellas, involucrada con la fotosíntesis (clorofila). La tasa de degradación de las proteínas vegetales es menor si hay N disponible para la planta, y si éstos compuestos esenciales para mantener su actividad pueden ser regenerados, ello requiere N.

Un aspecto importante determinado en estudios recientes sobre la acumulación de N en el grano, es que la eficiencia de movilización del N disminuye cuanto mayor ha sido el tiempo de residencia de la proteína en el tejido vegetal.

### *Calidad de la proteína*

Otro tema es el relativo a la calidad de la proteína del grano. Las gliadinas y gluteninas empiezan a acumularse algunos días después de la floración y hasta el fin del llenado del grano. Son proteínas que usará la semilla como fuente de N para la germinación y desarrollo de la plántula. Según estudios de fisiología, la síntesis de gliadinas y gluteninas en el grano no ocurre en forma sincronizada. Las gliadinas empiezan a acumularse primero, por lo tanto, si la temperatura, falta de agua, enfermedades, acortan el llenado del grano, habrá proporcionalmente más gliadinas, lo que afectará la calidad, pues de la relación gliadinas:gluteninas depende las propiedades reológicas de la masa.

La disponibilidad de N aumenta la cantidad de proteína total del grano al incrementar la cantidad gliadinas y gluteninas, lo que es considerado beneficioso desde el punto de vista de la calidad panadera. La correlación entre proteína del grano y el gluten es alta (osciló entre 0.83 y 0.96 en experimentos del 2005). Aunque menos estrecha, existe correlación entre proteína y el valor W del alveograma (en el 2005 varió entre 0.70 y 0.96). Se creía que la fertilización con dosis altas de N incrementaba más las gliadinas que las gluteninas por lo que podía haber un efecto negativo sobre la calidad, pero estudios recientes han demostrado que ese efecto también depende del genotipo.

## **Importancia de la nutrición nitrogenada**

Del análisis anterior de los procesos de formación del rendimiento y de acumulación de proteína en el grano, y los factores que pueden afectarlos, surge por un lado, la importancia que tiene la disponibilidad de N sobre la calidad del grano de trigo. La información nacional y extranjera es coincidente en cuanto a que con dosis crecientes de fertilizante nitrogenado se tiende a aumentar la proteína acumulada en el grano, independientemente del cultivar, mejorando la aptitud panadera. En cambio, existen diferencias entre cultivares respecto al efecto del N sobre la calidad de la proteína.

Por otro lado, queda en evidencia la dificultad de manejar al N adecuadamente dada la interacción con el ambiente. Por un lado el ambiente determina el rendimiento potencial y el requerimiento de N del cultivo; por otro, la cantidad de N asimilado pre-floración y la eficiencia de su movilización al grano, pero además, afecta la duración del llenado del grano, la acumulación de hidratos de carbono y la mineralización de N del suelo.

### ***Manejo del N para incrementar la proteína del grano***

A pesar de la complejidad del tema, dado el impacto del N sobre la productividad del trigo debe intentarse un uso racional del insumo que integre rendimiento y calidad. Estos son aspectos diferentes pero íntimamente relacionados, y además, del rendimiento que se obtenga va a depender la posibilidad de adoptar prácticas culturales para mejorar la calidad del grano.

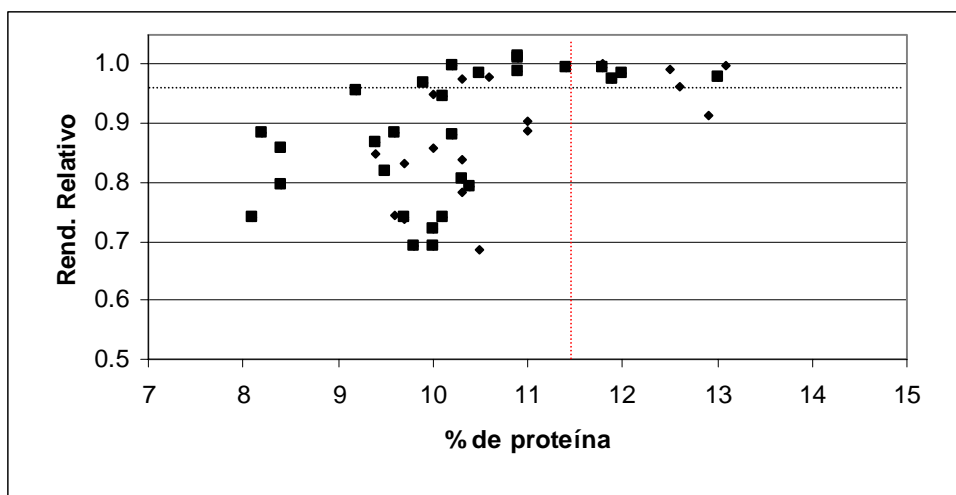
Para que se exprese el potencial de rendimiento del cultivo de trigo es esencial asegurar su implantación y un rápido crecimiento inicial. Esto requiere entre otros factores, disponibilidad de N en el suelo, pero no altas dosis de N. La fertilización a la siembra o recién iniciado el macollaje tiene el objetivo de incrementar la producción de materia seca y el rendimiento final. Pensar en incrementar la proteína del grano, usando en esa etapa del trigo dosis de N que optimicen el rendimiento no es recomendable, ni desde el punto de vista económico, ni desde el punto de vista ambiental.

En etapas tempranas del cultivo es difícil estimar el rendimiento aunque se conozca el potencial de la variedad, porque aún no se definió un componente fundamental, el número de espigas por unidad de superficie. Pero aunque el rendimiento se pudiera estimar con razonable exactitud, si fuera necesario fertilizar con una cantidad muy alta de N, al aplicarlo temprano, es mayor el riesgo de baja la eficiencia de la fertilización. En ese caso el N liberado del fertilizante será más susceptible a perderse, puede aumentar la incidencia de plagas y enfermedades, provocar macollaje excesivo, vuelco, mayor consumo de agua, entre otros efectos indeseables.

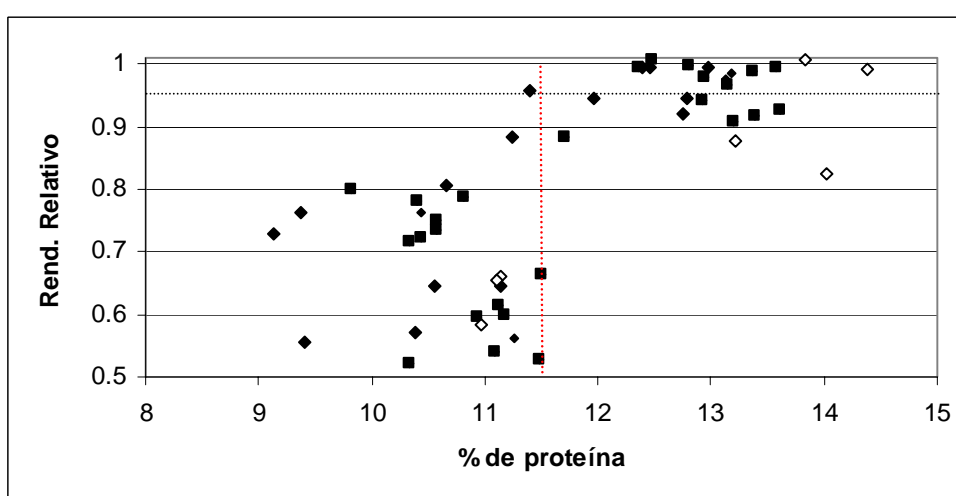
La primera recomendación de manejo es aplicar N temprano si el N mineral es escaso, ajustando la cantidad según el análisis de suelo (nitrato, o nitrato y amonio) y a que esté o no previsto fertilizar al cultivo al inicio del macollaje (Z22). Sea cual sea el manejo posterior, no es conveniente aplicar dosis mayores a 60 kg de N/ha, esto no significa que el cultivo no pueda tener requerimientos más altos. Los cultivares de alto potencial y según el sistema de producción, pueden requerir dosis muy alta de N para que se exprese su potencial, pero en ese caso, y para nuestras condiciones, conviene fraccionarla.

Finalizado el macollaje, el cultivo absorbió aproximadamente un tercio de la absorción total de N. En ese estado de desarrollo es más fácil estimar el rendimiento esperable, y la dosis de N requerida para el óptimo económico (DOE), utilizando el análisis de plantas (% de N). La fertilización con N al inicio del encañado con la DOE ha demostrado mantener la concentración de proteína del grano a nivel aceptable, si bien en el 2005, con los rendimientos muy altos obtenidos experimentalmente en los ciclos largos, se obtuvo en promedio menos de 11.5% de proteína. (Figura 5 y 6)





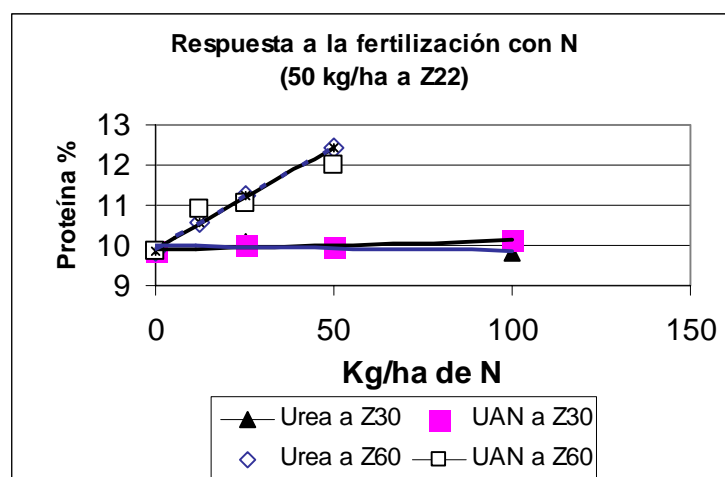
**Figura 5.** Relación entre % de proteína y rendimiento relativo al máximo; con la DOE se obtuvo en promedio 95 % del máximo rendimiento. Ciclos largos año 2005.



**Figura 6.** Relación entre % de proteína y rendimiento relativo al máximo; con la DOE se obtuvo en promedio 94 % del máximo rendimiento. Ciclos intermedios año 2005.

El N absorbido desde que comienza el trigo a espigar en adelante, contribuirá principalmente a incrementar la proteína del grano, a través de nueva asimilación de N, si es posible, y favoreciendo la eficiencia de movilización de N al grano. Si en esa etapa hay N disponible, la proteína del grano puede aumentar aunque el rendimiento sea alto, pero se ha observado que ese efecto es variable según la conformación del rendimiento. La disponibilidad de N es alta cuando hay un buen suministro de N mineral y además éste es accesible para la planta, lo que implica adecuada disponibilidad de agua. El suministro de N mineral puede ser bueno en suelos de alto potencial de mineralización (PMN). Existe evidencia experimental que sugiere que en siembra directa la disponibilidad de N mineral en etapas tardías del cultivo es menor que en convencional. Este hecho es atribuible en parte a la demanda de N de una mayor población microbiana en crecimiento pero depende del tipo, cantidad y distribución de los residuos presentes.

La fertilización nitrogenada entre espigazón y floración, cuando es poco probable que afecte el rendimiento del cultivo, aumenta el N mineral disponible y tiende a incrementar el porcentaje de proteína del grano (figura 7 y 8). Esa fertilización puede ajustarse también en base al estado nutricional de la planta y rendimiento esperable, pero no habrá respuesta si no hay suficiente agua disponible, por lo que es una práctica poco segura. La fertilización a fin del macollaje o inicio del encañado con la DOE es en este sentido, una práctica más segura, que disminuye el riesgo de que ocurra dilución de la proteína del grano y el costo del N es pagado con el incremento en grano; implica un aumento en costos variables de producción pero también aumenta el margen bruto/Ha.



Respuesta a N a espigazón:

-20 kg de N/ha a espigazón aumentó

1 pto. porcentual la proteína en I. Torcaza

A Z30 la respuesta en grano fue lineal, 13 kg de grano por kg de N aplicado, y el efecto sobre la proteína fue escaso o nulo

**Figura 7.** Respuesta del % de proteína a la fertilización con N a fin de macollaje y a espigazón. I. Torcaza (año 2005)

Fertilización con N (kg/ha)	Proteína %	Gluten	W (alveograma)
Control sin N	10.1	21.0	168
50 a inicio macollaje (Z22)	9.9	21.3	238
50 a Z22 + 50 a fin macollaje	10.0	21.2	195
50 a Z22 + 50 a inicio espigas	12.20	31.9	388

**Figura 8.** Efecto de la fertilización con N sobre la proteína del grano. I. Torcaza año 2005

*Pero con el rendimiento potencial de algunos trigos nuevos y el menor aporte de N de sistemas intensivos de producción, esto puede significar tener que fertilizar con dosis muy altas de N (figura 9), convirtiéndose en el insumo de mayor peso sobre la estructura de costos, y por otro lado, con un enorme potencial de contaminación ambiental que no debe desestimarse.*

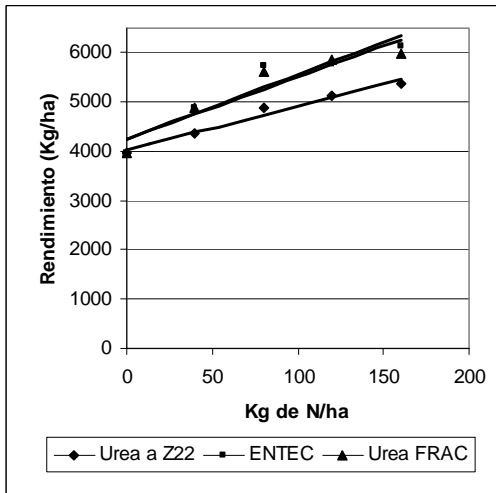
RENDIMIENTO	Intercepto	Coef. lineal	Coef. cuadrático	DOE	Rend. OE	Rend. Rel. al Max.F
Baguette 10	7825	18.00	0.0413	133	9490	0.97
Ciclo largo	4670	19.97	0.0562	103	6000	0.95
PROTEINA	Intercepto	Coeficiente lineal	Coef. cuadrático	DOE	% proteína	Rel. Max.
Baguette 10	8.1	0.0098	-	133	9.4	0.94
Ciclo largo	9.7	0.0117	-	103	10.9	0.94
RENDIMIENTO	Intercepto	Coef. lineal	Coef. cuadrático	DOE	Rend. OE	Rend. Rel. al Max.F
Ciclo Intermedio	2608	19.60	0.0508	124	4258	0.94
PROTEINA	Intercepto	Coeficiente lineal	Coef. cuadrático	DOE	% proteína	Rel. Max.
Ciclo Intermedio	10.5	0.0138	-	124	12.3	0.93

Valores promedio de 6 cultivares

**Figura 9.** Respuesta a N, rendimiento y % proteína, dosis óptimas de N, año 2005

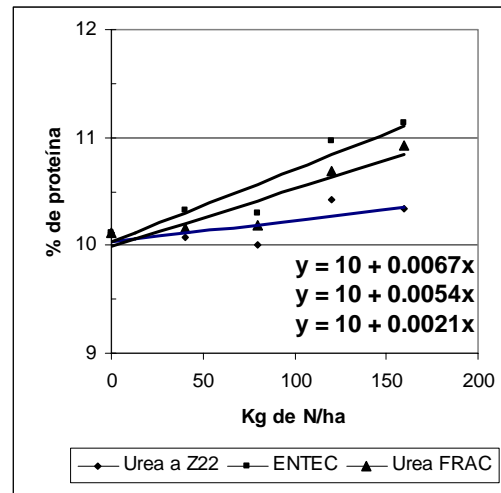
## Otras fuentes de N

Un fertilizante de liberación lenta de N o inhibidores de la nitrificación pueden tener un efecto similar al fraccionamiento del N, mejorando la disponibilidad de N tardío al reducir la exposición del nutriente a pérdidas naturales en el suelo, y evitando otros efectos indeseables sobre el cultivo que ocasionan las dosis altas tempranas. En consecuencia la proteína del grano podría mejorar sensiblemente, pero en la actualidad la relación costo:beneficio no permite su adopción a pesar de que habría efecto positivo según información reciente (figura 10, 11, 12 y 13).



Eficiencia

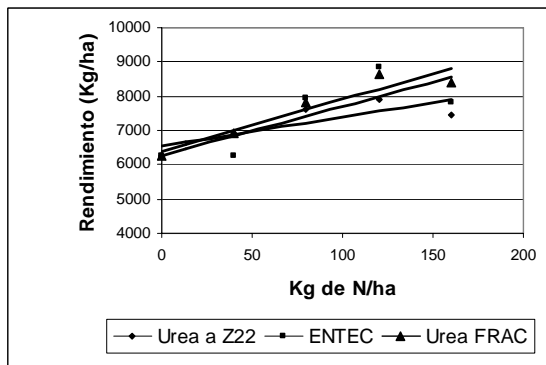
Urea a Z22: 9 kg de grano por kg de N  
 ENTEC (inh. de nitrificación) o Urea Fraccionada Z22- Z31: 13 kg de grano por kg de N



Dosis de N para Incrementar

1 pto. porcentual la proteína del grano: con la fuente más eficiente ENTEC (inh. de nitrificación): 150 Kg/ha a Z22

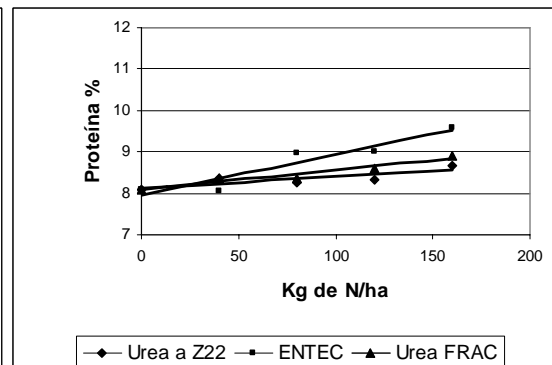
**Figura 10.** Efecto de la fuente o la forma aplicación del N sobre el rendimiento y la proteína del grano en I. Torcaza, año 2005



Eficiencia

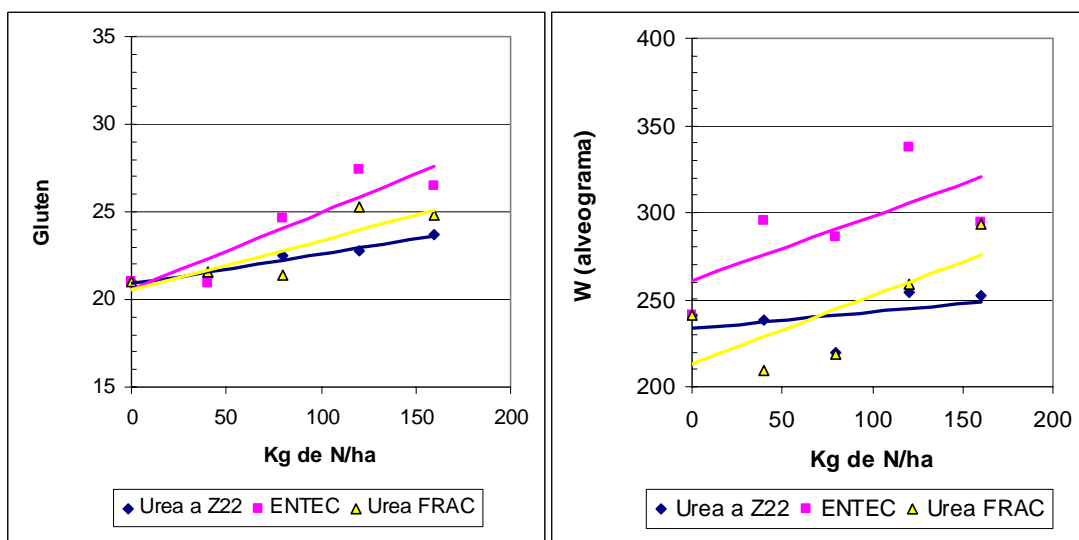
Urea a Z22: 9 kg de grano por kg N

ENTE C o urea Fraccionada Z22-Z31: 15 kg de grano por kg de N



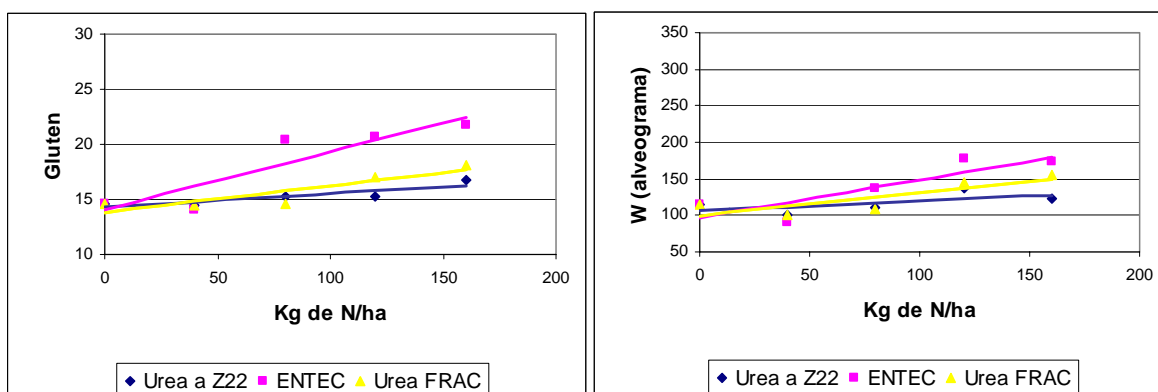
ENTE C 100 kg de N/ha para incrementar 1 pto porcentual (300 para llegar a 11%)

**Figura 11.** Efecto de la fuente o la forma aplicación del N sobre el rendimiento y la proteína del grano Baguette 10, año 2005



Eficiencia > de la fuente de N con inhibidor de nitrificación pero sobretodo, hace suponer un balance diferente gliadinas:gluteínas Considerando las diferencias en W en uno y otro caso

**Figura 12.** Efecto de la fuente o la forma aplicación del N sobre calidad de la proteína del grano. I. Torcaza año 2005.



**Figura 13.** Efecto de la fuente o la forma aplicación del N sobre calidad de la proteína del grano. Baguette 10, año 2005.

La relación insumo producto para el N en trigo, fue muy constante por décadas pero en los últimos años aumentó de 4 a casi 7 (7 kg de trigo por kg de N). Cuando el aporte de N del suelo es insuficiente y el manejo del cultivo adecuado, la respuesta promedio es mayor a 7 kg de grano por kg de N aplicado, por lo que aún resulta económico fertilizar al cultivo con N. No obstante, el costo de la unidad de N está relacionado a la variación del precio del petróleo el que es previsible siga aumentando de futuro.

La necesidad de fertilizar con dosis muy altas de N para que se exprese el potencial de rendimiento y de proteína de trigos de alto potencial implica un riesgo para la sostenibilidad del sistema de producción. Una alternativa razonable es pensar en un sistema que integre leguminosas que provean buena parte del N requerido. El N fijado por las leguminosas es en potencia una fuente de N de liberación lenta. En sistemas de agricultura continua, usar una leguminosa como abono verde, en lugar de la pastura mixta de los agrícola-ganaderos, puede reducir el uso de fertilizantes sintéticos. Se debe profundizar los estudios de tasas de mineralización bajo siembra directa y probablemente, de técnicas de diagnóstico para ajustar la necesidad de fertilización con N complementaria.

Además de la fijación de N, la leguminosa puede disminuir la presión de enfermedades, mejorar el control de malezas, e incluso reducir la probabilidad de excesos de agua en etapas tempranas del cultivo lo que puede mejorar la eficiencia de recuperación del N de los fertilizantes.

## Consideraciones finales

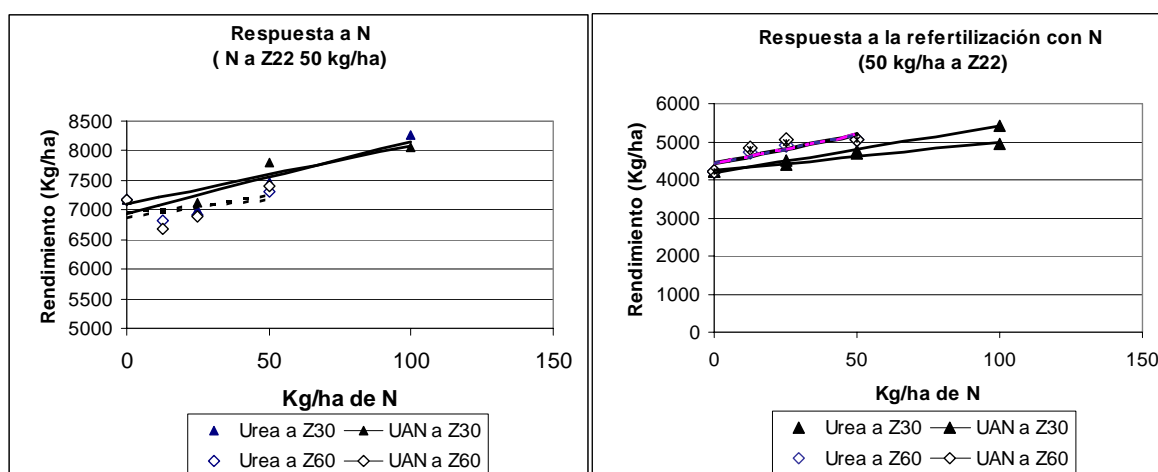
Si algún factor durante el desarrollo del cultivo reduce la respuesta a la fertilización nitrogenada y el potencial de rendimiento, el efecto del N sobre la proteína del grano tenderá a ser positivo. En caso contrario es cuando puede haber problema entre la fertilización con N, la respuesta en rendimiento y % de proteína del grano.

Alguna de las variables a manejar para mejorar la proteína del grano y reducir la probabilidad de ocurrencia de la relación negativa entre rendimiento y calidad serían:

- 1) elegir una variedad de buen potencial de proteína (cantidad y calidad);
- 2) fraccionar la fertilización nitrogenada aplicando buena parte del insumo hacia fin del macollaje para promover tanto la fuente de N como la producción de granos;
- 3) tomar muestras de suelo y plantas para ajustar la cantidad de N a aplicar y tener en cuenta el rendimiento esperado, (aplicar la DOE)
- 4) cuando no se fertilizó con la DOE o se cree se subestimó, aplicar N entre espigazón y floración siempre y cuando el agua no sea limitante. En este caso la cantidad a aplicar también debería basarse en el diagnóstico foliar y la expectativa de rendimiento.

Cuando el N agregado es usado muy eficientemente por el cultivo para producir grano (por Ej.: dosis bajas del nutriente siendo deficiente el aporte del suelo y alta la demanda del cultivo), tiende a incrementar el índice de cosecha (figura 15). Si además se prolonga el período de llenado del grano, es mayor la probabilidad de que la proteína del grano se diluya, pero con disponibilidad de N tardío es menos probable que la proteína caiga en forma significativa.

En los años 2004 y 2005 los rendimientos de trigo tendieron a ser altos, el período de llenado del grano relativamente bueno, lo que tendió a acumular más hidratos de carbono que en un año promedio, pero probablemente la cantidad de N aplicada por los productores fue similar a la de un año normal. En este sentido, a nivel de productor, la sustitución de la Urea por UAN ha tendido a que se reduzca la cantidad de N aplicada, por considerarse más eficiente al UAN, pero los resultados del 2005 no demuestran diferencias significativas entre esas fuentes para dosis bajas o medias de N como las utilizadas por los productores (figura 14). Las dosis subóptimas de N promovieron probablemente una gran respuesta en grano, y el N asimilado en la biomasa no alcanzó para mantener la concentración de proteína del grano por lo que hubo un efecto de dilución (figura 15 y 16).



**Figura 14.** Respuesta del rendimiento en grano a la aplicación de N como UAN o Urea en Baguette 10 e INIA Torcaza.

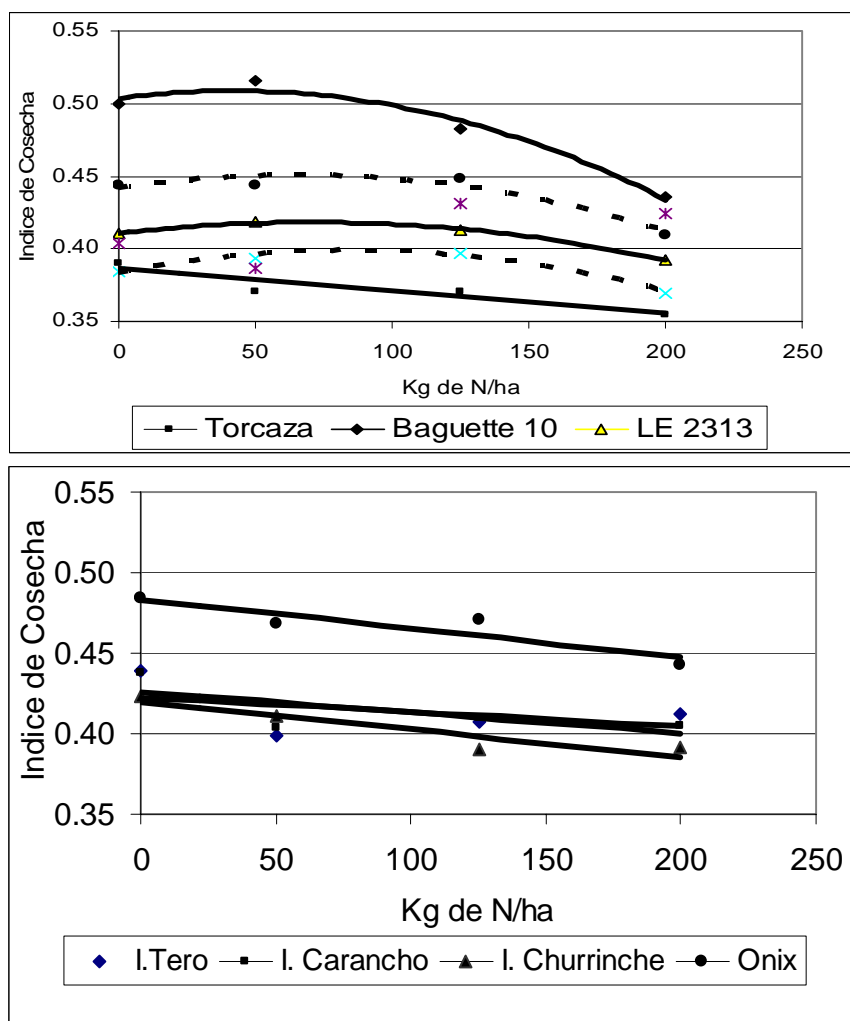
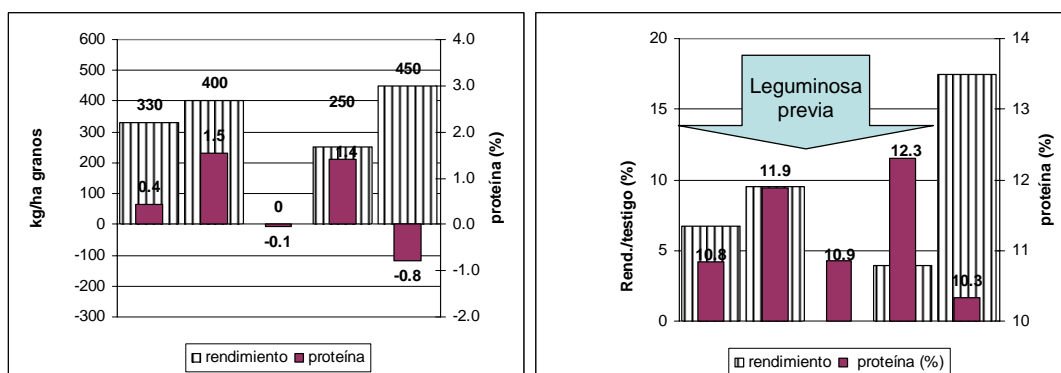


Figura 15. Respuesta a N del índice de cosecha en ciclos largos e intermedios de trigo, año 2005



Incrementos en grano al corregir el N a Z22 y el efecto de esa fertilización sobre la proteína (%). Este fue negativo cuando el N fue más limitante y mayor el impacto sobre el rendimiento..

Figura 16. Efecto de la corrección con N (urea) sólo a Z22 en diferentes situaciones de aporte del suelo, sobre el incremento en grano y el tenor proteico. I. Churrinche año 2005

*La fertilización con N tardío hubiera sido beneficiosa en lugares donde el agua no fuese limitante. No obstante la factibilidad económica de esa práctica para incrementar la proteína del grano depende de que la industria premie por proteína.*

*Por último, aunque no hay duda respecto al beneficio de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento en grano y la proteína, el manejo del cultivo para que se exprese el potencial, conduce a un aumento en la cantidad necesaria de fertilizantes. La mayor dependencia de insumos como el N, es un*

*potencial de contaminación, por lo que la búsqueda de tecnologías alternativas es esencial para la sostenibilidad del sistema.*

**Literatura Recomendada:**

144 Serie Técnica. Manejo de la fertilización con nitrógeno en trigo y su interacción con otras prácticas agronómicas.

Documentos on-line. Respuesta a la Fertilización con Azufre en Trigo Pan.

Actividades de Difusión N° 404. Jornada de Cultivos de Invierno, abril 2005.

## Aspectos sanitarios y su incidencia en la calidad y el rendimiento

Martha Díaz<sup>1</sup>, Adriana García<sup>1</sup>, Daniel Vázquez<sup>1</sup>, Silvia Germán<sup>1</sup> y Silvia Pereyra<sup>1</sup>

### Introducción

El cultivo de trigo está sujeto a diferentes estreses: mecánicos, fisiológicos y biológicos. En el grupo de los biológicos se encuentran las enfermedades causadas por hongos (Wiese, 1987). En el país las principales enfermedades foliares que afectan al cultivo son la roya de la hoja, causada por *Puccinia triticina* y las manchas foliares causadas por *Septoria tritici* y *Pyrenophora tritici-repentis* (*Drechslera tritici-repentis*). A nivel de espiga, la principal enfermedad es la fusariosis de la espiga causada por varias especies de *Fusarium*, dentro de las cuales predomina *Fusarium graminearum*.

Las enfermedades antes mencionadas junto con las condiciones climáticas, históricamente han sido responsables principales de las fluctuaciones de los rendimientos en el Uruguay. Su efecto en el rendimiento en grano, peso hectolítrico y peso de grano ha sido reportado en el pasado, pero poco se ha informado sobre su efecto a nivel de la calidad industrial (Díaz de Ackermann, 2001).

El objetivo de esta presentación es relacionar el efecto de las principales enfermedades en el país, no sólo con el rendimiento y la calidad física del grano (peso de grano y peso hectolítrico), sino además con la calidad industrial.

### Cambios en la planta de trigo causados por las enfermedades

Las enfermedades no sólo afectan el área foliar sino que también afectan otros procesos de las plantas. La roya de la hoja produce cambios estructurales, hormonales y metabólicos. En los primeros días después de la infección, se producen cambios en los tejidos de las plantas que aseguran la nutrición del hongo. El núcleo y los nucleolos de las células vegetales se agrandan y aumenta la síntesis de RNA y de proteína en el citoplasma. Después de los 10 días, la célula de la planta enferma comienza a degenerarse, a través de un proceso de autólisis y los cloroplastos pierden clorofila. Tanto la presencia física del hongo como la de sus metabolitos dañan las células del huésped, perdiendo iones, azúcares, aminoácidos, etc. A nivel hormonal la citoquinina induce la respuesta inicial a la infección. La auxina aumenta al principio, pero no está claro qué ocurre en el proceso de esporulación del hongo. La senescencia prematura y el amarillamiento son debidos al aumento de etileno y de ácido abscísico. La fotosíntesis y la fotorespiración se reducen, mientras que la respiración aumenta. Los carbohidratos (sacarosa, glucosa y fructosa) usualmente se incrementan en los primeros días después de la infección y luego declinan (Bushnell y Roelfs, 1982).

La septoriosis produce cambios estructurales y metabólicos. Doce horas después de la infección (hdi), el micelio del hongo se aloja en la cavidad subestomática. Desde 48 hdi a 8 días después de la infección (ddi) se produce el crecimiento micelial intercelular y el cambio en la forma de los cloroplastos, que se condensan y junto con los núcleos se realojan cerca de la pared celular por el agrandamiento de la vacuola central. Ocho ddi la pared celular colapsa y hay una rápida y masiva muerte de las células huésped. Se produce un rápido crecimiento micelial por liberación de nutrientes de las células muertas. La fotosíntesis se reduce (Kema, 1996).

Una de las características de los hongos causales de las manchas foliares es la producción de fitotoxinas, metabolitos secundarios que impiden las funciones celulares de las plantas sin la necesidad del contacto directo del hongo con la célula vegetal. Las más estudiadas en trigo han sido las producidas por *P. tritici-repentis*, toxinas específicas responsables de producir necrosis y/o clorosis.

### Estados vegetativos de desarrollo del cultivo

La incidencia y/o severidad alcanzadas en el cultivo va a depender de varios factores: el cultivo previo, tipo de laboreo, cantidad de inóculo, condiciones climáticas, fertilización, vuelco, huéspedes

---

<sup>1</sup> INIA La Estanzuela



alternativos, variedades sembradas y finalmente del control químico (The Agronomist, Issue 1/2003, BASF).

A su vez el efecto de la severidad de infección sobre el rendimiento y calidad va a depender del estado vegetativo que tiene la planta. Infecciones tempranas afectan las plantas/m<sup>2</sup>, espigas/planta y espiguillas/espiga, mientras que infecciones más tardías afectan los granos/espiguilla y el peso de grano (Slafer y Whitechurch, 2001).

### Efecto de las enfermedades en el rendimiento y calidad física

La información disponible sobre el efecto de la septoriosis en el rendimiento es muy vasta. El primer informe data de 1967, en el que se reporta una disminución del rendimiento del orden del 60% (Manzini *et al*, 1970). Posteriormente, desde 1976 hasta 2002 se instalaron en La Estanzuela, ensayos de evaluación de daño, en siembras tempranas y sin limitante de nitrógeno, donde se expresa mejor la enfermedad sin interacción con otras enfermedades. En dichos ensayos el máximo valor de disminución de rendimiento registrado fue 64 % para el período 1974-1979 (Díaz de Ackermann, 2001).

Para roya de la hoja se reportó en 1978 una pérdida de 54% (Germán, 1982). Ensayos posteriores (1995-98) también registraron una pérdida máxima de igual magnitud, Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Efecto de las enfermedades en el rendimiento de grano.

Enfermedad	Pérdida máx.	Rend. kg/ha	
		3000	5000
Septoriosis	64	1920	3200
Fusariosis	31	930	1550
Roya de la hoja	54	1620	2700

Para septoriosis, la máxima disminución del peso de 1000 granos (PMG) reportada fue 27% en 1993 (Díaz de Ackermann, 1996) y 22% del peso hectolítrico (PH). En parcelas con infección natural de royas de la hoja y del tallo, la máxima disminución del PMG reportada fue 39% en 1978 y 16% del PH (Germán, 1982).

En el Cuadro 2 se presenta información de los ensayos de evaluación de daño de dos años contrastantes, 1999 sin problemas de enfermedades y 2001 con problema de fusariosis de la espiga, manchas foliares y roya de hoja. En 1999 no se obtuvo respuesta a la aplicación de fungicidas mientras que en 2001 se observaron grandes diferencias debidas principalmente a la fusariosis de la espiga. El rendimiento de grano disminuyó en las parcelas sin fungicidas entre 33 y 38%, el PH entre 0,5 y 5% y el PMG entre 12,6 y 23,6%

**Cuadro 2.** Efecto de las enfermedades en el rendimiento, peso de 1000 granos y peso hectolítrico, en años contrastantes de incidencia y severidad de enfermedades.

Cultivar	Año	Rend.	P.H.	P.M.G.
		Kg/ha	kg/hl	g
I.Tijereta S/F	1999	4354	81.0	32.2
I.Tijereta C/F	1999	4436	80.4	32.1
I.Tijereta S/F	2001	1363	71.8	18.5
I.Tijereta C/F	2001	2035	75.6	24.2
I. Boyero S/F	1999	4087	85.0	36.7
I. Boyero C/F	1999	4320	85.4	37.5
I. Boyero S/F	2001	934	66.6	25.7
I. Boyero C/F	2001	1504	66.9	29.4

## Efecto de las enfermedades en la calidad industrial

Para evaluar el efecto de las enfermedades en el rendimiento en grano, PMG, porcentaje de proteína y fuerza del gluten (W), se utilizó información proveniente de ensayos más recientes (2003 a 2005) de Tecnologías para Alto Rendimiento. Los tratamientos usados fueron los que incluían la dosis más alta de nitrógeno para asegurar que este nutriente no fuera limitante y los tratamientos con y sin fungicidas, aplicados periódicamente para un control total de las enfermedades. Las variedades seleccionadas fueron de buena calidad (INIA Churrinche y Baguette Premium 13 de ciclo intermedio e INIA Torcaza de ciclo largo) y de mala calidad (Baguette 10 de ciclo largo) (García y Díaz, 2004 y 2005).

En el grupo de los cultivares de ciclo intermedio, la aplicación de fungicida en el cv. INIA Churrinche aumentó el rendimiento en grano y el PMG, produjo poco cambio en el porcentaje de proteína para los niveles de proteínas presentados en los ensayos (mayor a 11%). El W acompañó la tendencia del porcentaje de proteína, Figura 1. Para el caso del cv. Baguette Premium 13, también la aplicación de fungicida aumentó el rendimiento en grano y el PMG. El porcentaje de proteína bajó comparado con el tratamiento sin fungicida en el 2003 y se mantuvieron iguales en el 2004, a niveles superiores de proteína. El W se redujo, Figura 2.

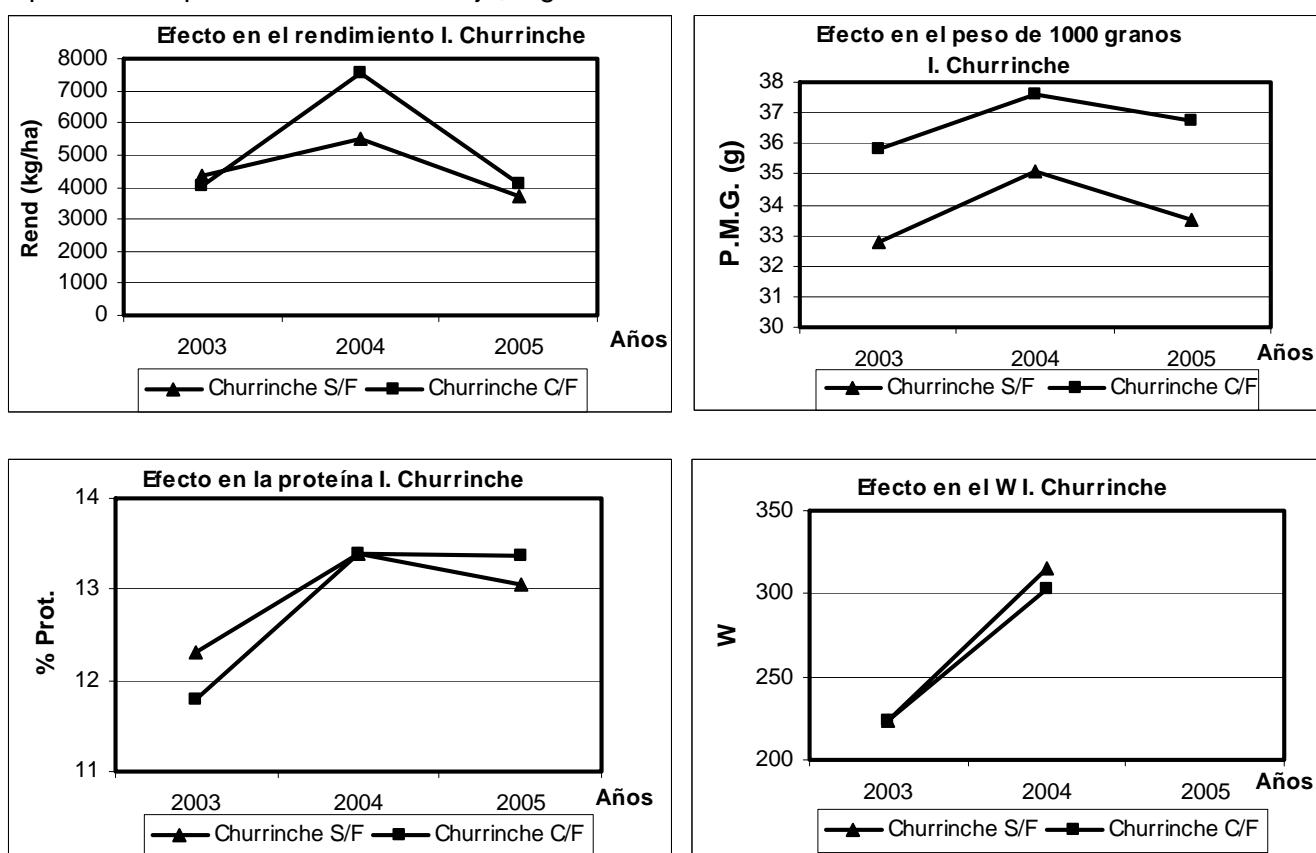
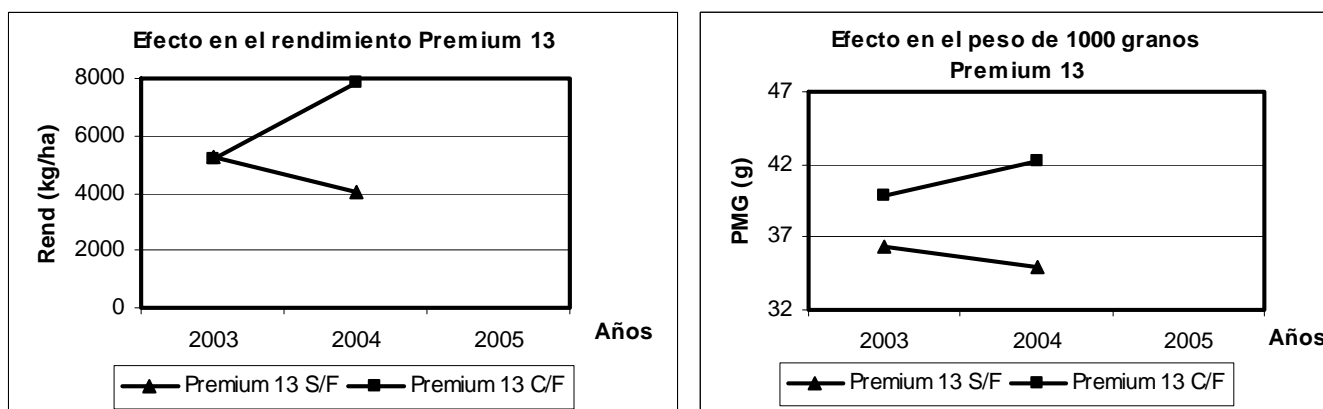
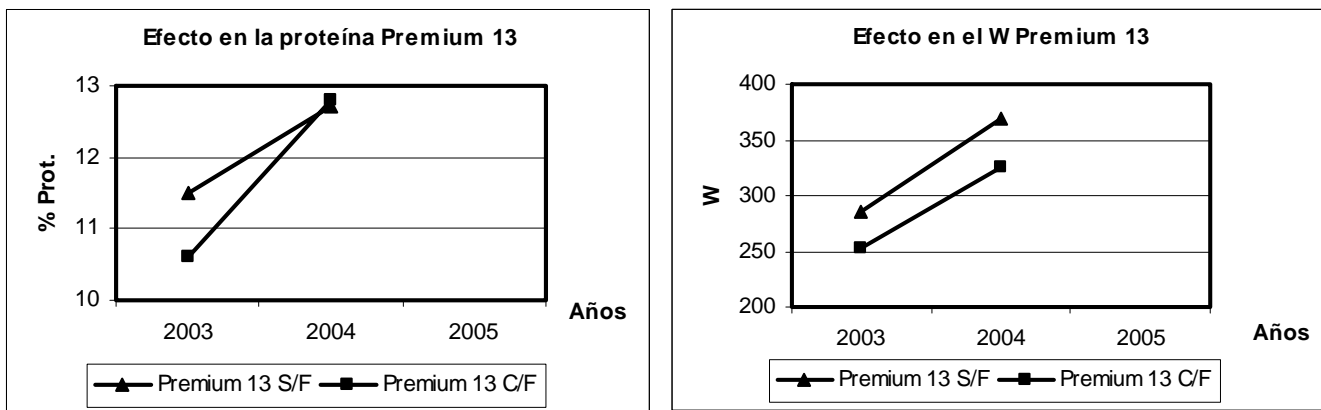


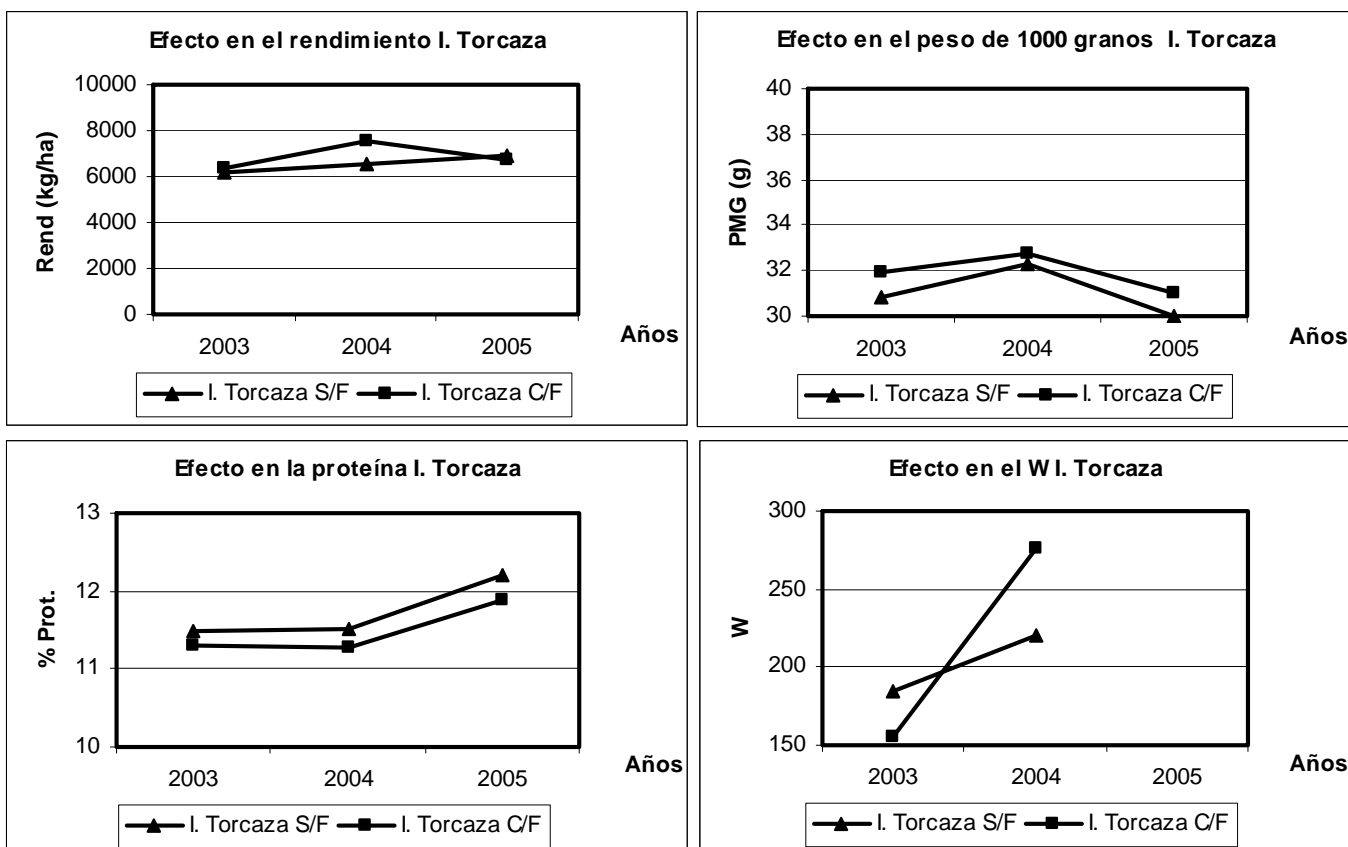
Figura 1. Efecto en el rendimiento en grano, peso de 1000 granos, % de proteína y W, del control de enfermedades en el cv. INIA Churrinche.



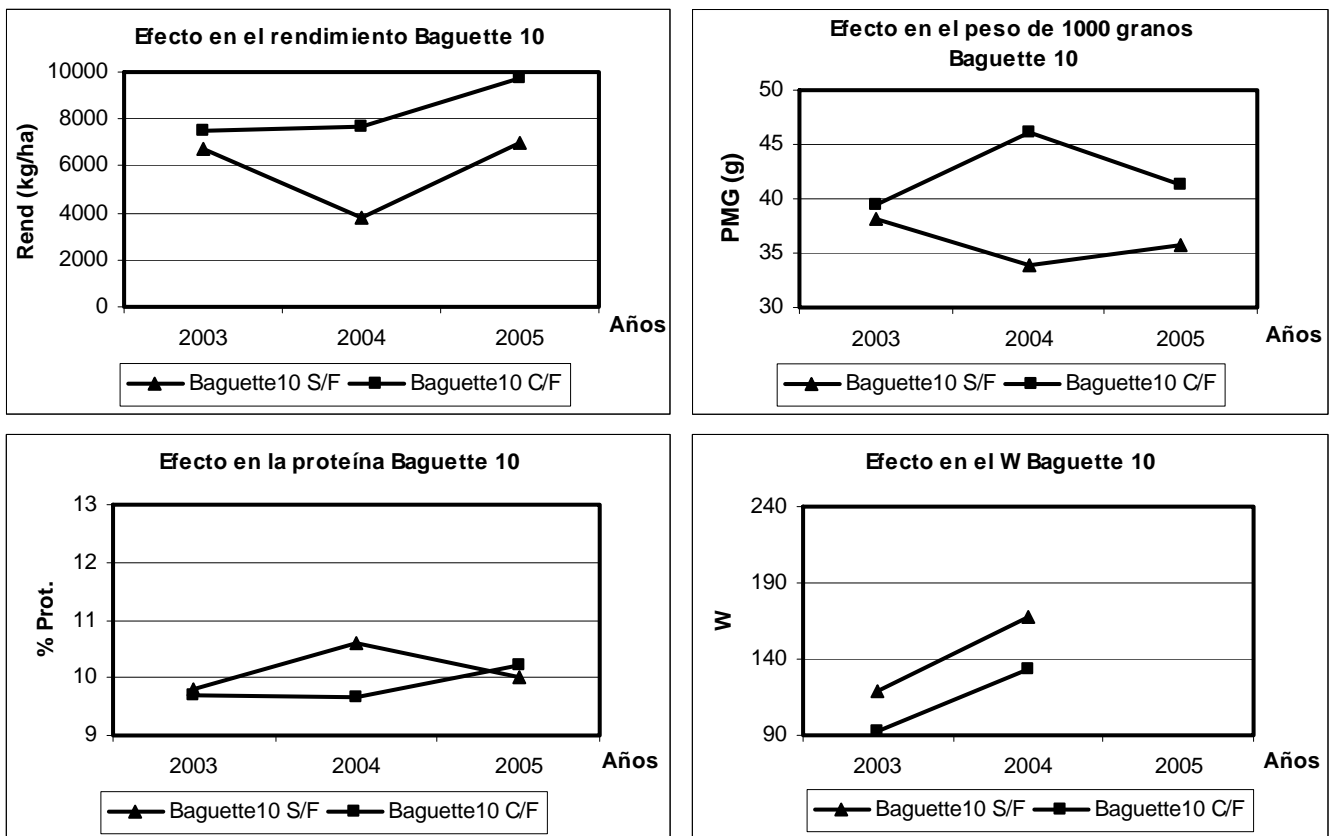


**Figura 2.** Efecto en el rendimiento en grano, peso de 1000 granos, % de proteína y W, del control de enfermedades en el cv. Baguette Premium 13.

En los cultivares de ciclo largo, la aplicación de fungicida en el cv. INIA Torcaza produjo pequeñas diferencias en el rendimiento y PMG, redujo el porcentaje de proteína. El W se redujo en el 2003 y aumentó en el 2004. El nivel de proteína de este cultivar en todos los años fue superior a 11%, Figura 3. En Argentina, INIA Torcaza es clasificado en el grupo 1 de calidad. En el cv. Baguette 10, la aplicación de fungicida aumentó el rendimiento y el PMG, el porcentaje de proteína no tuvo respuesta en el 2003, se redujo en el 2004 y aumentó levemente en el 2005. El W se redujo con la aplicación de fungicida. El nivel de proteína de Baguette 10 fue inferior a 10.5 % en todos los años considerados, Figura 4.



**Figura 3.** Efecto en el rendimiento en grano, peso de 1000 granos, % de proteína y W, del control de enfermedades en el cv. INIA Torcaza.



**Figura 4.** Efecto en el rendimiento en grano, peso de 1000 granos, % de proteína y W, del control de enfermedades en el cv. Baguette 10.

En Argentina, en un estudio donde se analizaron los ensayos de la Red de Evaluación de Cultivares de Trigo (RET): 50 cultivares en 28 ambientes con diferente manejo: con y sin fungicidas, en el periodo 2001-2003, se concluyó que en los ensayos con fungicidas se observó una respuesta positiva en rendimiento, PH, PMG, proteína y gluten. Pero a pesar de aumentar la proteína y el gluten, en la mayoría de las variedades, la fuerza panadera o el W del alveograma se redujo (Cuniberti *et al.*, 2004).

#### Efecto de la fusariosis de espiga en el rendimiento, calidad e inocuidad del producto final

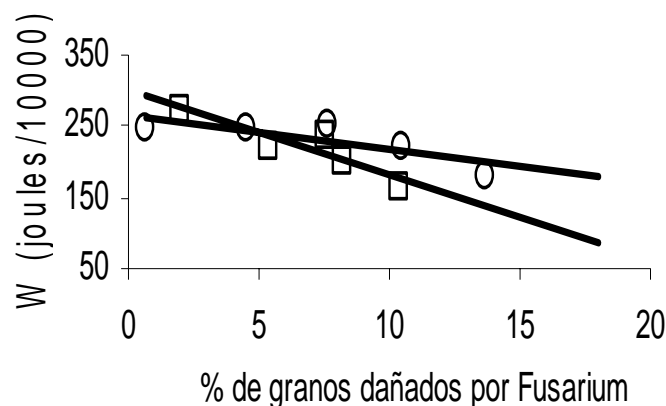
La pérdida máxima en el rendimiento de grano registrada por fusariosis en 1990-93 y 2001 fue del orden de 31%, siguiendo la metodología del Dr. Erlei Melo Reis.

En el 2001, año muy favorable para esta enfermedad, en un ensayo de control químico, con la variedad INIA Boyero, las reducciones del rendimiento, PMG y PH fueron 47%, 34% y 17%, respectivamente, Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Rendimiento peso hectolítrico y peso de 1000 granos, en ensayo de fungicidas para controlar la fusariosis de la espiga, 2001.

Tratamiento	Rend. kg/ha	P.H. kh/hl	P.M.G. g
Fol1	1944A	77.5 B	27.8 B
Fol1+Fol2	2144 A	80.4 A	31.0 A
Car1	2165 A	79.3 A	30.0 A
Car1+Car2	2334 A	80.9 A	31.7 A
Testigo	1231 B	67.5 C	20.8 C
Prom.	1954	77.5	28.7
C.V.	15.5	2.4	6.8
M.D.S.	440	2.7	2.8

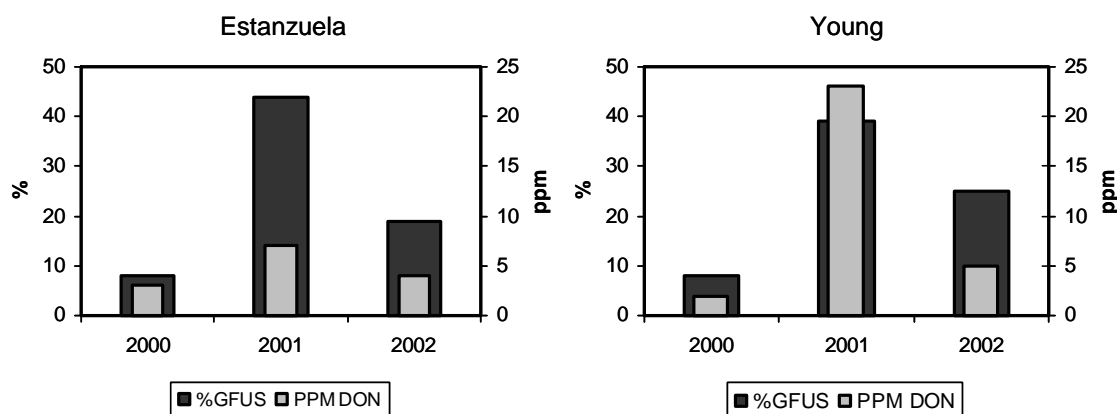
Para determinar su efecto en la calidad industrial, se analizaron dos muestras de dos chacras de una variedad de calidad "buena" que es muy afectada por *Fusarium* (INIA Boyero). En ambos casos, la muestra se limpió a mano, grano a grano, a ojo desnudo, y se mezcló la muestra original con la muestra "limpia" para formar 5 muestras (corresponden a los 5 puntos en la Figura 5), chacra: testigo limpio, 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100. Claramente, al aumentar el % de granos dañados por *Fusarium*, el W se redujo significativamente. En cantidad de proteína no hubo diferencias significativas. Se concluyó que la disminución del W se justifica por la presencia de enzimas proteolíticas en los granos dañados, provenientes del hongo (Vázquez, 2002).



**Figura 5.** Relación entre W (joules/10000) y granos dañados por *Fusarium* (%).

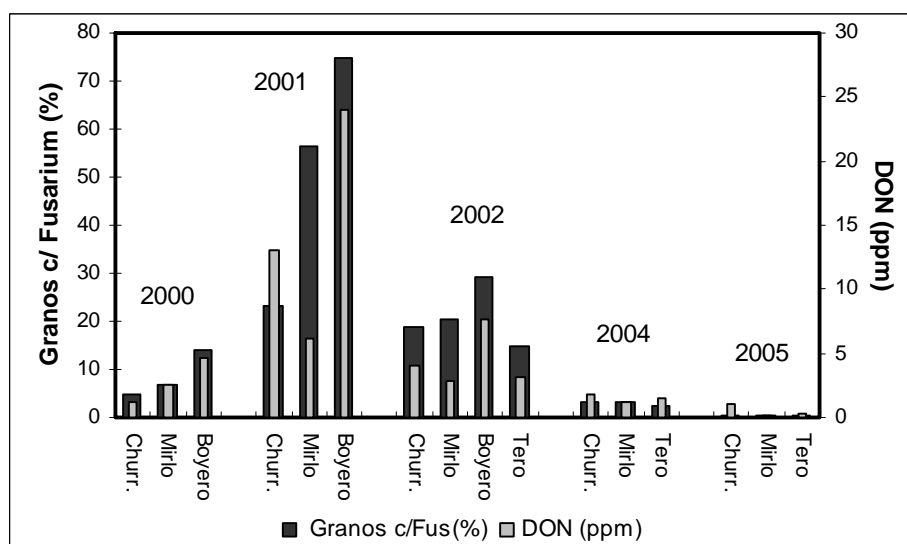
La fusariosis de la espiga, además de afectar la calidad industrial perjudica la inocuidad del producto final, a través de la contaminación con micotoxinas, principalmente deoxinivalenol (DON).

En la Figura 6 se pueden observar las diferencias en el porcentaje de grano con *Fusarium* y el contenido de DON (ppm), en Estanzuela y Young, para los años 2000-2003. El año 2001 fue el más favorable a la enfermedad tanto en Young como en Estanzuela, seguido por 2002 y 2000. El contenido de toxina fue más alto en Young que en Estanzuela, debido a las temperaturas más altas al norte del país y al mayor número de días con precipitaciones. La Figura 7 presenta el porcentaje de grano con *Fusarium* y el contenido de toxina para el período 2000-2005, en 4 cultivares con diferente comportamiento frente a la enfermedad: INIA Boyero e INIA Mirlo susceptibles (A), INIA Churrinche moderadamente susceptible (I) e INIA Tero moderadamente resistente (B/I). Se observa nuevamente un porcentaje de grano infectado superior en el 2001, seguido por el 2002 y el 2000. La enfermedad estuvo presente en escasas situaciones en el 2004 y prácticamente estuvo ausente en el 2005. La toxinas acompañan la tendencia del porcentaje del grano afectado y categorización de susceptibilidad/resistencia del cultivar, salvo en INIA Mirlo donde el nivel de toxina es inferior al esperado de acuerdo a su nivel infección en grano. En este último cultivar, existe un comportamiento diferencial en cuanto a la toxina DON que debe ser estudiado en más detalle.



Fuente: PNEC, 2000, 2001 y 2002

**Figura 6.** Porcentaje de granos con *Fusarium* y DON en Young y Estanzuela, 2000-2002.



**Figura 7.** Porcentaje de granos con *Fusarium* y DON en cultivares con distinto comportamiento de la enfermedad, 2000-2005.

### Conclusiones.

El control de las enfermedades a través de la aplicación de fungicida aumenta el rendimiento de grano, el peso hectolítrico y el peso de grano.

En las enfermedades foliares el control de las enfermedades generó datos erráticos tanto para el porcentaje de proteína, como para el W. Dependiendo de la situación, los tratamientos con fungicidas aumentan el rendimiento, peso hectolítrico y peso de grano, pero tendieron a no cambiar o reducir el porcentaje de proteína por un efecto de dilución y el W tendió a bajar.

En la fusariosis de la espiga, los tratamientos con fungicidas reducen el número de granos con *Fusarium* y aumentan el W, esto se explica por un menor efecto de las enzimas que el hongo produce.

Si bien en términos generales el % de proteína puede ser mayor cuando hay mayor presencia de enfermedad, la calidad física del grano es afectada negativamente y por consiguiente puede ser no apto para industrializar.

### Bibliografía consultada

- Bushnell, W.R. 1984. Structural and physiological alterations in susceptible host tissue. In Bushnell, W.R.; Roelfs, A.P. eds. The cereal rusts: origins, specificity, structure, and physiology. Orlando, Academic Press. v.1, p. 477- 507.
- Cuniberti, M.; Bainotti, J.F.; Frascina, J.; Salines, J.; Alberione, A.; Galich, A.; Galich, M.T. de; Formica, M.B. 2004. Calidad de cultivares de trigo evaluados en ensayos con control químico de enfermedades (en línea). Argentina. INTA Estación Experimental Marcos Juárez. Consultado: 5 abr. 2006. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/MJUAREZ/info/documentos/Trigo/calitrienfol04.htm>
- Díaz Assimontti, M. 1976. Evaluación de variedades y líneas de trigo por resistencia y tolerancia a mancha de la hoja causada por *Septoria tritici* Rob. Ex Desm. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Facultad de Agronomía. 99 p.
- Díaz de Ackermann, M. 1996. Control químico de enfermedades en trigo. Boletín de Divulgación no. 62, INIA La Estanzuela. 24 p.
- Díaz de Ackermann, M. 2001. Manchas foliares y fusariosis de la espiga. In Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento: un enfoque multidisciplinario (2001, La Estanzuela, Colonia, UY). Eds. M.M. Kohli; M. Díaz de Ackermann; M. Castro. La Estanzuela, CIMMYT-INIA p. 371-380.

- García Lamothe, A.; Díaz de Ackermann, M. 2004. Tecnología para alto rendimiento en trigo. In Jornada Técnica [de] Cultivos de Invierno (2004, La Estanzuela, Colonia, UY). INIA Serie de Actividades de Difusión no. 357. p. 24-36.
- García Lamothe, A.; Díaz de Ackermann, M. 2005. Tecnología para alto rendimiento en trigo. In Jornada Técnica [de] Cultivos de Invierno (2005, La Estanzuela, Colonia, UY). INIA Serie de Actividades de Difusión no. 404. p. 44-55.
- Germán, S.; Luizzi, D. 1982. Mejoramiento de trigo en el Uruguay: III. las royas, su incidencia en rendimiento y calidad de grano. Investigaciones Agronómicas (Montevideo) 3(1):35-38.
- Kema, G.H.J. 1996. *Mycosphaerella graminicola* on wheat: genetic variation and histopathology. Thesis [Ph.D.]. Wageningen, [WAU]. 141 p.
- Manzini de Zamuz, E.; Rava, C.; Lopez, A. 1970. La mancha de la hoja en trigo: incidencia de *Septoria tritici* Rob. en 8 variedades de trigo cultivadas en Uruguay. La Estanzuela Investigación Agrícola (5):5-8.
- Slafer, G.A.; Whitechurch, E.M. 2001. Manipulating wheat development to improve adaptation. In Reynolds, M.P.; Ortiz-Monasterio, J.I.; McNab, A. eds. Application of physiology in wheat breeding. Mexico D.F.: CIMMYT. . p. 160-170.
- Vázquez, D. 2002. Influencia del *Fusarium* en la Calidad del Trigo. In IV Jornada de Rendimiento y Calidad de Trigo. Mercedes, Uruguay. pp. 45-53.
- Wiese, M.V. 1987. Compendium of wheat disease. 2. ed. St. Paul, APS Press. 112 p.

# **Análisis de la relación rendimiento de grano-calidad en trigo y factores abióticos que la afectan**

Marina Castro<sup>1</sup>, Sergio Ceretta y Daniel Vázquez

## **Introducción**

El trigo que se produce en Uruguay se destina casi exclusivamente al consumo humano. Es por ello que a nivel nacional no sólo es importante contar con cultivares de trigo de buen potencial de rendimiento que hagan rentable el cultivo para los productores, sino que esos trigos sean además de una calidad tal que satisfaga las exigencias de los clientes (molineros, panaderos y consumidores). Existe una tendencia de asociación negativa entre rendimiento de grano y contenido proteico (variable directamente relacionada a la calidad), lo que llevaría a pensar que es difícil aunar los objetivos de lograr altos rendimientos y buena calidad industrial en trigo. En realidad, la relación es más compleja de lo que parece, y no siempre el rendimiento se incrementa en detrimento de la calidad. El balance entre la cantidad y la calidad de las proteínas formadoras del gluten en el grano es uno de los principales factores que intervienen en la calidad industrial. El primer aspecto está influenciado básicamente por el ambiente, mientras que la calidad de las proteínas está determinada genéticamente. Factores bióticos y abióticos durante el desarrollo del cultivo afectan tanto la expresión del potencial genético del rendimiento como la calidad de los trigos. Los objetivos de este trabajo son analizar la relación rendimiento en grano y calidad de trigo en una serie histórica de datos de comportamiento de cultivares de trigo, así como determinar algunos factores abióticos que la afectan.

## **Materiales y métodos**

### **1. Serie de datos disponibles**

#### **1.1 Datos de rendimiento de grano y parámetros de calidad**

Se analizaron una serie de datos de rendimiento de grano y parámetros de calidad de 33 cultivares de trigo de ciclo largo y 62 cultivares de trigo de ciclo intermedio, evaluados en Uruguay durante un período de 10 años (1996-2005). Se excluyeron los datos correspondientes a los años 2001 y 2002, debido a que las epifitas de fusariosis de la espiga ocurridas en esos años influenciaron en forma negativa los rendimientos de grano y la calidad de prácticamente todos los trigos. Los datos fueron generados por el Programa Nacional de Evaluación de Cultivares, en el marco del convenio INASE-INIA. Anualmente la red de ensayos consiste en 3 épocas de siembra en dos localidades, La Estanzuela y Young, para cada ciclo. Sólo en una o dos épocas de siembra de cada localidad se realizan los análisis de calidad. Para ello generalmente se seleccionan las épocas normales de siembra dentro de cada ciclo. Esto determinó que los ambientes que se analizaron que conjugaban datos de rendimiento en grano y de calidad fueron 31 para los ciclos largos y 30 para los ciclos intermedios, en el período considerado. Los datos agronómicos disponibles fueron: fecha de emergencia, fecha de espigazón y rendimiento en grano. Las prácticas generales del cultivo (laboreo, siembra, fertilización, control de malezas y plagas, cosecha, procesamiento post-cosecha, etc.) se encuentran definidas en un protocolo experimental. Esto asegura uniformidad en el manejo de los ensayos, contribuyendo a eliminar algunas causas de variación entre los mismos. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos o incompletos al azar, dependiendo del número de cultivares, con 3 repeticiones. Los datos de rendimiento utilizados fueron la media ajustada por ambiente para cada cultivar. Los datos de calidad se tomaron sobre muestras de dos repeticiones, las que se mezclaron en partes iguales. Se determinó el porcentaje de proteína por el método Kjeldhal sobre grano de trigo y se informó sobre base de humedad al 13.5%. Los valores alveográficos, que dan parámetros de la harina como tenacidad (P), extensibilidad (L) y la fuerza panadera (W, que expresa el trabajo de deformación de una masa y la cantidad y calidad del gluten.) fueron determinados según norma UNIT 5530-4 modificada.

---

<sup>1</sup> Ing. Agr., M.Sc., PhD., Evaluación de Cultivares, INIA La Estanzuela. email: mcastro@inia.org.uy



Como cada año ingresan nuevos cultivares a la red de experimentos mientras que otros son retirados de la misma, la serie de datos utilizada fue desbalanceada a través de años. Sólo se incluyeron aquellos cultivares que estuvieron presentes en 5 o más ambientes, para asegurar que al menos estuvieron en 2 años de la serie estudiada.

### **1.2. Definición de índices ambientales**

Para la caracterización de los ambientes de crecimiento, se definieron índices ambientales basados en factores abióticos, en relación al promedio de la fecha de espigazón de los cultivares presentes en cada ambiente. Estas fueron el promedio de temperatura (°C) máxima, media y mínima en los 10 días siguientes a la espigazón (TMIN10, TMED10, TMAX10), del día 10 al 20 (TMIN10\_20, TMED10\_20, TMAX10\_20), y del día 20 al 30 (TMIN20\_30, TMED20\_30, TMAX20\_30) posteriores a la espigazón. La amplitud térmica que se halló entre el promedio de las temperaturas mínimas y las máximas considerando todos los periodos fue 7.9 – 28.0 °C. La misma agrupación se realizó para precipitaciones (mm) acumuladas en cada periodo (P10, P10\_20, P20-30). De esta manera el estudio se concentró en las etapas temprana, media y tardía del llenado de grano.

## **2. Análisis estadístico**

Las variables de respuesta analizadas fueron el rendimiento en grano (kg/ha), porcentaje de proteína (%), y valores alveográficos P (mm), L (mm) y W (joules/10000).

### **2.1. Estimación de componentes de varianza**

Para la estimación de los componentes de varianza se utilizó el método REML (Restricted Maximum Likelihood) implementado en Genstat 5, versión 4.1, recomendado para el análisis de series de experimentos desbalanceados.

En el modelo estadístico utilizado se consideró el efecto principal del ambiente (combinación de años, localidades y épocas de siembra), el efecto principal del cultivar, y las interacciones de dos vías (cultivar x año, cultivar x localidad y cultivar x época de siembra), en las variables de respuesta analizadas.

### **2.2. Correlaciones**

Se investigó la asociación entre variables de interés computando coeficientes de correlación de Pearson.

## **Resultados y discusión**

### **1. Componentes de varianza**

Para entender la variación experimental, es importante conocer el tamaño relativo de los componentes de varianza, lo cual permite saber la magnitud con que cada factor contribuye a la varianza total observada. En el Cuadro 1 se pueden observar estos valores para trigos de ciclo largo para rendimiento en grano, proteína y valores alveográficos.

**Cuadro 1.** Componentes de varianza expresados como porcentaje (%) de la varianza total para rendimiento en grano (Rend) (kg/ha), porcentaje de proteína (%), y valores alveográficos P (mm), L (mm) y W (joules/10000) de trigos ciclo largo durante el periodo 1996-2005.

Fuente de variación	Rend	Proteína	P	L	W
Ambiente	81	77	19	69	28
Cultivar	4	11	77	24	59
IGA	15	12	4	7	13
<i>Cultivar x año</i>	11	8	2	0	8
<i>Cultivar x localidad</i>	4	2	0	3	4
<i>Cultivar x época de siembra</i>	0	2	2	4	1
Total	100	100	100	100	100

IGA = Interacción genotipo x ambiente

El efecto principal del ambiente (combinación de años, localidades y épocas de siembra) fue de gran magnitud en el caso de rendimiento de grano, proteína y L (81%, 77% y 69%, respectivamente). Esto está indicando que el ambiente de crecimiento provoca grandes oscilaciones en las medias de estas variables del conjunto de cultivares, pero no se afecta el ordenamiento relativo de los mismos. Para poder interpretar adaptaciones diferenciales de cultivares a situaciones específicas de crecimiento, hay que centrar la atención en la magnitud de los distintos componentes de la interacción genotipo x ambiente (IGA). En total, la IGA en rendimiento fue casi cuatro veces mayor que el efecto del cultivar, mientras que en proteína ambas fueron de la misma magnitud. Por el contrario, el efecto del cultivar en los valores alveográficos, sobretodo en P y W, tiene un gran peso comparado con IGA. Esto determina que estas variables de calidad no presentan una gran interacción de los cultivares con el ambiente, y podrían ser utilizadas para agrupar cultivares por grupo de calidad.

En el Cuadro 2 se presenta el tamaño relativo de los componentes de varianza de las variables rendimiento en grano, proteína y valores alveográficos para trigos de ciclo intermedio.

**Cuadro 2.** Componentes de varianza expresados como porcentaje (%) de la varianza total para rendimiento en grano (Rend) (kg/ha), porcentaje de proteína (%), y valores alveográficos P (mm), L (mm) y W (joules/10000) de trigos ciclo intermedio durante el periodo 1996-2005.

Fuente de variación	Rend	Proteína	P	L	W
Ambiente	71	75	51	77	27
Cultivar	9	18	43	14	62
IGA	20	7	6	9	11
<i>Cultivar x año</i>	16	7	4	6	9
<i>Cultivar x localidad</i>	3	0	0	3	2
<i>Cultivar x época de siembra</i>	1	0	2	0	0
Total	100	100	100	100	100

IGA = Interacción genotipo x ambiente

En este grupo de trigos la IGA es el doble que el efecto de cultivar para rendimiento. Esta relación es similar a la encontrada por Ceretta et al. (2000) para la serie de datos de los años 1991-1998 de cebada cervecera. En cuanto al efecto del cultivar en proteína, es casi tres veces mayor que la IGA. Esta variable, pero fundamentalmente los valores alveográficos P y W donde el efecto del cultivar en la varianza observada es muy importante, serían la base con que se podría agrupar trigos por características con una menor IGA. Esta última situación es similar a lo que ocurrió con los trigos de ciclo largo.

## 2. Correlaciones

La asociación entre variables de rendimiento, calidad e índices ambientales fue estudiada mediante el cómputo de coeficientes de correlación de Pearson, para los trigos de ciclo largo (Cuadro 3) y los de ciclo intermedio (Cuadro 4).

**Cuadro 3.** Coeficientes de correlación fenotípica entre medias de rendimiento en grano (Rend), proteína, valores alveográficos (P, L y W) e índices ambientales, en trigos de ciclo largo.

	REND	PROTEINA	P	L	W
PROTEINA	<b>-0.34</b>				
P	0.09	-0.03			
L	<b>-0.35</b>	<b>0.46</b>	<b>-0.48</b>		
W	<b>-0.17</b>	<b>0.44</b>	<b>0.42</b>	<b>0.44</b>	
TMIN10	-0.16	0.08	-0.11	<b>0.44</b>	<b>0.26</b>
TMIN10_20	<b>-0.39</b>	0.00	0.04	0.08	-0.03
TMIN20_30	-0.07	<b>0.29</b>	<b>-0.16</b>	-0.11	-0.16
TMED10	<b>0.21</b>	-0.10	0.00	0.09	0.07
TMED10_20	<b>-0.31</b>	0.03	0.06	-0.09	-0.13
TMED20_30	0.05	0.10	-0.06	-0.16	-0.13
TMAX10	<b>0.40</b>	-0.13	0.10	<b>-0.18</b>	-0.09
TMAX10_20	<b>-0.22</b>	0.06	0.06	<b>-0.20</b>	<b>-0.18</b>
TMAX20_30	0.04	0.00	-0.11	<b>-0.17</b>	-0.14
P10	<b>-0.42</b>	<b>0.26</b>	<b>-0.20</b>	<b>0.49</b>	<b>0.31</b>
P10_20	0.12	0.01	-0.11	0.06	0.02
P20_30	0.00	0.06	-0.04	0.01	0.00

Nivel de significancia:  $P < 0.01$  (letras en negrita y cursiva)

**Cuadro 4.** Coeficientes de correlación fenotípica entre medias de rendimiento en grano (Rend), proteína, valores alveográficos (P, L y W) e índices ambientales, en trigos de ciclo intermedio.

	REND	PROTEINA	P	L	W
PROTEINA	-0.13				
P	<b>0.25</b>	-0.10			
L	<b>-0.36</b>	<b>0.34</b>	<b>-0.61</b>		
W	-0.07	<b>0.28</b>	<b>0.51</b>	<b>0.20</b>	
TMIN10	-0.13	0.08	0.07	0.06	<b>0.15</b>
TMIN10_20	<b>-0.14</b>	-0.03	<b>-0.23</b>	<b>0.28</b>	-0.07
TMIN20_30	<b>-0.27</b>	<b>0.21</b>	<b>-0.20</b>	<b>0.21</b>	-0.02
TMED10	-0.06	-0.09	<b>0.16</b>	<b>-0.17</b>	0.08
TMED10_20	0.00	-0.05	-0.10	0.07	-0.07
TMED20_30	0.00	-0.12	0.06	<b>-0.36</b>	<b>-0.19</b>
TMAX10	0.05	<b>-0.16</b>	<b>0.23</b>	<b>-0.34</b>	0.01
TMAX10_20	0.12	-0.07	0.03	-0.12	-0.08
TMAX20_30	-0.07	0.11	<b>0.16</b>	<b>-0.27</b>	0.00
P10	<b>-0.27</b>	<b>0.21</b>	<b>-0.45</b>	<b>0.51</b>	-0.03
P10_20	-0.08	<b>-0.16</b>	<b>-0.21</b>	<b>0.23</b>	-0.07
P20_30	<b>0.18</b>	0.11	-0.01	0.03	-0.01

Nivel de significancia:  $P < 0.01$  (letras en negrita y cursiva)

En general las correlaciones significativas encontradas fueron de magnitud media a baja para ambos grupos de trigos. En el caso de los trigos de ciclo largo, se observó una asociación negativa entre rendimiento y proteína (-0.34), y rendimiento y W, aunque en este último caso la asociación fue mas débil (-0.17) (Cuadro 3). Esto estaría indicando que un aumento del rendimiento se habría dado en detrimento de la calidad panadera. Cuando observamos el grupo de los trigos de ciclo intermedio (Cuadro 4), si bien se mantuvo la tendencia negativa entre estas variables, la asociación no fue significativa. Seguramente existen cultivares que al aumentar los rendimientos no necesariamente disminuyeron sus características de calidad. En este sentido es interesante la asociación hallada entre proteína y W (fuerza panadera de la masa). La asociación fue positiva, y de mayor magnitud en los trigos de ciclo largo (0.44) que en los de ciclo intermedio (0.28). La base genética de los trigos de ciclo largo, generalmente seleccionados de germoplasma local (con algunas marcadas excepciones), y donde se priorizó la calidad industrial, determina que la calidad de sus proteínas sea mejor que la del grupo de ciclo intermedio, el cual tiene un germoplasma más amplio donde se apunta a altos

rendimientos de grano. Por lo tanto es lógico que una mayor cantidad de proteína, que a su vez es de mejor calidad, tenga una asociación más fuerte con parámetros de calidad panadera. Por otro lado, el valor alveográfico L tuvo una asociación negativa importante con rendimiento en grano (-0.35 y -0.36), y presentó una asociación positiva con proteína (0.46 y 0.34), para trigos largos e intermedios respectivamente. Cuando aumentan las proteínas en trigo, en general en situaciones de medios a bajos rendimiento de grano, las gliadinas son las proteínas formadoras del gluten que aumentan más que las gluteninas (Gupta et al 1992). Las primeras están relacionadas al valor alveográfico L (extensibilidad de la masa). Se puede esperar entonces que ante menores rendimientos de grano, el L sea mayor y las masas sean más extensibles.

En cuanto a la asociación de los índices ambientales con rendimiento en grano y variables de calidad, no se vio un patrón único entre grupos de trigos. En trigos de ciclo largo, temperaturas más frescas en la etapa media del llenado de grano, favorecieron el rendimiento en grano. En estas condiciones, las etapas de deposición de proteína y almidón en el grano se dan normalmente, sin estreses térmicos que alteren la concreción de los rendimientos. Sin embargo, al principio del llenado de grano, temperaturas máximas más altas, también lo favorecieron. Recordemos que este análisis se basa en temperaturas no mayores a 28 °C, las cuales no pueden considerarse como muy altas. En la literatura está reportado que temperaturas mayores a 30 o 35 °C durante un cierto periodo de tiempo en el llenado de grano provocan estrés térmico en las plantas, y son perjudiciales tanto para el rendimiento como para la calidad de los trigos (Calderini et al 1999, Wardlaw et al 2002). Con respecto a las precipitaciones al comienzo de llenado de grano, hubo una asociación negativa con rendimiento y positiva con proteína. Esto podría deberse a que las abundantes precipitaciones en este periodo pueden afectar la etapa de floración. Con menores rendimientos, se dio un efecto de concentración de la proteína en grano. En ciclo intermedio, si bien se mantuvieron las tendencias de mayor rendimiento con temperaturas mínimas frescas (mitad y final de llenado de grano) y con menores precipitaciones al comienzo del llenado de grano, la magnitud de las asociaciones fue menor que en los ciclos largos. La asociación entre precipitaciones al comienzo de llenado de grano y proteína fue de magnitud similar a lo ocurrido con los trigos de ciclo largo.

En las variables de calidad se destacó la asociación positiva de L con temperatura mínima al comienzo de llenado de grano (ciclos largos) y en la mitad del llenado de grano (ciclos intermedios), y negativa con temperatura máxima en varias etapas del llenado de grano. Las propiedades reológicas de las masas tienen una respuesta curvilínea a la temperatura. Al estar dentro de un rango de temperaturas máximas no muy altas, se da el efecto de que las masas se hacen más tenaces o menos extensibles (menor L) con el incremento de la temperatura (Corbellini et al 1998, Castro 2005). Cuando las temperaturas superan los 30-35 °C, ocurre el efecto contrario y la extensibilidad de las masas se incrementa (Blumenthal et al 1993). Se encontró una asociación positiva entre precipitaciones al comienzo de llenado de grano P10 y L (0.49 y 0.51 para trigos largos e intermedios respectivamente), que acompaña la asociación positiva de P10 con proteína. La relación entre aumento de proteína y L ya fue discutida anteriormente.

## Conclusiones

Para poder caracterizar cultivares por su calidad y estabilidad en los distintos ambientes de crecimiento (adaptación amplia) es deseable seleccionar variables donde el peso relativo de los componentes de varianza de la IGA en la variación total observada sea menor que el efecto genotípico. En este estudio se constató que los valores alveográficos P y W presentan un gran efecto del cultivar y un peso relativo menor de la IGA. Estas variables servirían para agrupar *a priori* los cultivares por calidad, y permitiría a los molinos hacer una segregación al recibo por variedad que haga más eficiente el procesamiento industrial.

Si bien se constató una asociación negativa entre rendimiento en grano y proteína en trigos de ciclo largo, ésta no fue significativa en los trigos de ciclo intermedio. A su vez la asociación entre rendimiento y W (fuerza de la masa) fue de baja magnitud (trigos ciclo largo) o no significativa (trigos ciclo intermedio). No siempre los rendimientos se incrementan en detrimento de la calidad.

Las variables de rendimiento en grano y calidad no presentaron un claro patrón de respuesta a los índices ambientales utilizados. La tendencia de las asociaciones estudiadas muestra que las temperaturas frescas durante el llenado de grano favorecieron el rendimiento en grano, sin que el valor alveográfico W se haya visto necesariamente afectado. Dentro del rango de temperaturas estudiadas, el incremento de la temperatura en el llenado de grano llevaría a que las masas fueran menos extensibles. Las precipitaciones al comienzo del llenado de grano redujeron el rendimiento en grano, aumentando la proteína por un efecto de concentración. Esta variación en proteína generalmente se da en base a una mayor proporción de gliadinas frente a las gluteninas (proteínas formadoras del gluten), lo que estaría explicando la asociación positiva del valor alveográfico L (extensibilidad de la masa) con las precipitaciones ocurridas al comienzo del llenado de grano.

## **Bibliografía**

- Blumenthal, C. S., Barlow, E. W. R., and Wrigley, C. W. 1993. Growth environment and wheat quality: the effect of heat stress on dough properties and gluten proteins. *J. Cereal Sci.* 18: 3-21.
- Calderini, D. F., Abeledo, L. G., Savin, R., and Slafer, G. A. 1999. Final grain weight in wheat as affected by short periods of high temperature during pre- and post-anthesis under field conditions. *Aust. J. Plant Physiol.* 26: 453-458.
- Castro, M. 2005. Influence of heat stress on grain yield, grain quality, and protein composition of spring wheat. PhD thesis. Oregon State University, Corvallis, OR, USA. 110 p.
- Ceretta, S., Eeuwijk, F.A. van, Castro, M., Vilaró, D. y Abadie, T. 2000. Variabilidad en el rendimiento de cultivares de cebada cervecera en Uruguay. Serie Técnica 117. INIA La Estanzuela. 20 p.
- Corbellini, M., Mazza, L., Ciaffi, M., Lafiandra, D., and Borghi, B. 1998. Effect of heat shock during grain filling on protein composition and technological quality of wheats. p 213-220. In H.J. Braun et al. (Eds.). *Wheat: Prospects for global improvement*. Kluwer Academic Publishers.
- Gupta, R. B., Batey, I. L., and MacRitchie, F. 1992. Relationships between protein composition and functional properties of wheat flours. *Cereal Chem.* 69:125-131.
- Wardlaw, I. F., Blumenthal, C., Larroque, O., and Wrigley, C. W. 2002. Contrasting effects of chronic heat stress and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat. *Funct. Plant Biol.* 29:25-34.