



FACULTAD DE AGRONOMÍA  
Universidad Nacional de La Pampa

# **PREDICCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNA EN EL GRANO DE TRIGO, *Triticum aestivum* L, A PARTIR DE LA CONCENTRACIÓN DE NITROGENO Y EL INDICE DE VERDOR EN HOJA BANDERA**

Trabajo Final de Graduación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo

## **Autores:**

ARREGUY DENIS

BRENDLE WALTER ANDRES

## **Director/a:**

Ing. Agr. María Pereyra Cardozo

Cátedra de Química Biológica-Facultad de Agronomía-UNLPam

## **Codirector**

Ing. Agr. Miguel Ángel Fernández

Cátedra de Cereales- Facultad de Agronomía-UNLPam

## **Evaluadores:**

Ing. Agr. Osvaldo Zingaretti

Cátedra de Cereales-Facultad de Agronomía-UNLPam

Ing. Agr. Adriana Quiriban

Cátedra de Química Biológica-Facultad de Agronomía-UNLPam

FACULTAD DE AGRONOMÍA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA  
Santa Rosa, La Pampa, Argentina  
2018

## Índice general

	<b>Página</b>
Resumen	1
Introducción	2
Materiales y métodos	6
Resultados y discusión	8
Bibliografía	24

## Índice de cuadros

Cuadro	Título	Página
1	Grado de significancia para cada una de las variables en estudio en 3 genotipos de trigo en función de la disponibilidad de nitrógeno.	20
2	Rendimiento en grano (gramos.m <sup>-2</sup> ), peso de los 1000 granos (gramos) y concentración de proteína en grano (%) en tres genotipos de trigo no fertilizados y fertilizados con 100 kg urea.ha <sup>-1</sup> en macollaje.	10
3	Concentración de nitrógeno (%) e índice de verdor (unidades SPAD) en hoja bandera en tres cultivares de trigos cultivados a campo, no fertilizados y fertilizados con 100 Kg.urea <sup>-1</sup> en macollaje.	20
4	Valores de Gluten y mixograma en tres cultivares de trigos cultivados a campo, no fertilizados (NF) y fertilizados (F) con 100 Kg.urea <sup>-1</sup> en macollaje.	21

## Índice de figuras

Figura	Título	Página
1	Concentración de nitrógeno en hoja bandera en Zadoks 73 y proteína en grano en tres cultivares de trigo no fertilizados (NF) y fertilizados (F) con 100 Kg urea.ha <sup>-1</sup> en macollaje.	13
2	Relación entre la concentración de nitrógeno y las unidades SPAD en hoja bandera en Z73 en tres cultivares de trigo cultivados a campo.	15
3	Relación entre la concentración de proteína en grano y la concentración de nitrógeno en hoja bandera en Z73 en tres cultivares de trigo cultivados a campo.	16
4	Relación entre la concentración de proteína en grano y unidades SPAD en hoja bandera en Z73 en tres cultivares de trigo cultivados a campo.	16
5	Concentración de las fracciones proteicas en el grano de tres genotipos de trigo, no fertilizados y fertilizados con 100 Kg urea.ha <sup>-1</sup> en macollaje.	19
6	Mixogramas de tres genotipos de trigo no fertilizados y fertilizados con 100 Kg urea.ha <sup>-1</sup> en macollaje.	22

## Resumen

En la provincia de La Pampa, aún no se han calibrado métodos de diagnóstico temprano para predecir la concentración de proteína de los granos al momento de cosecha. El objetivo de este proyecto fue establecer una relación entre la concentración de nitrógeno en hoja bandera (HB), el índice de verdor (IV) y la concentración de proteína en el grano en la región semiárida pampeana. Se trabajó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía, con tres cultivares de trigo, ACA 315, Klein Proteo y Baguette Premium 11 y dos niveles de disponibilidad de nitrógeno, no fertilizados y fertilizados con 100 Kg urea.ha<sup>-1</sup> en macollaje. En Zadoks 51 y 73 en HB se determinó, el IV y la concentración de nitrógeno. En los granos se determinó la concentración de proteína y en las harinas se determinó su composición en gliadinas y gluteninas, y las propiedades reológicas mediante un mixógrafo. La fertilización nitrogenada aumentó el rendimiento, la concentración de nitrógeno en hoja, la concentración de proteína en grano, la concentración de gluteninas en harinas y mejoró las propiedades reológicas de la harina. Los cultivares del grupo 1 de calidad, alcanzaron mayores valores de proteína en grano ante el agregado de nitrógeno en macollaje respecto del grupo 2. Se determinó que la concentración de nitrógeno en HB en espigazón (Zadoks 53) debe ser inferior al 4% para que haya un incremento en la concentración de proteína en grano ante la fertilización nitrogenada. Por otra parte, el IV en HB en Zadoks 73 puede ser usado para predecir la concentración de proteína en grano. Se requiere un IV aproximado de 46 (Zadoks 73) para obtener un 11% de proteína en grano. Este estudio mostró que la concentración de nitrógeno en HB y el IV pueden ser utilizados como indicadores del requerimiento de nitrógeno. El IV en HB al estado de grano lechoso permite estimar la

concentración de proteína en grano posibilitando una cosecha segregada en función de la concentración de proteína en grano en la Región Semiárida pampeana.

## **Introducción**

En la provincia de La Pampa, la principal limitante que encuentran los molinos harineros es la baja calidad panadera, lo que se manifiesta en el parámetro  $W$  (fuerza de masa), como consecuencia de una inadecuada calidad del gluten presente (Iglesias e Iturrioz, 2010). Biolatto (2014), también menciona el bajo contenido en gluten, alto porcentaje de granos panza blanca y alto valor del Falling number (FN). Esto se atribuye principalmente a los problemas de fertilidad de los suelos sumado a un uso insuficiente de fertilizantes (Iglesias e Iturrioz, 2010). La provincia de la Pampa tiene un bajo nivel tecnológico para el cultivo de trigo y sólo el 30% de los productores ha adoptado la práctica de la fertilización (Iturrioz, 2008).

Los parámetros de calidad de difícil medición como alveogramas, farinogramas, etc, estarían contenidos en la variedad, por lo tanto para realizar una correcta clasificación, no es necesario conocer más que la variedad y la proteína. Con esa información se debe acopiar por grupos de calidad, ya que las variedades que corresponden a cada grupo tienen propiedades funcionales homogéneas o semejantes desde el punto de vista de calidad industrial. El precio del mercado está dado en función de la calidad. La Argentina tiene trigos de muy buena calidad que luego se pierden al mezclarlos, debiendo ofrecer al mercado trigos *commodities*, recibiendo un precio inferior al que podría obtener si clasificara. Se dispone de genética diferenciada, pero luego se cosecha y almacena mezclando y perdiendo su identidad. Si se

dispone de trigos clasificados es posible lograr diferenciales de precio en la comercialización, incorporándole valor agregado a la producción.<sup>1</sup>

Cuniberti (2011) propone un muestreo en precosecha para clasificar por calidad industrial. Sugiere que los productores, quienes conocen el genotipo que tienen en el campo, muestreen cuando el grano tiene entre un 30-35 % de humedad, aproximadamente, una semana antes de la cosecha, a fin de determinar el contenido de proteínas y gluten. Al analizar los granos unos días antes de la cosecha, permite al productor, conocer con anterioridad la calidad que tiene cada lote de producción, pudiendo decidir con tiempo los silos en los que irán los trigos de alto o bajo contenido proteico. Conociendo la variedad sembrada en sus lotes y la proteína, el productor puede separar en base a los tres grupos de calidad pudiendo mezclar las variedades del mismo grupo, siempre que la proteína no sea inferior al 11% (Cuniberti, 2011).

Con respecto a los acopiadores, pueden separar en base a los tres grupos de calidad, o bien si recibe mezclas de variedades de distintos grupos, deberán clasificar en base a proteínas. En ese caso con conocer la proteína es suficiente para acopiar aparte aquellos trigos que estén por encima del 11% de proteína. Si la infraestructura de acopio es importante, podrá clasificar por rangos o bandas de proteínas. Por ejemplo: -11%, entre 11 y 12% y +12% de proteínas. Si se tienen en cuenta estos aspectos, es posible lograr una correcta clasificación por calidad de trigos, con la posibilidad de lograr un precio diferencial en el mercado interno y externo (Cuniberti, 2011).

---

<sup>1</sup> Cuniberti, Martha. Programa Nacional de calidad. Propuesta de clasificación del trigo argentino.

Por otra parte, Abbate *et al.*, (2010), expresan que una clasificación por cultivar es insuficiente para clasificar la producción de trigo argentina. Por lo que es importante, mejorar y desarrollar métodos de diagnóstico de la calidad que ayuden a verificar en pre-y poscosecha la calidad industrial alcanzada en cada zona y año.

El contenido de nitrógeno en la hoja bandera a la emergencia de las espigas (15 a 20 días antes al de grano lechoso) es un promisorio método de diagnóstico de la respuesta en el contenido de proteínas del cultivo de trigo, a aplicaciones de nitrógeno en espigazón (Tindall *et al.*, 1995). Por otra parte, Echeverría y Studdert (1998), determinaron que la concentración de nitrógeno en la hoja bandera en estado de grano lechoso, se relaciona con el contenido de proteína del grano maduro.

El contenido de clorofila en hoja puede ser usado como diagnóstico del contenido de nitrógeno en plantas (Debaeke *et al.*, 2006). Las mediciones indirectas del contenido de clorofila pueden ser hechas con diferentes medidores de clorofila tales como el SPAD (Soil Plant Analysis Development, Minolta) y el MC- 100 (Apogee instruments). Las lecturas del SPAD están positivamente correlacionadas con el contenido de N en hoja para diferentes especies y en distintos estados de crecimiento (Prost y Jeuffroy, 2007) por lo que es considerado una herramienta útil para detectar deficiencias de nitrógeno y monitorear el status de nitrógeno. El índice de verdor (IV) en hoja bandera al estado de grano lechoso, Zadoks 73, es un buen indicador del contenido de proteína en grano a cosecha (Gandrup *et al.*, 2004).

Las variaciones en la concentración de proteína del grano afectan tanto la fuerza como la extensibilidad del gluten, de tal manera que cuanto menor es el contenido de proteína de las masas de panificación, menores son su fuerza y extensibilidad y menor su calidad de panificación. La fuerza y la extensibilidad del gluten y las características de calidad de



panificación del trigo están determinadas por la cantidad de las proteínas poliméricas (gluteninas) y monoméricas (gliadinas) que se encuentran combinadas en una misma variedad. Las propiedades viscoelásticas del gluten se encuentran bajo control genético, pero pueden ser modificadas parcialmente por el medio ambiente y la fertilización del cultivo (Peña 2001).

En la provincia de La Pampa, aún no se han calibrado métodos de diagnóstico temprano para predecir la concentración de proteína de los granos al momento de cosecha. El desarrollo de este proyecto será un aporte a la mejora de la calidad del grano y su calidad industrial.

### **Objetivo**

- Establecer una relación entre la concentración de nitrógeno en hoja bandera, el IV y la concentración de proteína en el grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) producido en la región semiárida pampeana (RSP).

### **Objetivos específicos**

- Determinar la relación entre concentración de nitrógeno en hoja y el IV
- Determinar la relación entre IV en estadios avanzados del cultivo con la concentración de proteína en grano.
- Evaluar el efecto sobre la concentración de proteína en grano de la fertilización nitrogenada en macollaje en cultivares de trigo del grupo de calidad 1 y 2.

## **Hipótesis**

### **Hipótesis 1**

- El contenido de nitrógeno en hoja bandera al estado de grano lechoso es un buen estimador de la concentración de proteína en grano en *Triticum aestivum* L.

### **Hipótesis 2**

- El IV es un buen estimador de la concentración de nitrógeno en hoja bandera y de la concentración de proteína en grano.

## **Materiales y métodos**

### **Descripción del área de estudio**

El experimento se realizó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la UNLPam, ubicado 5 km al norte de la ciudad de Santa Rosa, provincia de La Pampa, a una latitud de 36°32' sur y una longitud de 64°18' oeste, a una altitud de 213 m.s.n.m.

Desde el punto de vista climático el área de estudio se caracteriza por un clima templado con temperatura media anual de 15,5°C y medias para el mes más frío (julio) y el mes más cálido (enero) de 7°C y 24°C, respectivamente (INTA, 1980). El régimen hídrico, se caracteriza por precipitaciones medias anuales de 700 mm y se concentran principalmente en el semestre estival. La alta variabilidad interanual de las mismas es una de las principales características de las regiones áridas y semiáridas (Santanatoglia *et al.*, 2000). Dentro del régimen climático, las heladas constituyen, junto con la sequía, uno de los factores más importantes en su acción perjudicial sobre la vegetación (Santanatoglia *et al.*, 2000), principalmente las otoñales y primaverales (heladas tempranas y tardías, respectivamente),

debido a su variabilidad. En este sentido el período de heladas ocurre aproximadamente entre mediados de abril y mediados de octubre.

En el aspecto edáfico, el suelo es caracterizado como *Paleustol petrocálcico* de textura franco arenosa, con una profundidad a la tosca que oscila entre los 100 y 140 cm de profundidad. Posee régimen de humedad ústico y régimen de temperatura meso-térmico. Presenta una evolución genética con escasa diferenciación de horizontes y débil estructuración. Sus limitantes más importantes son climáticas (semiaridez), la costra calcárea, el drenaje algo excesivo, la baja capacidad de retención de agua y la susceptibilidad a la erosión (INTA, 1980).

### **Descripción del experimento**

Se trabajó con los genotipos Klein Proteo, ACA 315 y Baguette Premium 11. Los dos primeros pertenecen al grupo de calidad 1 y el restante al grupo 2. El diseño fue en bloques completamente aleatorizados, con cuatro repeticiones, siendo los factores principales genotipo y disponibilidad de nitrógeno. Los resultados fueron analizados por ANOVA mediante el infoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008) y se aplicó el test LSD para comparar las medias de los tratamientos.

Las semillas de los tres genotipos fueron sembradas el 11 de julio de 2016 en parcelas de 1,35 metros de ancho y 6 metros de largo. A la siembra se fertilizó con 50 Kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato triple de calcio (0-46-0) y al macollaje, el 28 de septiembre, se realizó una fertilización nitrogenada con una dosis de 100Kg urea.ha<sup>-1</sup> a la mitad de cada parcela.

En cada subparcela parcela se determinó, en cinco plantas, en la última hoja totalmente desarrollada el índice de verdor con un SPAD-502 y las mismas hojas en que se realizó la medición fueron cosechadas y secadas a 60°C hasta peso constante y molidas hasta

pasar por una malla de 1mm para cuantificar el porcentaje de nitrógeno total por Kjeldahl. Estas mediciones se realizaron dos días después de las emergencias de las espigas, el 27 de octubre, en Z 51 (Zadoks *et al* 1974) y el 21 de noviembre, en Z73, inicio de grano lechoso.

En la cosecha se cortaron las espigas de cada tratamiento en una superficie de  $\frac{1}{4}$  de m<sup>2</sup> para luego trillarlas con una maquina estática y obtener el peso de 1000 granos y estimar el rendimiento. En los granos se determinó la concentración de nitrógeno total por Kjeldahl para estimar la concentración de proteína. En harinas se determinó la composición proteica estimada por la concentración de proteínas monoméricas, glutenina soluble y glutenina insoluble siguiendo el fraccionamiento propuesto por Sapirstein and Fu, (1998).

Las propiedades reológicas de las harinas se determinaron con un mixógrafo en el laboratorio de calidad de cereales, INTA Marcos Juarez, Córdoba.

## **Resultados y discusión**

La disponibilidad de agua, nitrógeno y la temperatura durante el llenado del grano,son los factores ambientales que tienen mayor influencia en la variación de la calidad del grano de trigo.

En los últimos años, el comercio de trigo diferenciado por aptitud de uso ha cobrado gran relevancia dado que existe una demanda concreta por parte de la industria y exportadores de tener consistencia y certidumbre en la calidad del trigo (Abbate *et al.*, 2008). Para optimizar la segregación del trigo, para distintos mercados, es necesario agregar, además de la segregación por el genotipo, una predicción previo a la cosecha, de la concentración de proteína en grano (Le Bail *et al.*, 2005) dado que la concentración de proteína en grano es uno de los principales componentes de calidad de los cereales (Matsunaka *et al.*, 1997).

El cuadro 1 muestra el grado de significancia para todas las variables estudiadas. El rendimiento expresado en  $\text{gramos.m}^{-2}$ , fue diferente significativamente ( $p < 0,05$ ) entre los genotipos y aumentó en respuesta a la fertilización nitrogenada (Cuadro 2). Klein Proteo expresó un rendimiento de  $447,25 \text{ gm}^{-2}$ , significativamente menor a Baguette Premium 11 y ACA 315, siendo de  $529,57$  y  $540,34 \text{ g.m}^{-2}$  respectivamente. La fertilización nitrogenada produjo un incremento significativo del 14%. Sin embargo al analizar por separado cada genotipo, la diferencia significativa sólo se observó en ACA 315 (Cuadro 2).

En la variable peso de 1000 granos encontramos diferencias debido al genotipo pero no hubo efecto de la fertilización nitrogenada. Baguette Premium 11 expresó un peso de grano de 28,94 gramos, siendo significativamente ( $p < 0,05$ ) menor respecto de Klein Proteo y ACA 315, de 35,07 y 36,93 gramos respectivamente (Cuadro 2). Por lo tanto, podemos sugerir que el incremento en el rendimiento en los tratamientos fertilizados pudo deberse a un incremento en el número de granos. El número de granos es el principal componente del rendimiento que determina el rendimiento en grano (Peltonen-Sainio *et al.*, 2007). Además Fernández *et al.* (2015) determinaron que los componentes  $\text{espigas.m}^2$  y  $\text{número de granos.espiga}^{-1}$  fueron los de mayor asociación con el rendimiento en grano en trigo en la RSP.

Cuadro 2. Rendimiento en grano (gramos.m<sup>-2</sup>), peso de los 1000 granos (gramos) y concentración de proteína en grano (%) en tres genotipos de trigo no fertilizados y fertilizados con 100 kg urea.ha<sup>-1</sup> en macollaje. Letras diferentes indican diferencias significativas al p<0,05. La comparación de medias se hizo por LSD.

Variable	ACA 315		Baguette Premium 11		Klein Proteo	
	No fertilizado	Fertilizado	No fertilizado	Fertilizado	No fertilizado	Fertilizado
<b>Rendimiento (gramos.m<sup>-2</sup>)</b>	475,15 ab	605,53 c	515,25 abc	543,88 bc	423,72 a	470,77 ab
<b>Peso de 1000 granos (gramos)</b>	37,18b	36,69b	30,24a	27,64a	35,51b	34,63b
<b>Concentración de proteína en grano (%)</b>	8,45ab	9,26abc	7,46a	10,12bc	10,02bc	10,51c

El valor promedio de la concentración de proteína en grano fue significativamente diferente (p<0,05) entre los genotipos, siendo de 8,85; 8,79; y 10,26% para ACA 315, Baguette Premium 11 y Klein Proteo respectivamente. Por otra parte, sólo en el cultivar de menor contenido proteico, Baguette Premium 11, la fertilización nitrogenada aumentó el 36% (p<0,05) la concentración de proteína en grano (Cuadro 2).

La concentración de nitrógeno en la hoja bandera disminuyó en función de la edad de la hoja, y se observó que la fertilización nitrogenada reduce esta disminución. Aunque el primer corte de hojas (108DDS) se llevó a cabo 30 días después de la fertilización con urea, no se observó un aumento en la concentración de nitrógeno en hoja a diferencia de lo analizado en el segundo corte de hojas (132 DDS) en los cultivares Baguette Premium 11 y Klein Proteo (Cuadro 3).

El medidor de clorofila ha sido reconocido como una herramienta para detectar deficiencias y monitorear el status de N y las determinaciones, expresadas en unidades SPAD, han sido utilizadas para estimar el incremento del rendimiento en grano en función de la

disponibilidad de nitrógeno (*Singh et al.*, 2002). También se ha expresado que las unidades SPAD están asociadas con el índice de nutrición de nitrógeno (INN) (Prost and Jeuffroy, 2007; Yildirim *et al.*, 2011).

Nosotros observamos que los valores de SPAD dependen del genotipo como ha sido previamente informado (Le Bail *et al.*, 2005; Prost and Jeuffroy, 2007). En los dos momentos de corte ACA 315 expresó el menor valor de unidades SPAD. Dado que a los 108 DDS, en ACA 315, el valor de 42,03 fue significativamente ( $p < 0,05$ ) menor respecto de los valores medidos en Baguette Premium 11 y Klein Proteo, donde fueron 45,80 y 45,50 respectivamente. A los 132 DDS, segundo corte, en ACA 315, se determinó un valor medio de 37,58 significativamente ( $p < 0,05$ ) diferente de Baguette Premium 11, 41,56 y Klein Proteo 42,75.

Al analizar la respuesta a la fertilización nitrogenada observamos que las unidades SPAD en las hojas, en el primer corte (108 DDS) aumentaron sólo en el cultivar ACA 315, mientras que a los 132 DDS el incremento fue significativo ( $p < 0,05$ ) en los tres genotipos (Cuadro 3).

Además pudo observarse que las unidades SPAD disminuyen con la edad de la hoja, siendo menor la reducción en condiciones de alta disponibilidad de nitrógeno, al igual que lo encontrado por Gandrup *et al.*, (2004) y del Campo *et al.*, (2017).

Tindall *et al.*, (1995) y Echeverría y Studdert (1998) expresan que la concentración de nitrógeno en hoja bandera en espigazón es un buen predictor de la respuesta de la concentración de la proteína en grano ante la fertilización nitrogenada. Tindall *et al.*, (1995) encontraron que en plantas de baja concentración de nitrógeno en hoja bandera (3,0 a 3,6%) ante el agregado de nitrógeno, el incremento en la concentración de proteína en grano puede

variar entre el 1,0 y 2,5%. Mientras que en aquellas plantas cuya concentración de nitrógeno en hoja sea igual o superior al 4,2 % no aumentará la concentración de proteína en grano ante el agregado de nitrógeno. Similar es lo expresado por Echeverría y Studdert (1998), quienes determinaron que si la concentración de nitrógeno en hoja bandera en espigazón es inferior al 4% se espera un incremento en la concentración de proteína en grano en respuesta a la fertilización nitrogenada .

De igual manera, a lo encontrado por aquellos autores, es lo observado en nuestro experimento donde, los valores medios de la concentración de nitrógeno en hoja, 108 DDS, Zadoks 53, fueron 2,87, 2,97 y 2,99 % para ACA 315, Baguette Premium 11 y Klein Proteo respectivamente y el incremento en la concentración de proteína fue de 2; 1,7 y 1,4 unidades (%) de proteína ante el agregado de 100 Kg urea.ha<sup>-1</sup> en macollaje.

Al relacionar el incremento en la concentración de nitrógeno en hoja bandera (Zadoks 73) y la proteína en grano, en respuesta al agregado de 100 Kg urea.ha<sup>-1</sup> en macollaje, se observó que ACA 315 expresó un incremento del 11% en la concentración de nitrógeno en hoja y 2 unidades (%) en la concentración de proteína en grano. En Klein Proteo el nitrógeno en hoja aumentó un 35% y concentración de proteína en grano 1,4 unidades porcentuales, mientras que en Baguette Premium 11 el nitrógeno en hoja aumentó el 27% y la proteína 1,7 unidades.

Se observó que los grupos de calidad uno, ACA 315 y Klein Proteo, con la fertilización nitrogenada aplicada en macollaje alcanzaron el 11,3 y 12,2% de proteína en grano respectivamente, mientras que Baguette Premium 11, grupo 2 de calidad, alcanzó un 10,4% (Figura 1). De manera que los genotipos del grupo 1 fueron mas eficientes en transformar el nitrógeno adquirido en proteína en grano. Estos resultados pueden explicarse



por diferencias en la capacidad de retranslocación de nitrógeno a destinos cosechables según la disponibilidad de nitrógeno (Nair *et al.*, 1978; Lerner *et al.*, 2016) el genotipo y la interacción entre ambos factores (Lerner *et al.*, 2016).

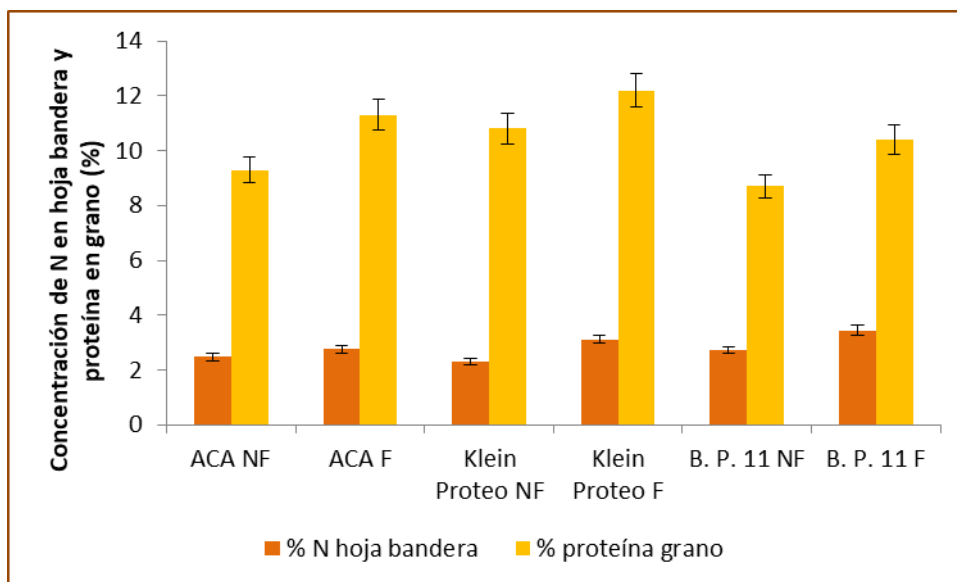


Figura 1. Concentración de nitrógeno en hoja bandera en Zadoks 73 y proteína en grano en tres cultivares de trigo no fertilizados (NF) y fertilizados (F) con 100 Kg urea.ha<sup>-1</sup> en macollaje. Las barras en la gráfica indican los desvíos estándares.

El medidor de clorofila Minolta SPAD 502 es un instrumento con el que se obtiene el índice de verdor (IV) de la hoja el cual está en estrecha relación con el contenido de clorofila (Markwell *et al.*, 1995; Finnan *et al.*, 1997; Gonzalez, 2009; Xiong *et al.*, 2015) y con la concentración de nitrógeno en hoja (Echeverría y Studdert, 2001; Xiong *et al.*, 2015; Orcellet *et al.*, 2016). Para el cultivo de trigo se ha informado que el IV es un estimador adecuado del rendimiento en grano (Lopez-Bellido *et al.*, 2004; Yildirim *et al.*, 2011) y de la concentración de proteína en grano (Matsunaka *et al.*, 1997, Echeverría y Studdert, 2001; Le Bail *et al.*, 2005, Martinez *et al.*, 2016). En la búsqueda del manejo de nitrógeno en los cultivos en base al uso del SPAD, es necesario establecer un valor umbral del status del nitrógeno en hoja,

indicador del requerimiento de nitrógeno, basándose en la relación entre las lecturas de SPAD y la concentración de N en hoja (Xiong *et al* 2015).

Al relacionar las unidades SPAD y la concentración de nitrógeno en hoja bandera en Zadoks 73 (Figura 2) se observó que un 3% N equivale a 40 unidades SPAD lo cual coincide con lo obtenido por Rashid *et al.*, (2004), indicando un valor umbral, en el sentido de que ante unidades menores habría respuesta del rendimiento al agregado de N (Rashid *et al* 2004).

La figura 3 indica que se requiere un 4% de nitrógeno en hoja bandera en Zadoks 73 para alcanzar un 11% de proteína en grano. Este valor es más alto respecto de lo determinado por Tindall *et al.*, (1995) quienes expresan que con una concentración de 2,5% de N en hoja bandera en Z73 se alcanza el 11% de proteína en grano, mientras que en el trabajo de Echeverría y Studdert (1998) el valor encontrado fue de 2,8% N. No obstante las diferencias mencionadas, la concentración de N en hoja bandera en Z73 puede utilizarse como predictor de la concentración de proteínas en los granos.

Echeverria y Studdert, (1998) encontraron una relación lineal entre el contenido de proteína del grano y la concentración de nitrógeno en hoja bandera, en el período de grano lechoso, indicando que el contenido de nitrógeno en dicha hoja, cumpliría un papel destacado en la determinación del contenido de proteínas de los granos, de manera que la concentración de nitrógeno en hoja bandera al estado de grano lechoso podría ser utilizada como predictor de la concentración de proteínas en los granos.

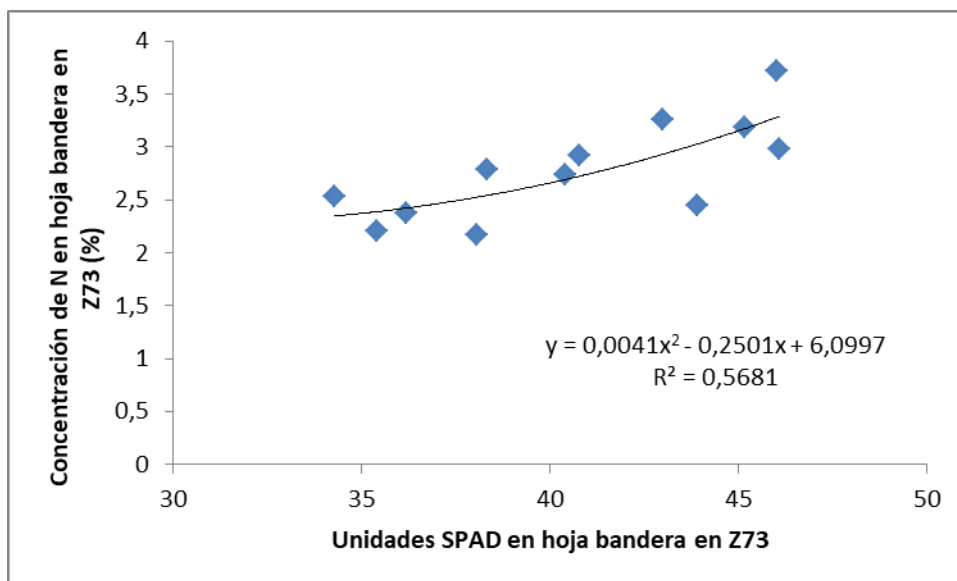


Figura 2. Relación entre la concentración de nitrógeno y las unidades SPAD en hoja bandera en Z73 en tres cultivares de trigo cultivados a campo.

En un estudio conducido por Lopez –Bellido *et al.*, (2004) expresaron que se requiere un 3,6% N en hoja bandera, lecturas de SPAD de 48, para alcanzar un 11% proteína en grano, equivalente a 2% N en grano asumiendo un factor de conversión de 5,7. La relación encontrada en nuestro estudio es similar dado que una concentración de 3.6 % N en hoja bandera en Zadoks 73, es requerida para alcanzar un 11 % de proteína en grano (Figura 3) y corresponde a 50 unidades SPAD (Figura 4). Las diferencias de las lecturas del medidor de clorofila pueden atribuirse a las diferentes condiciones de crecimiento de las plantas. La variación es debido a diferencias en las condiciones de crecimiento más que la variación en los métodos (Lopez-Bellido *et al.*, 2004).

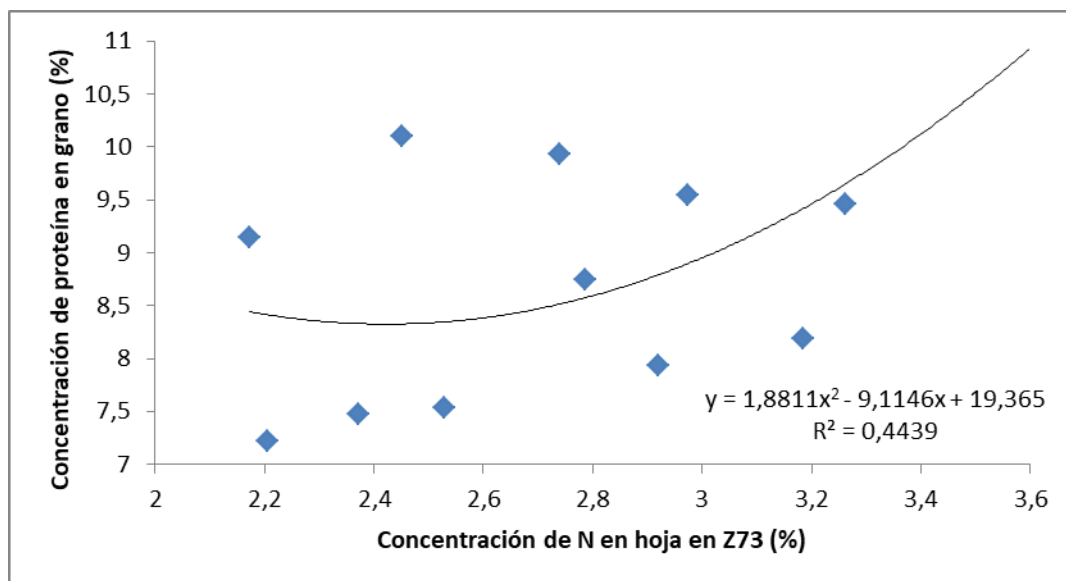


Figura 3. Relación entre la concentración de proteína en grano y la concentración de nitrógeno en hoja bandera en Z73 en tres cultivares de trigo cultivados a campo.

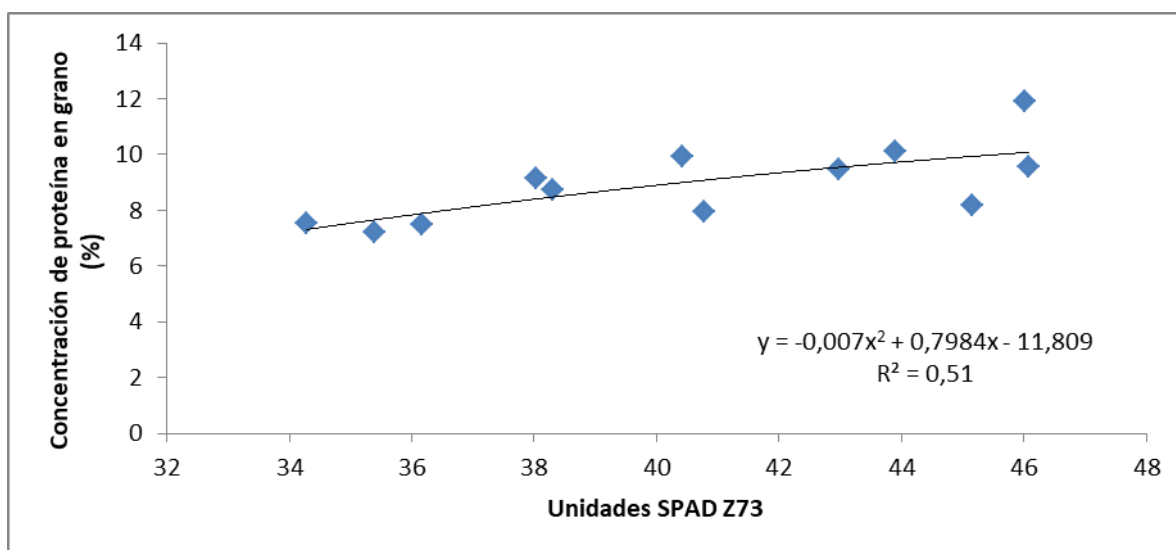


Figura 4. Relación entre la concentración de proteína en grano y unidades SPAD en hoja bandera en Z73 en tres cultivares de trigo cultivados a campo.

## Composición de las fracciones proteicas

En nuestro estudio la composición proteica de las harinas de los tres genotipos analizados fue simimilar. La fertilización nitrogenada aumentó ( $p<0,05$ ) un 7% la concentración de gluteninas totales y disminuyó ( $p<0,05$ ) la concentración de proteínas monoméricas y no afectó la relación entre gluteninas solubles y no solubles. Este incremento en la fracción de gluteninas en respuesta al aporte de nitrógeno coincide con lo observado por del Campo *et al.* (2017). Por otra, parte, Liu *et al.* (2012) encontraron un incremento de la concentración de gluteninas de alto peso molecular en respuesta al agregado de nitrógeno.

Fu and Sapirstein (1996) encontraron en harina de trigo que la concentración de gluteninas es del 50% aproximadamente. En nuestro experimento este valor varió entre el 56 y 57 % para los cultivares en estudio y el porcentaje de las distintas fracciones proteicas coincide con lo observado por estos autores.

Se observó que el porcentaje de gluten húmedo es mayor en los genotipos del grupo de calidad 1 respecto del cultivar de grupo de calidad 2 y en los tres genotipos se observó un aumento en respuesta a la fertilización nitrogenada.

El incremento de la concentración del gluten ante el agregado de nitrógeno se asocia al comportamiento de la concentración de gluteninas y el Gluten Index con un valor de 100 %, corresponde a trigos de gluten muy fuerte (Mir, 2016) (Cuadro 4).

El mixógrafo, mide y registra la resistencia de la masa al amasado (Mir, 2016), simula la acción de las mezcladoras comerciales de alta velocidad y consta de un brazo agitador y tres agujas que giran alrededor de otras tres fijas, todo lo cual se introduce en un recipiente donde se deposita la muestra de harina con el volumen óptimo de agua para la elaboración de la masa. La resistencia que opone la masa al movimiento del brazo agitador tiende a aumentar

hasta alcanzar un máximo, lo cual queda registrado en un gráfico, denominado mixograma (Gallardo *et al.*, 2010). Se pueden medir diferentes parámetros incluyendo: tiempo de desarrollo (TD), altura pico máx (TD) (ALP), estabilidad (PeD), ancho del pico máx (AnP), aflojamiento (A 8m), área hasta pico máximo (Area P) los que indican la calidad industrial de la harina. El mixograma es una herramienta útil para investigar los índices de calidad panadera (Martinant *et al.*, 1998).

El alto de banda indica consistencia de masa y tiene alta correlación con el contenido de proteína, dureza de grano y porcentaje de almidón dañado. Los anchos de banda indican tolerancia al amasado. Ambos parámetros se expresan como un porcentaje de los valores de torque sobre la escala total (eje Y) (Mir, 2016).

En nuestro experimento la fertilización nitrogenada no afectó el tiempo de desarrollo y aumentó la altura del mixograma (ALP), el ancho del pico máximo (AnP) y el aflojamiento (Cuadro 4). El Ancho del pico está relacionado con la tolerancia al amasado o resistencia y ha sido asociado con la fuerza de gluten y calidad panadera (Mir, 2016). Miles *et al.*, (2014) expresan que los parámetros obtenidos a partir del uso de un mixógrafo pueden ser usados para seleccionar genotipos por las propiedades reológicas de las harinas, teniendo la ventaja de requerir una pequeña cantidad de muestra. Nuestros resultados indican una mejora en los parámetros reológicos estimados por el mixograma en respuesta al agregado de nitrógeno en macollaje (Figura 6).

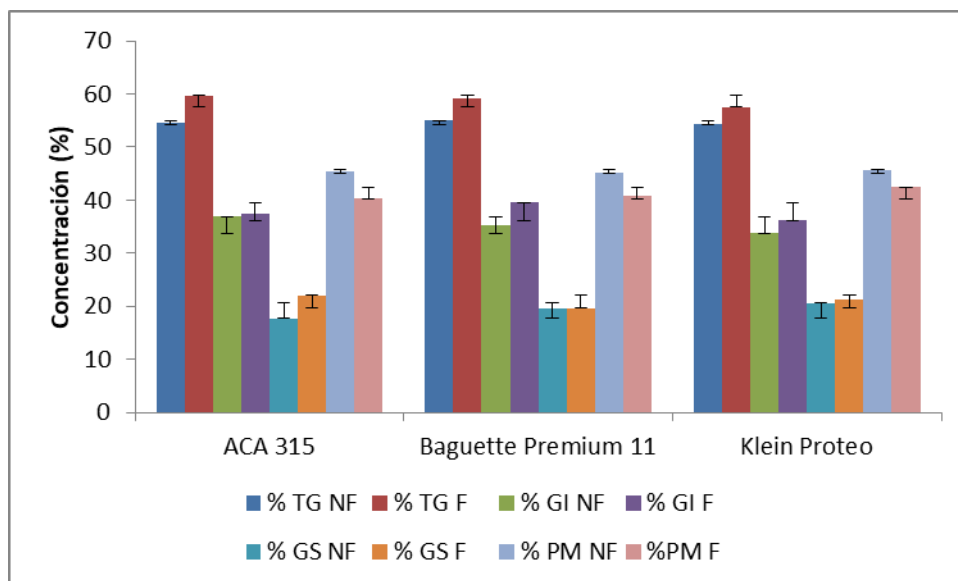


Figura 5. Concentración de las fracciones proteicas en el grano de tres genotipos de trigo, no fertilizados (NF) y fertilizados (F) con 100 Kg urea.ha<sup>-1</sup> en macollaje. Se trabajó con 4 repeticiones. Los datos fueron analizados por LSD al p<0,05. TG: glutenina total, GI: glutenina insoluble, GS: glutenina soluble, PM: proteínas monoméricas.

Cuadro 1. Grado de significancia para cada una de las variables en estudio en 3 genotipos de trigo en función de la disponibilidad de nitrógeno. En macollaje las plantas fertilizadas recibieron una dosis de 100 Kg urea.ha<sup>-1</sup>.

	Rendimiento (g.m <sup>-2</sup> )	Peso de 1000 granos (gramos)	Unidades SPAD 108 DDS	Unidades SPAD 132 DDS	Concentración N en hoja 108 DDS (%)	Concentración N en hoja 132 DDS (%)	Proteína en grano (%)	Concentración glutenina en harina (%)	Concentración glutenina insoluble en harina (%)	Concentración glutenina soluble en harina (%)	Concentración proteínas monoméricas en harina (%)
Genotipo	*	**	**	**	ns	**	*	ns	ns	ns	ns
Nitrógeno	*	ns	**	**	ns	**	*	*	ns	ns	*
Genotipo x nitrógeno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

(ns) no significativo, (\*): significativo al 5%, (\*\*): significativo al 1%

Cuadro 3. Concentración de nitrógeno (%) e índice de verdor (unidades SPAD) en hoja bandera en tres cultivares de trigos cultivados a campo, no fertilizados y fertilizados con 100 Kg.urea<sup>-1</sup> en macollaje. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05). La comparación de medias se hizo por LSD.

	ACA 315				Baguette Premium 11				Klein Proteo			
	108DDS		132DDS		108DDS		132DDS		108DDS		132DDS	
	No fertilizado	Fertilizado	No fertilizado	Fertilizado	No fertilizado	Fertilizado	No fertilizado	Fertilizado	No fertilizado	Fertilizado	No fertilizado	Fertilizado
Concentración N en hoja bandera (%)	2,74 a	3,00 a	2,47 ab	2,76 b	3,00 a	2,94 a	2,72 b	3,45 c	2,87 a	3,11 a	2,31 a	3, 12 c
Índice de verdor (Unidades SPAD)	40,43 a	43,63b	35,78 a	39,37bc	45,00bc	46,60bc	37,53ab	45,60d	44,25bc	46,75c	40,97c	44,53d



Cuadro 4. Valores de Gluten y mixograma en tres cultivares de trigos cultivados a campo, no fertilizados (NF) y fertilizados (F) con 100 Kg.urea<sup>-1</sup> en macollaje. **TD**: tiempo de desarrollo, **ALP**: altura pico máximo (TD), **AnP**: ancho del pico máximo, **A 8m**: aflojamiento, **Área Pico**: área hasta pico máximo.

Genotipo	GLUTEN			MIXOGRAMA				
	Húmedo (%)	Seco (%)	Index (%)	TD (min)	ALP (%)	AnP (%)	A 8m (%)	Área pico
ACA 315 NF	21,0	7,4	98	4,44	42,61	35,70	23,62	157
ACA 315 F	28,3	10,1	99	3,91	51,43	49,77	24,95	154
Baguette Premium 11 NF	18,3	6,4	100	8,10	38,22	24,69	26,47	277
Baguette Premium 11 F	24,2	8,6	99	8,23	41,61	26,61	29,37	298
Klein Proteo NF	25,5	9,5	99	5,03	48,75	45,96	27,76	195
Klein Proteo F	32,3	11,9	100	4,92	51,17	53,83	33,67	187

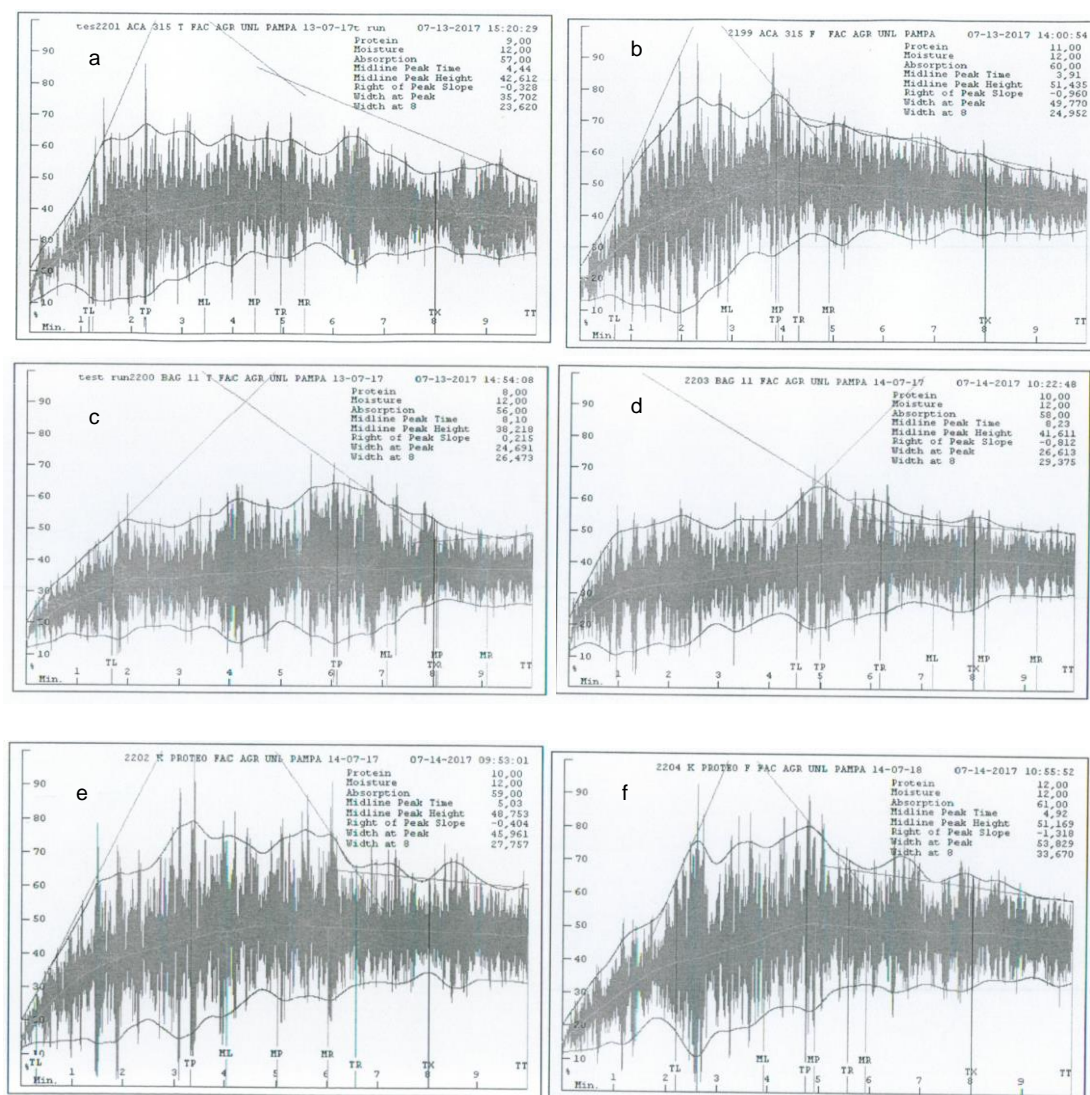


Figura 6. Mixogramas de tres genotipos de trigo no fertilizados (NF) y fertilizados (F) con 100 Kg urea.ha<sup>-1</sup> en macollaje.(a) ACA 315 NF, (b) ACA 315 F, (c) Baguette Premium 11 NF, (d) Baguette Premium 11 F, (e) Klein Proteo NF y (f) Klein Proteo F.

## Conclusiones

Del análisis de los resultados obtenidos podemos concluir que la concentración de nitrógeno en hoja bandera en espigazón (Zadoks 53) debe ser inferior al 4% para que la concentración de proteína en grano aumente en respuesta a la fertilización nitrogenada en

macollaje. Por otra parte, las lecturas del SPAD en hoja bandera en Zadoks 73 pueden ser usadas para predecir la concentración de proteína en grano. Se requiere un IV aproximado de 46 (Zadoks 73) para obtener un 11% de proteína en grano.

Los cultivares del grupo 1 de calidad, alcanzaron mayores valores de proteína en grano ante el agregado de nitrógeno en macollaje respecto del grupo 2. La fertilización nitrogenada en macollaje mejoró las propiedades reológicas de la harina estimadas por el mixograma, poniendo en evidencia que la fertilización nitrogenada como parte del paquete tecnológico de la producción de trigo permite mejorar la calidad industrial de las harinas.

## Bibliografía

- Abbate, P.E.; M. Lorenzo, M. Cuniberti, T. Loewy, F. Gutheim y J. Frascina. 2008. Calidad comercial, molinera y panadera de trigo: efecto del cultivar, la localidad y su interacción, y evaluación de la proteína como indicador de la calidad. VII Congreso Nacional de trigo. Santa Rosa. La Pampa. Argentina.
- Del Campo, N.; M. Serra, A. Quiriban, M. Castaño, M.A. Fernández y M. Pereyra Cardozo. 2017. Rendimiento y composición proteica del grano de trigo, *Triticum aestivum* L, en respuesta a condiciones contrastantes de disponibilidad de agua y nitrógeno en inicio de floración. *Semiárida Rev. Fac. Agron. UNLPam* 27: 39-53.
- Echeverría, H. E. y G.A. Studdert. 1998. El contenido de nitrógeno en la hoja bandera del trigo como predictivo del incremento de proteína en el grano por aplicaciones de nitrógeno en la espigazón. *Rev. Fac. Agron. La Plata* 103: 27-36.
- Echeverría, H. E. y G.A. Studdert. 2001. Predicción del contenido de proteína en grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) mediante el índice de verdor de la hoja bandera. *Ciencia del suelo* 19: 67-74.
- Fernández, M.A.; O. Zingaretti, R. Stefanazzi, D. Riestra, D. Alí y M. Knudtsen. 2015. La estabilidad del rendimiento en grano de los cereales invernales en la región semiárida pampeana. *Jornadas de Ciencia y Técnica de la Facultad de Agronomía. UNLPam. Semiárida Rev. Fac. Agron. UNLPam* 25:58.
- Finnan, J.M.; J.I. Burke and M.B. Jones. 1997. A note on a non-destructive method of chlorophyll determination in wheat (*Triticum aestivum* L). *Iris Journal of Agricultural and Food Research* 36: 85-89.
- Fu, B. X. and H. D. Sapirstein. 1996. Procedure for isolating monomeric proteins and polymeric glutenin of wheat flour. *Cereal Chem.* 73: 143-152.
- Gallardo M.A., H. J. Milisich, L. Gioco, B. B. Freire y M. Cuniberti. 2010. Estudio comparativo de análisis químico reológico predictores de calidad en trigos durante las campañas 2008/2009 2009/2010. Actualización Técnica N° 1. Cultivos de Invierno. INTA. EEA Paraná.
- Gandrup, M.E.; F. O. García, K. P. Fabrizzi y H.E. Echeverría. 2004. Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. *RIA.* 33:105-121.
- Gonzalez, A. Aplicación del medidor portátil de clorofila en programas de mejora de trigo y cebada. 2009. *Agroecología* 4: 111-116.

Le Bail, M.; M. H. Jeuffroy, C. Bouchard and A. Barbottin. 2005. Is it possible to forecast the grain quality and yield of different varieties of winter wheat from Minolta SPAD meter measurements?. *Europ. J. Agronomy* 23: 379-391.

Lerner, S.E.; A.F. Arata y A.C. Arrigoni. 2016. Relación entre eficiencia de uso del nitrógeno y calidad industrial en variedades argentinas de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) con distinta composición de gluten. *RIA* 42: 29-40.

Liu, J.; T. Liang, S. Xiong, J. Wang, Y. Wang, Y. Yang, Q. Zhai. 2012. Effects of nitrogen fertilization rate on the accumulation of high-molecular-weight glutenin subunits and distribution of glutenin macropolymer size in strong gluten wheat (*Triticum aestivum* L). *Australian Journal of Crop Science* 6: 1624-1629.

Lopez-Bellido, R. J.; C.E. Shepherd and P.B. Barraclough. 2004. Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. *Europ. J. Agronomy* 20: 313-320.

Markwell, J.; J. C. Osterman and J. L. Mitchell. 1995. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Photosynth. Res.* 46:467-472.

Martinant, J.P., Y. Nicolás, A. Bouguennec, Y. Popineaut, L. Saulnier and G. Branlard. 1998. Relationships between mixograph parameters and indices of wheat grain quality. *J. Cereal Sci.* 27: 179-189.

Martínez, J.M.; M.R. Landriscini, G.V. Minoldo y J.A. Galantini. 2016. Uso del clorofilómetro para el diagnóstico de fertilización nitrogenada en la región del sudoeste bonaerense en trigo de secano sobre dos antecesores. *Ciencias Agronómicas. Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias agrarias. UNR* 16: 35-43.

Matsunaka, T.; Y. Watanabe, T. Miyawaki and N. Ichikawa. 1997. Prediction of grain protein content in winter wheat through leaf color measurements using a chlorophyll meter. *Soil Sci. Plant Nutr.* 43: 127-134.

Miles, C.W.; A. Van Biljon, W.M. Otto and M.T. Labuschagne. 2014. The relationship between selected mixogram parameters and rheological and baking characteristics in hard red bread wheat grown in South Africa. *J. Cereal Sci.* 59: 219-223.

Mir, L.R. 2016. Influencia de la textura del grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) sobre la calidad industrial de galletitas dulces y crackers. Tesis. Magister en Ciencias Agropecuarias Mención: Producción Vegetal. UNC.

Nair T.V.R., H.L. Grover & Y.P. Abrol. 1978. Nitrogen metabolism of the upper three leaf blades of wheat at different soil nitrogen levels. *Physiol. Plant.* 42: 293-300.

Orcellet, J.M.; J. Calcha, G. Cencig, D. Perez, L. Tornotil, N. Reussi Calvo y H. Sainz Rozas. 2016. ¿podemos monitoriar el estatus nitrogenado del trigo en el centro de Santa Fe?.

Información Técnica de trigo y otros cultivos de invierno, campaña 2016. Publicación miscelánea N° 131. INTA-Estación Experimental Agropecuaria Rafaela.

Peltonen – Sainio, P.; A. Kangas, Y. Salo and L. Jauhiainen. 2007. Grain number dominates grain weight in temperate cereal yield determination: Evidence based on 30 years of multi-location trials. *Fields Crops Research* 100:179-188.

Peña, R.J. 2001. Contribución de las gluteninas (alto y bajo peso molecular) y las gliadinas al mejoramiento de la calidad de trigo. 2001. Estrategias y metodología utilizadas en el mejoramiento de trigo: Un enfoque multidisciplinario. Editores: ManM. Kohli, Martha Díaz de Ackermann, Marina Castro. CIMMYT. INIA.

Prost, L. and M. H. Jeuffroy. 2007. Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess wheat N status. *Agron. Sustain. Dev.* 27: 321-330.

Sapirstein. H.D. and B.X. Fu. 1998. Intercultivar variation in the quantity of monomeric proteins, soluble and insoluble glutenin, and residue protein in wheat flour and relationships to breadmaking quality. *Cereal Chem.* 75: 500-507.

Shing, B.; Y. Shing, J. K. Ladha, K. F. Bronson, V. Balasubramanian, J. Singh and C. S. Khind. 2002. Chlorophyll meter – and leaf color chart-based nitrogen management for rice and wheat in northwestern India. *Agron. J.* 94:821-829.

Tindall, T.A.; J.C.Stark and R.H.Brooks. 1995. Irrigated spring wheat response to topdressed nitrogen as predicted by flag leaf nitrogen concentration. *J. Prod. Agric.* 8:46-52.

Rashid, M.T.; P. Voroney and G. Parkin. 2004. Predicting nitrogen fertilizer requirements for corn by chlorophyll meter under different N availability conditions. *Can. J. Soil Sci.* 85: 149-159.

Xiong, D.; J. Chen, T. Yu, W. Gao, X. Ling, Y. Li, S. Peng and J. Huang. 2015. SPAD- based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. *Sci. Rep.* 5, 13389; doi: 10.1038/srep13389.

Yildirim, M.; H. Kilic, E. Kendal and T. Karahan. 2011. Applicability of chlorophyll meter readings as yield predictor in durum wheat. *Journal of Plant Nutrition* 34: 151-164.

Zadoks, J.C.; T.T. Chang y C.F. Zonzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421

FACULTAD DE AGRONOMÍA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA  
Santa Rosa, La Pampa, Argentina  
2018