

## 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

### WHEAT GRAIN YIELD AND PROTEIN COMPOSITION IN RESPONSE TO CONTRASTING CONDITIONS OF WATER AND NITROGEN AVAILABILITY AT THE START OF PLANT FLOWERING

Del Campo Néstor <sup>1</sup>, Matías Serra <sup>1</sup>, Adriana Quiriban <sup>1</sup>,  
Mirta Castaño <sup>1</sup>, Miguel Ángel Fernández <sup>1</sup> &  
María Pereyra Cardozo <sup>1,\*</sup>

Recibido 09/06/2017  
Aceptado 07/11/2017

#### RESUMEN

La provincia de La Pampa se ubica en la Región Triguera V Sur, siendo las principales limitantes para la producción triguera la baja disponibilidad de agua y nitrógeno. En el presente trabajo se analizó el rendimiento y los cambios en la composición proteica del grano de cuatro genotipos de *Triticum aestivum* L. bajo diferentes condiciones de disponibilidad de agua y nitrógeno. Se trabajó en invernáculo con los cultivares ACA 315, Baguette Premium 11, Klein Proteo y DM Cronox. En inicio de floración la mitad de las macetas fueron fertilizadas con 100 Kg N.ha<sup>-1</sup>. Hasta la cosecha la mitad de las macetas se mantuvieron al 50 y la otra mitad al 100% de capacidad de campo. Se determinaron los componentes del rendimiento, índice de verdor, concentración de proteína, contenido de nitrógeno en grano y concentración de gliadinas y gluteninas en harinas. El cultivar DM Cronox, expresó el mayor rendimiento. En condiciones hídricas limitantes, en dos genotipos, aumentó la fracción rica en gluteninas y disminuyó la de gliadinas, mientras que ante el agregado de nitrógeno sólo aumentó la de gluteninas. La concentración de las fracciones proteicas está asociada al contenido de nitrógeno en grano, principalmente las gliadinas. El cambio en las fracciones proteicas del grano de trigo, al variar la disponibilidad de agua y de nitrógeno depende de la relación genotipo-ambiente.

**PALABRAS CLAVE:** concentración proteica en grano, gliadinas, gluteninas

#### ABSTRACT

The area of wheat cropping in La Pampa province is included in the Region V South of Argentina for production of that cereal, where water and nitrogen low availabilities are the main limiting factors for wheat grain yield. The present work was aimed at analyzing grain yield and changes in grain protein composition of four genotypes of *Triticum aestivum* L. subjected to different availability levels of water and nitrogen. The assay was performed in pots under greenhouse condition and utilizing wheat cultivars ACA 315, Baguette Premium 11, Klein Proteo and DM Cronox. At the start of flowering half of the pots were fertilized with 100 kg N ha<sup>-1</sup> and, until grain harvest, half of the pots were kept at 50 and the other half at 100% field capacity. Grain yield components, greenness index, grain protein concentration, grain nitrogen content and gliadins and glutenins concentration in flour were the variables determined in the assay. DM Cronox was the cultivar that expressed the highest grain yield. Under conditions of limiting water availability, the glutenin-rich fraction increased and that of gliadins decreased in two of the genotypes, whereas addition of nitrogen led to an increase only in the glutenin content. Concentrations of protein fractions are associated to grain nitrogen content, mainly for gliadins. The change in wheat grain protein fractions upon variation of water and nitrogen availabilities depends on the genotype-environment relationship.

**KEY WORDS:** grain protein concentration, gliadins, glutenins

#### Cómo citar este trabajo:

Del Campo N., M. Serra, A. Quiriban, M. Castaño, M.A. Fernández & 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(2): 37-50

<sup>1</sup> Universidad Nacional de La Pampa. Facultad de Agronomía. Santa Rosa. Argentina  
\* pereyra@agro.unlpam.edu.ar



## INTRODUCCIÓN

En el grano de trigo maduro, *Triticum aestivum* L. la distribución y la solubilidad de las proteínas monoméricas y poliméricas juegan un rol crítico en determinar las propiedades de la harina y su uso (Gupta *et al.*, 1993; Johanson *et al.*, 2001). El grano maduro de trigo, contiene entre un 8 y 20% de proteínas. Las proteínas, gliadinas y gluteninas, conforman el gluten luego de un proceso de amasado debajo de una corriente de agua y constituyen alrededor del 80-85% de la proteína de la harina (Shewry *et al.*, 1995) siendo responsables de las propiedades de elasticidad y extensibilidad, esenciales para el funcionamiento de las harinas de trigo. La relación de las fracciones proteicas depende del genotipo y factores ambientales tales como la temperatura y la disponibilidad de agua durante el llenado del grano (Daniel & Triboi, 2002).

La sequía y las altas temperaturas durante el llenado del grano, tienden a aumentar la concentración de proteínas en el grano, debido a un mayor efecto en la acumulación de almidón respecto de la acumulación de nitrógeno (Gooding *et al.*, 2003) de manera que el incremento del peso del grano se relaciona negativamente con el contenido de proteína en grano (Triboi & Triboi-Blondel, 2002). El ambiente también puede afectar la relación de glutenina/proteína total en grano (Gooding *et al.*, 2003) dado que la proteína insoluble aparece más temprano en condiciones de sequía y aunque la sequía después de anthesis no afecta la concentración de proteína en grano, reduce la cantidad de almidón (Triboi & Triboi-Blondel, 2002). En consecuencia el contenido de proteínas y la calidad panadera, dependen del genotipo y del ambiente, y además el contenido y la composición de las proteínas modifican la calidad del trigo (Triboi *et al.*, 2000).

La síntesis de las fracciones proteicas está determinada por la cantidad de N por grano y por el ritmo de transferencia de nitrógeno al grano. El ambiente modifica la composición proteica en el grano, al modificar el nitrógeno total por grano. La fuente determina el ritmo y

la duración de la acumulación de nitrógeno en grano así, la composición de la proteína es función directa de la cantidad total de nitrógeno por grano y la partición del nitrógeno es afectada por las condiciones de crecimiento. En post anthesis, el contenido de nitrógeno es afectado por la temperatura, la disponibilidad de N y agua (Martre *et al.*, 2003; Martre *et al.*, 2006).

La provincia de La Pampa se ubica en la Región Triguera V sur. En esta región se encontraron valores altos que superaron el 12,9% de proteína en grano con zonas superiores a 13,9% coincidiendo en un año de sequía y bajos rendimientos en grano. Normalmente es un región de bajo porcentaje de proteína en grano, dado que se encuentra entre el 9,7 y 10,8% (Salomón *et al.*, 2013). El objetivo de este trabajo fue determinar el rendimiento y los cambios en la composición del grano, en la cantidad y tipos de proteínas, en genotipos de *Triticum aestivum* L. en respuesta a diferentes condiciones de disponibilidad de agua y de nitrógeno en inicio de floración.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en el invernáculo de la Facultad de Agronomía de la UNLPam. Se trabajó con cuatro genotipos de *Triticum aestivum* L.: ACA 315, Baguette Premium 11, Klein Proteo, y DM Cronox, siendo los dos primeros de ciclo intermedio a largo, Klein Proteo, de ciclo intermedio a corto y DM Cronox, de ciclo corto.

Ocho semillas de *Triticum aestivum* L. se sembraron en macetas de 20 cm de diámetro por 20 cm de altura y luego del raleo se dejaron 4 plántulas por maceta. Al finalizar espigazón, en emergencia completa de espigas, Z59 (Zadoks *et al.*, 1974) la mitad de las macetas de cada genotipo, fueron fertilizadas con nitrógeno en una dosis equivalente a 46 Kg N.ha<sup>-1</sup>. Posteriormente, a los 5 días, la mitad de las macetas fueron mantenidas al 50% de la capacidad de campo (CC) no regadas (NR) y la otra mitad al 100% CC regadas (R) hasta la cosecha. El contenido de agua del suelo se determinó por gravimetría.

El diseño fue completamente aleatorizado y los factores de análisis fueron: genotipo, dispo-

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

nibilidad de agua y disponibilidad de nitrógeno (F y NF). Se realizaron 4 repeticiones por tratamiento y los datos fueron analizados con el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008).

A partir de Z59 se midió el Índice de verdor (IV) con el SPAD 502-Minolta hasta la senescencia total de las hojas, a fin de determinar diferencias en la duración del área foliar entre los cultivares en estudio.

Al finalizar el ciclo del cultivo se determinó el número de espigas por maceta (espigas.maceta<sup>-1</sup>), granos por espiga (granos.espiga<sup>-1</sup>), peso de los granos por maceta (gramos.maceta<sup>-1</sup>) y el peso de los 1000 granos.

En el grano se determinó la concentración de nitrógeno (%) por kjeldahl y se aplicó el factor 5,7 para su conversión a proteína. Siguiendo la técnica propuesta por Suchy *et al.* (2007) se realizó el fraccionamiento y la cuantificación de las fracciones proteicas en la harina. En una primera extracción realizada con propanol (50%), se obtuvo la fracción denominada 50PS la cual contiene la mayoría de las proteínas monoméricas (principalmente gliadinas) y pequeñas cantidades de gluteninas. La extracción con propanol 50% y DTT permitió obtener la proteína soluble total (PST) y contiene del 90 al 95% de todas las proteínas presentes en la harina. La cantidad de gluteninas de alto y bajo peso molecular en la harina (50PI) se calculó como la diferencia entre la cantidad de PST y la cantidad de proteína ricas en gliadinas (50PS). La proporción de la proteína 50PS (%50PS) en la harina se expresó como la relación de absorbancia de la fracción 50PS con respecto a la absorbancia de PST a 280nm. La proporción de proteína 50PI (%50PI) fue expresado como la relación de absorbancia de 50PI con respecto a la absorbancia de la PST.

## RESULTADOS

### **Rendimiento. Peso de granos por maceta**

En la tabla 1 se muestra los resultados de significancia estadística para cada una de las variables estudiadas, en cuatro genotipos de trigo, cultivados con diferente disponibilidad de agua y de nitrógeno. Los cultivares ACA 315 y Baguette Premium 11 fueron seleccionados por presentar un rendimiento más estable en la re-

gión semiárida pampeana, mientras que Klein Proteo y DM Cronox como menos estables (Bono *et al.*, 2010). En esta experiencia el cultivar de ciclo corto, DM Cronox, expresó el mayor rendimiento. En el genotipo Baguette Premium 11 ocurrió la menor reducción del rendimiento en respuesta a la disminución de la disponibilidad de agua y nitrógeno, siendo del 17 y 9% respectivamente mientras ACA 315, presentó la mayor reducción al disminuir la disponibilidad de agua y nitrógeno, siendo del 47 y 26% respectivamente (Fig. 1). Estos resultados muestran que los dos cultivares seleccionados por ser estables, ACA 315 y Baguette Premium 11, tuvieron un comportamiento diferente en condiciones de baja disponibilidad hídrica después de antesis.

El rendimiento de DM Cronox de 5,12 g granos.maceta<sup>-1</sup> fue significativamente diferente ( $p<0,05$ ) de Baguette Premium 11 con 4,67 y el menor valor lo obtuvieron Klein Proteo con 4,16 y ACA 315 con 3,84 g granos.maceta<sup>-1</sup>.

En las plantas fertilizadas hubo un aumento significativo ( $p<0,05$ ) del 12% en el peso de granos.maceta<sup>-1</sup>, siendo el valor medio de los tratamientos sin fertilizar y fertilizados de 4,19 y 4,71 g grano.maceta<sup>-1</sup> respectivamente (Fig. 1), mientras que al disminuir la disponibilidad de agua el rendimiento varió de 5,02 a 3,88 g grano.maceta<sup>-1</sup>.

El rendimiento de las plantas cultivadas al 100% CC y fertilizadas expresó un valor medio de 5,58 g grano.maceta<sup>-1</sup> seguido por el rendimiento de las plantas regadas y no fertilizadas, cuyo valor fue de 4,46 siendo diferente del anterior ( $p<0,05$ ). Los valores menores se encontraron en aquellas plantas regadas al 50% CC, no fertilizadas y fertilizadas, siendo de 3,92 y 3,84 g grano.maceta<sup>-1</sup> respectivamente. En Baguette Premium 11 no hubo respuesta a la fertilización nitrogenada. En condiciones de baja disponibilidad de agua, ante el agregado de nitrógeno, no hubo aumento del rendimiento, coincidiendo con lo observado por Menéndez (2007).

### **Número de granos por maceta**

En este componente del rendimiento hubo diferencias entre los genotipos. Los valores promedios de granos.maceta<sup>-1</sup> fueron de 144,19;

Tabla 1. Significancia estadística para cada una de las variables estudiadas en cuatro genotipos de trigo en función de la disponibilidad de agua y de nitrógeno. En Z59 las plantas fertilizadas recibieron una dosis de 100 Kg urea.ha<sup>-1</sup>. Posteriormente, la mitad de las macetas se mantuvieron al 50% de capacidad de campo y el resto al 100% de capacidad de campo.(NF: no fertilizada, F: fertilizada, SR: regadas al 50% CC, R: regadas al 100% CC). (ns) no significativo, (\*): significativo al 5%, (\*\*): significativo al 1%

Table 1. Statistical significance for each studied variable in four wheat genotypes growing up under different water and nitrogen availabilities. At Z59 stage the fertilized plants received a dose of 100 kg urea.ha<sup>-1</sup>. Subsequently, half of the pots were kept at 50% field capacity and the other half at 100% CC (NF: unfertilized, F: fertilized, SR: irrigated at 50% CC, R: irrigated at 100% CC). (ns) not significant, (\*) significant at 5%, (\*\*) significant at 1%

	Peso granos. maceta <sup>-1</sup>	Número granos. maceta <sup>-1</sup>	Peso de 1000 granos (gramos)	Número granos. espiga <sup>-1</sup>	Espigas. maceta <sup>-1</sup>	% proteína en grano	mg N. grano <sup>-1</sup>	% 50PI	% 50PS	Relación 50PS/50PI
Genotipo	**	**	**	**	ns	**	ns	**	**	**
Agua	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	ns	ns
Nitrógeno	**	**	ns	ns	**	**	**	*	ns	*
Genotipo x agua	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	*	**
Genotipo x nitrógeno	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Agua x nitrógeno	**	**	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns
Genotipo x agua x nitrógeno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

133,81 y 133,31 para DM Cronox, Baguette Premium y Klein Proteo siendo diferentes (p<0,05) de ACA 315 que tuvo un valor inferior de 118,17 granos.maceta<sup>-1</sup>. DM Cronox y Klein Proteo expresaron los mayores valores en el número de granos.maceta<sup>-1</sup> en condiciones de alta disponibilidad de agua y nitrógeno. Por otra parte, la fertilización nitrogenada aumentó (p<0,05) un 15% el número de granos.maceta<sup>-1</sup>, pasando de 123,33 a 141,41 en las plantas no fertilizadas y fertilizadas respectivamente (Fig. 1). Mientras que la disminución de la disponibilidad de agua redujo este componente del rendimiento un 16% variando de 143,59 a 121,15 granos.maceta<sup>-1</sup> en las plantas cultivadas al 100 y 50% CC respectivamente.

**Peso de 1000 granos**

Se encontraron diferencias significativas, en el peso de los 1000 granos, en las variedades en estudio. DM Cronox y Baguette Premium 11 expresaron un valor promedio de 35,97 y 35,00 gramos respectivamente, siendo significativamente mayor de ACA 315 y Klein Proteo cuyos valores fueron 32,33 y 31,34 gramos (Fig. 1).

Las plantas que crecieron al 100 % CC tuvieron un promedio de 35,24 gramos en el peso en los 1000 granos, siendo significativamente (p<0,05) diferente a 32,08 expresado en las plantas que crecieron al 50% de capacidad de campo (Fig. 1).

Se observó una interacción (p<0,05) genotipo x nitrógeno significativa (Tabla 1) dado que el peso de los 1000 granos en Klein Proteo y DM Cronox disminuyó el 12 y 10% respectivamente, ante la fertilización nitrogenada, y no hubo cambios en los otros dos genotipos (Fig. 1).

**Número de granos por espiga**

Se encontraron diferencias significativas (p<0,05) entre variedades, en el número de granos.espiga<sup>-1</sup>, dado

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

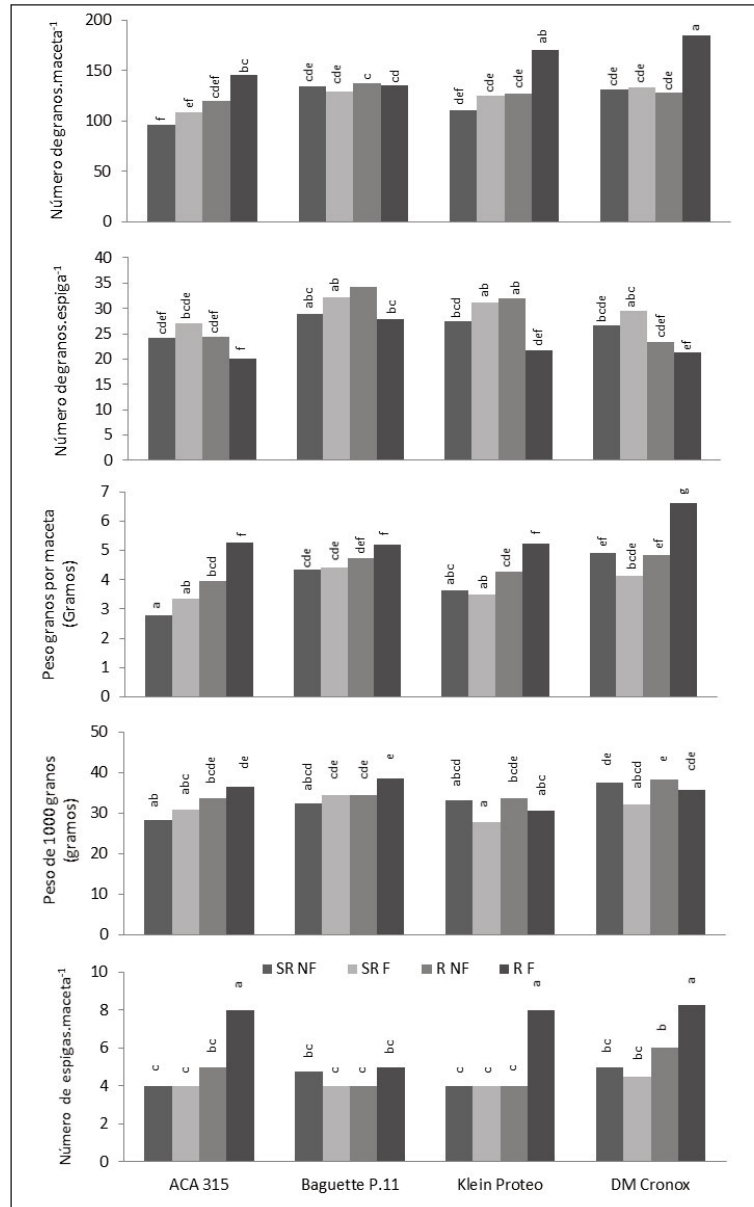


Figura 1. Rendimiento y sus componentes en cuatro genotipos de trigo que crecieron con diferente disponibilidad de agua y de nitrógeno. En Z59 las plantas fertilizadas recibieron una dosis de 100 Kg urea.ha<sup>-1</sup>. Posteriormente, la mitad de las macetas se mantuvieron al 50% de capacidad de campo y el resto al 100% de capacidad de campo (NF: no fertilizada, F: fertilizada, SR regadas al 50% CC, R: regadas al 100% CC). Letras diferentes indican diferencias significativas al p<0,05

Figure 1. Grain yield and its components in four wheat genotypes growing up under different water and nitrogen availabilities. At Z59 stage the fertilized plants received a dose of 100 kg urea.ha<sup>-1</sup>. Subsequently, half of the pots were kept at 50% field capacity and the other half at 100% CC (NF: unfertilized, F: fertilized, SR: irrigated at 50% CC, R: irrigated at 100% CC). Different letters indicate significant differences at p<0,05

que Baguette Premium 11 tuvo una media de 30,81; Klein Proteo de 28,06; DM Cronox de 25,24 y ACA 315 de 24,07 (Fig. 1).

En condiciones de baja disponibilidad de agua el promedio fue de 28,49 granos.espiga<sup>-1</sup>, significativamente ( $p < 0,05$ ) superior a las plantas mantenidas a capacidad de campo cuya media fue de 25,60. Esto se puede explicar porque en condiciones hídricas adecuadas aumentó la cantidad de macollos y éstos tuvieron un menor número de granos por espiga, de manera que en las macetas con varios macollos, al dividir la cantidad de granos.maceta<sup>-1</sup> por la cantidad de espigas formadas resultó en un menor número de granos por espiga.

#### **Número de espigas por maceta**

El número de espigas.maceta<sup>-1</sup> se originó en todos los casos a partir de las cuatro plántulas iniciales en cada maceta, por ello, las diferencias se explican según la capacidad de macollar de cada variedad (Fig. 1).

La mayor cantidad de espigas.maceta<sup>-1</sup> se encontró en DM Cronox con 5,94 y en ACA 315 con 5,25. A su vez ACA 315 no se diferenció de Klein Proteo y Baguette Premium 11 con 5,00 y 4,44 espigas.maceta<sup>-1</sup> respectivamente.

En las plantas mantenidas a capacidad de campo el número promedio de espigas.maceta<sup>-1</sup> fue de 6,03 siendo significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) de aquellas que crecieron con menor disponibilidad de agua las que expresaron un valor promedio de 4,28 espigas.maceta<sup>-1</sup>. Baguette Premium 11 fue la única variedad que no mostró diferencias entre los tratamientos con diferente disponibilidad de agua, las otras tres variedades cuando fueron regadas tuvieron mayor número de macollos.

Los tratamientos fertilizados tuvieron una media de 5,72 significativamente diferente a los tratamientos no fertilizados donde fue de 4,59 espigas.maceta<sup>-1</sup>.

El promedio del tratamiento con riego y fertilizado fue de 7,31 espigas.maceta<sup>-1</sup> siendo superior al resto de los tratamientos los cuales no fueron significativamente diferentes. A partir de estos resultados se observa que las diferencias significativas en el macollaje surgen de la acción

conjunta del agua y el nitrógeno, determinando el aumento del número de espigas.maceta<sup>-1</sup>. Este comportamiento se observa en tres cultivares en estudio, dado que en Baguette Premium 11 no hubo efecto de la disponibilidad del agua ni del nitrógeno sobre el número de espigas.maceta<sup>-1</sup> (Fig. 1).

Los mayores rendimientos fueron explicados, por valores altos en el peso de los 1000 granos ( $R^2 = 0,25$ ) y en el número de granos.maceta<sup>-1</sup> ( $R^2 = 0,65$ ), siendo mayor la importancia de éste último componente (Fig. 2) al igual que lo encontrado por Grangetto & Gavazza (2013). Entre los tratamientos hubo diferencias superiores al 50% en el número de granos.maceta<sup>-1</sup> y del 20% en el peso de los 1000 granos. Al ser el número de granos, el principal componente del rendimiento, las variedades con mayor capacidad de particionar biomasa al grano presentan mayor recuperación del nitrógeno (Lerner *et al.*, 2013).

#### **Índice de verdor (IV)**

Asumiendo que el verdor de las hojas está asociado con la concentración de N en hojas (Scheepers *et al.*, 1992), la duración del área foliar puede estimarse por el IV. En todos los genotipos se encontró que las plantas fertilizadas y sin limitaciones hídricas presentaron la mayor duración del área foliar indicado por el índice de verdor (Fig. 3).

En todos los tratamientos y en los cuatro cultivares en estudio el IV disminuyó a medida que avanzó el ciclo del cultivo y luego ocurrió una tendencia decreciente más pronunciada (Fig. 2). Este comportamiento coincide con lo descrito por Islam *et al.* (2014), quienes observaron que los valores de IV en hoja bandera alcanzan un valor máximo a los 93 días posteriores a la siembra (DPS) y luego muestran una abrupta caída a los 102 DPS. La disminución observada con la edad de la hoja fue más pronunciada en aquellas plantas cultivadas en condiciones de baja disponibilidad de agua y nitrógeno, y más atenuada en el tratamiento con alta disponibilidad de estos elementos, siendo estos resultados coincidentes con lo observado por Gandrup *et al.* (2004). En Klein Proteo y Baguette Premium 11 a los 28 días posteriores a Z59 disminuye bruscamente

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

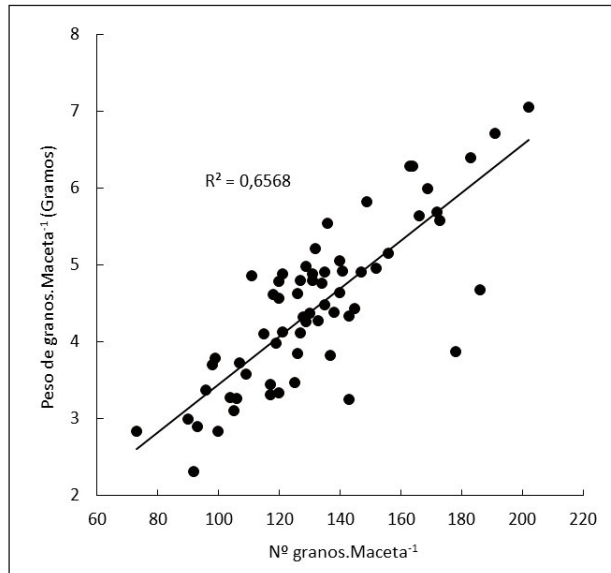


Figura 2. Relación entre el rendimiento (peso de granos.maceta<sup>-1</sup>) y el número de granos.maceta<sup>-1</sup> en cuatro cultivares de trigo que crecieron con diferentes disponibilidad de agua y nitrógeno

Figure 2. Relationship between yield (grain weight.pot<sup>-1</sup>) and grain number.pot<sup>-1</sup> in four wheat genotypes growing up with different water and nitrogen availabilities

el IV, mientras que en DM Cronox ocurre hacia los 32 días y en ACA 315 hasta los 31 días no se observa una drástica disminución del IV.

Las respuestas de los valores de IV tuvieron un comportamiento similar al rendimiento aunque no pudo establecerse una relación entre ambas variables. Estas determinaciones fueron realizadas con el objeto de evaluar diferencias entre los cultivares en la duración del área foliar. Foulkes *et al.* (2007), informaron que una mayor duración de la actividad fotosintética de la hoja bandera, estaría relacionada con la habilidad de mantener el rendimiento bajo sequía. ACA 315 presentó la caída del IV a un mayor número de días después de Z59, sin embargo, esta respuesta no pudo asociarse a diferencias entre los rendimientos observados. Sólo puede expresarse que en condiciones de baja disponibilidad de agua y N los valores del IV son menores al igual que la respuesta del rendimiento. Sin embargo, otros autores, en otra etapa fenológica del cultivo, pudieron estimar el rendimiento, mediante los valo-

res del IV en hoja bandera en trigo. Islam *et al.* (2014) expresan que el contenido de clorofila entre los 50 y 75 días después de la siembra es muy importante para el rendimiento y desarrollaron una función de ajuste para estimar el rendimiento a partir de los valores del IV.

El mantenimiento de la concentración de clorofila es esencial para la fotosíntesis en condiciones hídricas limitantes y la diferencia entre los genotipos en el contenido de clorofila, estimada por los valores de IV, está relacionado con la tolerancia a la sequía (Guendouz *et al.*, 2014), no obstante, esta relación no fue encontrada en nuestro experimento.

### Concentración de proteína en grano

En este experimento la acumulación de nitrógeno en el grano, ya sea estimada como porcentaje de proteína o mg N.grano<sup>-1</sup> no fue afectada por la disponibilidad de agua (Tabla 1). En condiciones de baja disponibilidad hídrica, al disminuir el peso del grano, podría haber ocurrido un incremento de la concentración de proteína. Aunque esta respuesta no se observó, se encontró una relación negativa entre el peso del grano y la concentración de proteína en condiciones de reducida disponibilidad de agua (Fig. 4).

La concentración de proteína en el grano (%) fue diferente en los genotipos en estudio. El mayor porcentaje lo expresó el genotipo ACA 315 con 17,35%, en promedio de los cuatro tratamientos, y Klein Proteo con 15,99. Esta última variedad no se diferenció de DM Cronox con 14,52% y B.P.11 con 14,16% que expresaron los valores menores (Fig. 5). La concentración de proteínas aumentó un 29% en respuesta a la fertilización nitrogenada, variando de 13.52 a

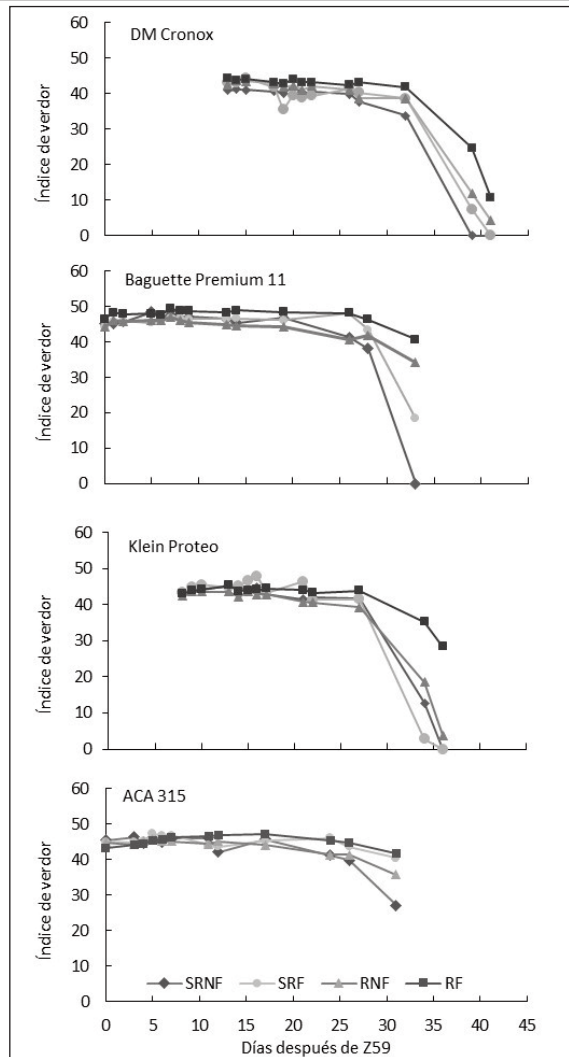


Figura 3. Índice de verdor (valores de SPAD en hoja bandera) y rendimiento en grano en cuatro genotipos de trigo que crecieron con diferente disponibilidad de agua y de nitrógeno. En Z59 las plantas fertilizadas recibieron una dosis de 100 Kg urea.ha<sup>-1</sup>. Posteriormente, la mitad de las macetas se mantuvieron al 50% de capacidad de campo y el resto al 100% de capacidad de campo (NF: no fertilizada, F: fertilizada, SR regadas al 50% CC, R: regadas al 100% CC). Letras diferentes indican diferencias significativas p<0,05. Las comparaciones son entre cultivares y los diferentes condiciones de crecimiento de agua y nitrógeno

Figure 3. Greenness index (SPAD value of flag leaf) and grain yield in four wheat genotypes growing up with different water and nitrogen availabilities. At Z59 stage the fertilized plants received a dose of 100 kg urea.ha<sup>-1</sup>. Subsequently, half of the pots were kept at 50% field capacity and the other half at 100% CC (NF: unfertilized, F: fertilized, SR irrigated at 50% CC, R: irrigated at 100% CC). Different letters indicate significant differences at p<0,05

17.49% (p<0,05), siendo significativo (p<0,05) el incremento observado del 28, 24, 25 y 40% en ACA 315, Baguette P. 11, Klein Proteo y D.M. Cronox respectivamente.

### Contenido de nitrógeno en grano

El contenido de nitrógeno en el grano (mg N.grano<sup>-1</sup>) fue similar en los genotipos en estudio y aumentó en respuesta a la fertilización nitrogenada, variando de 0,80 a 1,01 mg N. grano<sup>-1</sup> (p<0,05). En el genotipo Klein Proteo no hubo cambios en respuesta al agregado de nitrógeno, mientras que en los otros tres cultivares el incremento significativo (p<0,05) fue de 40, 36 y 25% para ACA 315, Baguette Premium 11 y DM Cronox, respectivamente (Fig. 5).

Estos resultados muestran que la dinámica de acumulación de las proteínas y el nitrógeno total, en respuesta a la fertilización nitrogenada, es diferente y puede variar según los genotipos. Lerner *et al.* (2013), expresan que la eficiencia de uso del nitrógeno se puede estimar como la diferencia del contenido de nitrógeno en grano, siendo el genotipo la principal fuente de variación de la eficiencia de recuperación del nitrógeno en grano (Kharel *et al.*, 2011).

### Fracciones proteicas en la harina

La concentración de la fracción rica en gluteninas, 50PI, fue diferente significativamente (p<0,05), debido al genotipo, encontrándose en las harinas de Klein Proteo y Baguette Premium 11 la menor y mayor concentración respectivamente (Fig.



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

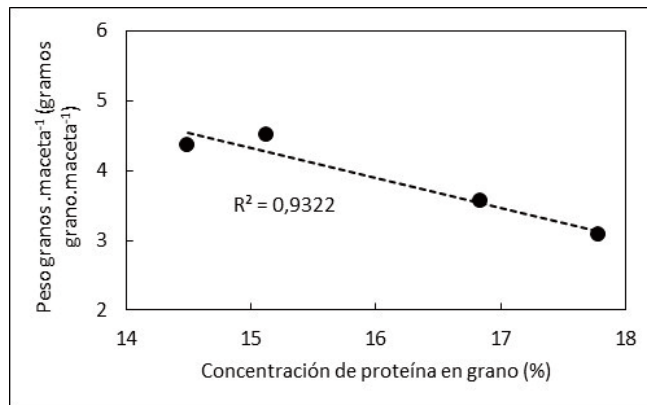


Figura 4. Relación entre el rendimiento y la concentración de proteína en grano en cuatro genotipos de trigo, cultivados al 50% CC a partir de Z59. Cada punto representa un genotipo.

Figure 4. Relationship between grain yield and protein concentration in four wheat genotypes growing up at 50% CC since Z59 stage. Each point represents an individual genotype.

5). Esta fracción aumentó el 9% en respuesta al agregado de nitrógeno, aunque, al analizar individualmente por genotipo no se encontraron diferencias entre las harinas provenientes de plantas no fertilizadas y fertilizadas. La disponibilidad de agua modificó diferencialmente el patrón proteico en los genotipos en estudio. En ACA 315 y DM Cronox la concentración de la fracción rica en gluteninas no se modificó mientras que hubo un aumento del 18 y del 23% en Baguette Premium 11 y Klein Proteo respectivamente al disminuir la disponibilidad de agua (Fig. 5).

La concentración de la fracción rica en gliadinas, 50PS, expresó una interacción significativa entre el genotipo y la disponibilidad de agua ( $p < 0,05$ ) (Tabla 1). Esta interacción se explica porque en Baguette Premium 11 y Klein Proteo se redujo el 8% la concentración de la fracción 50PS ( $p < 0,05$ ), mientras que en el resto de los genotipos no se modificó. Por otra parte, a diferencia de lo observado en la concentración de la fracción 50PI, la concentración de la fracción 50PS no expresó cambios por efecto de la disponibilidad de nitrógeno.

La relación 50PS/50PI juega un rol en determinar las propiedades de la harina siendo una medida de la distribución según el peso molecu-

lar de las proteínas. Suchy *et al.*, (2007), autores de la técnica utilizada en esta experiencia para separar y cuantificar las fracciones proteicas en la harina, sugieren que esta relación varía entre 1,5 y 4,9 enmarcándose en este rango los valores determinados en este experimento.

Esta relación fue modificada por efecto de la disponibilidad de nitrógeno, dado que se redujo un 13% variando de 2,50 a 2,17 en las harinas de granos provenientes de plantas no fertilizadas y fertilizadas respectivamente. No obstante, al analizar dentro de cada genotipo

no se encontraron diferencias entre los tratamientos no fertilizados y fertilizados.

La interacción genotipo x disponibilidad de agua fue significativa. En Klein proteo se observó una reducción significativa ( $p < 0,05$ ) del 23% en las plantas cultivadas al 50%CC (Fig. 5). Esta respuesta puede explicarse porque en Klein Proteo ante la reducción hídrica, aumentó un 23% la concentración de la fracción 50PI y disminuyó el 8% la fracción 50PS. Por otra parte, en Baguette Premium 11 aumentó un 18% el porcentaje de 50PI, y se redujo el 9% la fracción 50PS al reducir la disponibilidad de agua, sin embargo, esta disminución no fue significativa (Fig. 5). De manera que en condiciones de crecimiento con limitaciones hídricas, aunque la concentración de proteínas en el grano no se modificó en los genotipos en estudio, ocurrieron cambios en la composición proteica de Klein Proteo y Baguette Premium 11.

Estos resultados muestran que hubo diferencias genotípicas en la composición proteica de la harina, siendo, Baguette Premium 11 el genotipo que expresó la menor concentración de la fracción 50PS y la mayor de la fracción 50PI, a diferencia de lo observado en Klein Proteo, el cual expresó mayor concentración de la fracción 50PS y la menor de 50PI. Además el efecto de

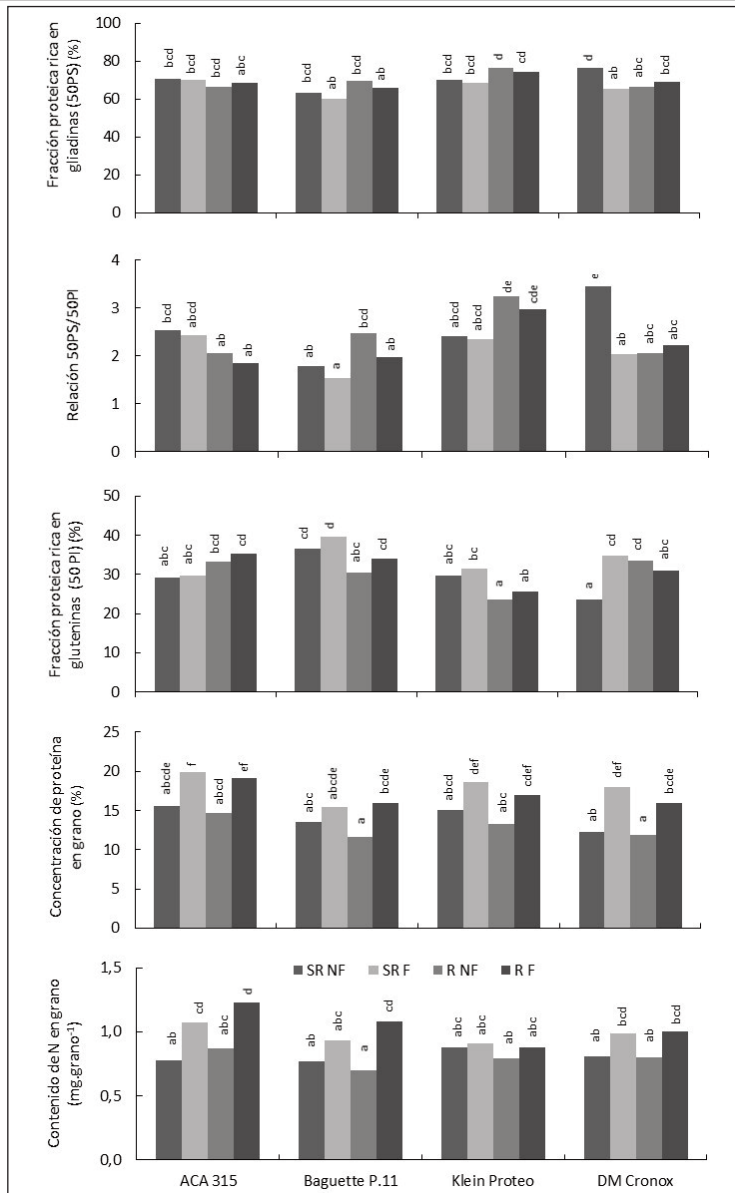


Figura 5. Concentración de nitrógeno en grano y fracciones proteicas en harina en cuatro genotipos de trigo que crecieron con diferente disponibilidad de agua y de nitrógeno. En Z59 las plantas fertilizadas recibieron una dosis de 100 Kg urea.ha<sup>-1</sup>. Posteriormente, la mitad de las macetas se mantuvieron al 50% de capacidad de campo y el resto al 100% de capacidad de campo (NF: no fertilizada, F: fertilizada, SR regadas al 50% CC, R: regadas al 100% CC). Letras diferentes indican diferencias significativas al p<0,05

Figure 5. Grain nitrogen concentration and flour protein fractions of four wheat genotypes growing up under different water and nitrogen availabilities. At Z59 stage the fertilized plants received a dose of 100 kg urea.ha<sup>-1</sup>. Subsequently, half of the pots were kept at 50% field capacity and the other half at 100% CC (NF: unfertilized, F: fertilized, SR: irrigated at 50% CC, R: irrigated at 100% CC). Different letters indicate significant differences at p<0,05

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

la disponibilidad de agua y nitrógeno afectó diferencialmente a las fracciones proteicas y hubo diferencias genotípicas. El incremento de la fracción insoluble se puede asociar, a una disminución del período de acumulación de la fracción soluble, debido a la baja disponibilidad de agua (Daniel & Triboi, 2002).

Muchos autores sostienen que la composición de las fracciones proteicas depende del contenido de N por grano. Se identificaron dos relaciones lineares para cada fracción proteica en función del contenido de nitrógeno en el grano (Fig. 6) indicando un cambio relativo en la relación de acumulación del nitrógeno total en las diferentes fracciones proteicas (Triboi *et al.*, 2003). El contenido de ambas fracciones estuvo relacionado positivamente con el contenido de nitrógeno en grano siendo mayor esta asociación para la fracción gliadinas al igual que lo encontrado por Triboi *et al.*, 2003.

Martre *et al.* (2003), expresan que las fracciones proteicas del grano de trigo dependen de la cantidad total de nitrógeno por grano, sugiriendo que las variaciones en la composición proteica se deben a que el ambiente modifica el nitrógeno total por grano, y no porque haya afectado la partición del nitrógeno entre las diferentes fracciones proteicas.

## DISCUSIÓN

El clima, el suelo y el manejo interactúan y afectan la producción de trigo, la composición proteica y la calidad panadera, el entendimiento de estas relaciones hace posible la mejora de la seguridad alimentaria (Kharel *et al.*, 2011). La disponibilidad de agua y nitrógeno afectaron significativamente

el rendimiento y la composición proteica del grano de los genotipos en estudio. Algunos autores sostienen que la fertilización nitrogenada tardía no afecta el rendimiento y sólo mejora la calidad panadera (Pinilla Quezada & Herrera Floody, 2008), debido a que el agregado tardío de nitrógeno modifica la cinética de acumulación del N en el grano y no afecta la acumulación de materia seca (Triboi *et al.*, 2003).

En esta experiencia la fertilización nitrogenada en inicio de floración, no afectó la acumulación de materia seca en el grano, estimada por el peso del grano, y aumentó la acumulación de nitrógeno al igual que lo observado por Triboi *et al.* (2003). La acumulación de materia seca es menos sensible a la disponibilidad de nitrógeno que la acumulación de proteína, y la aplicación

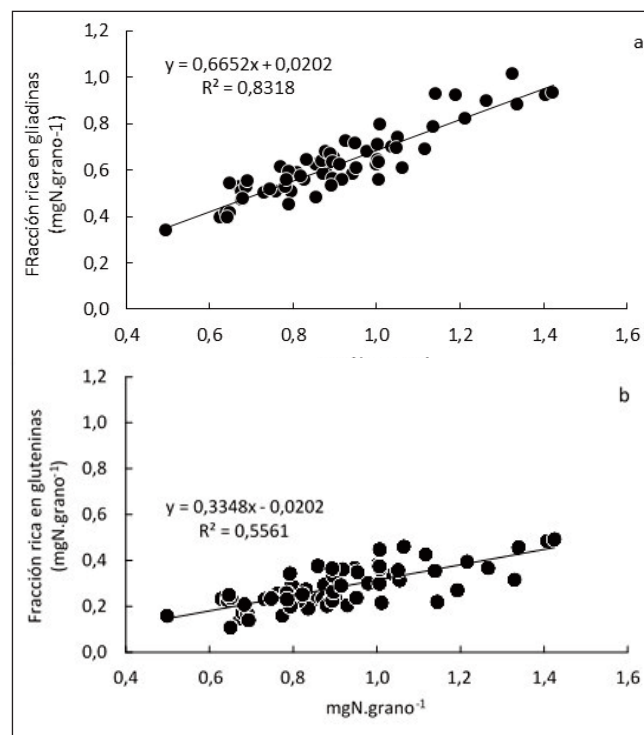


Figura 6. Relación entre la fracción rica en gliadinas (a), la fracción rica en gluteninas (b) y el contenido de N en grano en cuatro genotipos de trigo que crecieron con diferente disponibilidad de agua y nitrógeno

Figure 6. Relationship between gliadin-rich fraction (a), glutenin-rich fraction (b) and nitrogen content in four wheat genotypes growing up with different water and nitrogen availabilities

tardía de nitrógeno afecta principalmente la concentración de proteína y tiene poco efecto sobre el peso seco del grano (Triboi *et al.*, 2003). Al tratarse de una fertilización tardía, no se produjo el efecto dilución que se produce en fertilizaciones a la siembra, ya que en el momento en que se aplicó el nitrógeno, el principal destino del mismo es el grano. Aquellos genotipos que expresaron el mayor incremento en la concentración de proteína en grano, ACA 315 y Klein proteo, tuvieron un menor peso de grano.

Durante el período de acumulación de las proteínas de reserva, aproximadamente desde los 15 días posteriores a antesis hasta madurez fisiológica, el contenido de nitrógeno en el grano está limitado por la fuente de nitrógeno (Martre *et al.*, 2003). La composición de las proteínas de reserva fue modificada en respuesta a la disponibilidad de nitrógeno, dado que en la harina de los granos de plantas fertilizadas aumentó la concentración de la fracción rica en gluteninas, no varió la concentración de la fracción rica en gliadinas y se redujo la relación gliadinas/gluteninas, siendo este patrón de respuesta similar en los genotipos en estudio coincidiendo con lo observado por (Kharel *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2014).

Sin embargo, estos resultados difieren de lo encontrado por Lerner *et al.* (2013), quienes expresan que el aumento en la disponibilidad de nitrógeno en los granos se asocia directamente con el incremento de la fracción gliadinas presentes en el gluten, proteínas responsables de conferir extensibilidad a las masas. Fuertes-Mendizábal *et al.* (2010) encontraron un aumento de la concentración de gliadinas y gluteninas en respuesta a la fertilización nitrogenada, aumentando en mayor medida las gliadinas y por lo tanto la relación gliadinas/gluteninas. Otros autores han encontrado que ambas fracciones aumentan en la misma magnitud de manera que la relación no se modifica (Triboi *et al.*, 2000). El cambio en esta relación se expresa en cambios en las propiedades reológicas de la masa.

Triboi *et al.* (2003) expresan que la aplicación de nitrógeno antes o después de antesis aumenta el ritmo de acumulación de nitrógeno en el grano y de gliadinas y gluteninas siendo mayor el au-

mento para las gliadinas, mientras que la duración del período de acumulación de estas fracciones proteicas no fue afectada por la disponibilidad de nitrógeno. Los distintos resultados en el comportamiento de las fracciones proteicas en respuesta al agregado de nitrógeno puede deberse al impacto del nitrógeno sobre la longitud del período del llenado de grano (Park *et al.*, 2014).

La acumulación de nitrógeno en el grano, ya sea estimada como la concentración de proteína o como  $\text{mg N.grano}^{-1}$  no fue afectada por la disponibilidad de agua. En numerosos experimentos se encontró un aumento de la concentración de proteínas asociado a la reducción del peso del grano en respuesta a la baja disponibilidad de agua (Park *et al.*, 2014). Bajo estas condiciones, la acumulación de almidón es más sensible que la acumulación de proteínas. Un incremento en la concentración de proteínas en el grano puede ocurrir sin un aumento en el contenido de proteínas per se (Beltrano *et al.*, 2006). Quiriban *et al.* (2015) encontraron que al disminuir la disponibilidad de agua, en inicio de encañazón, se redujo el 51% el peso del grano y aumentó el 43%, la concentración de proteínas del grano en ACA 315, mientras que en Baguette P. 11, el peso del grano se redujo el 37% y el aumento del % de proteínas fue del 17%. En este experimento, en el que se redujo la disponibilidad del agua desde inicio de floración, la reducción del peso del grano fue del 9% y no hubo cambios en la concentración de proteína en grano. Sin embargo, se observó una relación negativa entre el peso del grano y la concentración de proteína similar a lo informado por otros autores (Pleijel *et al.*, 1999; Fowler, 2003; Balla *et al.*, 2011).

Zhao *et al.* (2009) encontraron un aumento de la concentración de proteínas, gluteninas y gliadinas y una disminución de la relación gliadinas/gluteninas en respuesta a la baja disponibilidad de agua. La sequía después de antesis redujo el ritmo de acumulación de las gliadinas y gluteninas (Triboi *et al.*, 2003). Balla *et al.* (2011), expresan que en condiciones de estrés hídrico, en cuatro cultivares de trigo, ocurre un deterioro en la composición proteica del gluten, asociándolo a una reducción de la relación gluteninas/gliadinas.

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

En esta experiencia, en dos de los cultivares en estudio, Baguette Premium 11 y Klein Proteo, hubo un aumento de la concentración de la fracción rica en gluteninas y una reducción de la fracción rica en gliadinas en condiciones hídricas limitantes. Esto podría explicarse porque bajo condiciones de baja disponibilidad de agua se reduce el número de días después de antesis de acumulación de las proteínas de reserva solubles (Daniel & Tribol, 2002). La acumulación de gliadinas en el grano ocurre más temprano que la de gluteninas y bajo condiciones hídricas limitantes se observó que se anticipa la formación de polímeros de alto peso molecular y aumento de la fracción insoluble (Daniel & Tribol, 2002). De manera que el estrés hídrico al reducir el período de llenado de grano afecta principalmente la acumulación de gliadinas (Panozzo & Eagles, 2000). Beltrano *et al.* (2006) encontraron un aumento de la concentración de gluteninas de alto peso molecular bajo condiciones de estrés hídrico. Estos cambios en el período de acumulación de las distintas fracciones proteicas debido a la disponibilidad de agua podría explicar el aumento observado de la fracción rica en gluteninas dependiendo esta respuesta del genotipo.

Estos resultados muestran una respuesta diferente entre los genotipos en estudio, en el rendimiento y en la composición proteica del grano, al ser cultivados bajo condiciones contrastantes de disponibilidad de agua y nitrógeno al inicio de floración. Tanto la reducción de la disponibilidad de agua como la fertilización nitrogenada, produjeron cambios en la composición proteica debido a un incremento de la fracción rica en gluteninas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Balla K., M. Rakszegi, Z. Li, F. Békés, S. Bencze & O. Veisz. 2011. Quality of Winter Wheat in Relation to Heat and Drought Shock after Anthesis. *Czech J. Food Sci.* 29: 117-128.
- Beltrano J., M.G. Ronco & M.C. Arango. 2006. Soil drying and rewatering applied at three grain developmental stages affect differentially growth and grain protein deposition in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Braz. J. Plant Physiol.* 18: 341-350.
- Bono A., A. Quiroga & I. Frasier. 2010. El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. INTA. EEA Anguil. Publicación Técnica N° 79.
- Daniel C. & E. Tribol. 2002. Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperatures and water stress. *Eur. J. Agron.* 16: 1-12.
- Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada & C.W. Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Foulkes M.J., R. Sylvester-Bradley, R. Weightman & J.W. Snape. 2007. Identifying physiological traits associated with improved drought resistance in winter wheat. *Fields Crop Res.* 103: 11-24.
- Fowler D.B. 2003. Crop Nitrogen Demand and Grain Protein Concentration of Spring and Winter Wheat. *Agron. J.* 95: 260-265.
- Fuertes-Mendizábal T., A. Aizpurua, M.B. González-Moro & J.M. Estavillo. 2010. Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. *Eur. J. Agron.* 33: 52-61.
- Gandrup M.E., F.O. García, K.P. Fabrizzi & H.E. Echeverría. 2004. Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. *RIA* 33: 105-121.
- Grangeto L.R. & J.G. Gavazza. 2013. Evaluación del efecto de distintas variedades de trigo, con diferente participación de los componentes sobre el rendimiento y la calidad en la región semiárida pampeana. Tesis para obtener el grado académico de Ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía, UNLPam, Santa Rosa.
- Gupta R.B., K. Khan & F. MacRitchie. 1993. Biochemical basis of flour properties in bread wheats. I. Effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein. *J. Cereal Sci.* 18: 23-41.
- Gooding M.J., R.H. Elist, P.R. Shewry & J.D. Schofield. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *J. Cereal Sci.* 37: 295-309.
- Guendouz A., M. Hafsi, Z. Khebbat, L. Moumeni & A. Achiri. 2014. Evaluation of grain yield, 1000 kernels weight and chlorophyll content as indicators for drought tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Adv. Agric. Biol.* 2: 89-92.

- Islam M.R., K.M.S. Haque, N. Akter & M.A. Karim. 2014. Leaf chlorophyll dynamics in wheat based on SPAD meter reading and its relationship with grain yield. *Sci. Agri.* 8: 13-18.
- Johansson E., M.L. Prieto-Linde & J.Ö. Jönsson, . 2001. Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. *Cereal Chem.* 78: 19-25.
- Kharel T.P., D.E. Clay, S.A. Clay, D. Beck, C. Reese, G. Carlson & H. Park. 2011. Nitrogen and water stress affect winter wheat yield and dough quality. *Agron. J.* 103: 1389-1396.
- Lerner S.E., A.C. Arrigoni & A.F. Arata. 2013. Uso del nitrógeno y calidad industrial en cultivos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.). *RIA* 39: 77-87.
- Martre P., J.R. Porter, P.D. Jamieson & E. Tribol. 2003. Modelling grain nitrogen accumulation and protein composition to understand the sink/source regulations of nitrogen remobilization for wheat. *Plant Physiol.* 133: 1959-1967.
- Martre P., P.D. Jamienson, M. A. Semenov, R. F. Zyskowski, J.R. Porter & E. Tribol. 2006. Modelling protein content and composition in relation to crop nitrogen dynamics for wheat. *Eur. J. Agron.* 25: 138-154.
- Menéndez F.J. 2007. Producción de trigo. CREA.
- Panozzo J.F. & H.A. Eagles. 2000. Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat: II Protein. *Aust. J. Agric. Res.* 51: 629-636.
- Park H., D.E. Clay, R.G. Hall, J.S. Rohila, T.P. Kharel, S.A. Clay & S. Lee. 2014. Winter wheat quality responses to water, environment, and nitrogen fertilization. *Commun. Soil Sci. Plant* 45: 1894 -1905.
- Pleijel H., L. Mortensen, J. Fuhrer, K. Ojanperä & H. Danielsson. 1999. Grain protein accumulation in relation to grain yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in open-top chambers with different concentrations of ozone, carbon dioxide and water availability. *Agr. Ecosyst. Environ.* 72: 265-270.
- Pinilla Quezada H. & L. E. Herrera Floody. 2008. Efecto de la fertilización nitrogenada tardía en aspectos de calidad panadera en trigo (*Triticum aestivum* L.). *IDESIA* 26: 77-81.
- Quiriban A.E., M. Castaño & M. Pereyra Cardozo. 2015. Relación entre la baja disponibilidad de agua en inicio de encañazón en trigo (*Triticum aestivum* L.) y la concentración de proteína en grano. *Semiárida Rev. Fac. Agron. UNLPam.* 25(2): 19-25.
- Salomón N., B. Aldalur, M. Cuniberti & R. Miranda. 2013. Distribución de la calidad del trigo pan argentino utilizando mapas del sistema de información geográfica. *RIA* 39: 41-50.
- Schepers J., T. Blackmer & D. Francis. 1992. Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: Using chlorophyll meters. *In: Predicting fertilizer needs for corn in humid regions* (B. Bock y K. Kelly eds). NFERC, Bull. Y-226. Muscle Shoals, AL, EE.UU. pp. 105-114.
- Shewry P.R., J.A. Napier & A.S. Tatham. 1995. Seed Storage proteins: Structures and biosynthesis. *Plant Cell* 7: 945-956.
- Suchy J., O.M. Lukow, D. Brown, R. DePauw, S. Fox & G. Humphreys. 2007. Rapid assessment of glutenin and gliadin in wheat by UV spectrophotometer. *Crop Sci.* 47: 91-99.
- Tribol E., A. Abad, A. Michelena, J. Lloveras, J.L. Ollier & C. Daniel. 2000. Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: 1. Quantitative and qualitative variation of storage proteins. *Eur. J. Agron.* 13: 47-64.
- Tribol E. & A.M. Tribol-Blondel. 2002. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem-invited paper. *Eur. J. Agron.* 16: 163-186.
- Tribol E., P. Martre & A.M. Tribol-Blondel. 2003. Environmentally-induced changes in protein composition in developing grains of wheat are related to changes in total protein content. *J. Exp. Bot.* 388: 1731-1742.
- Zadoks J.C., T.T. Chang & F.C. Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.
- Zhao C.X., H.M. Rong, W.Z. Lin, W.Y. Fu & L. Qi. 2009. Effects of different water availability at post-anthesis stage on grain nutrition and quality in strong gluten winter wheat. *C.R. Biologies* 332: 759-764.