

EFFECTOS DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LA COMPOSICIÓN DE LAS PROTEÍNAS DE LA HARINA Y LA CALIDAD DE LA MASA EN TRIGO CULTIVADO EN LA PROVINCIA DE LA PAMPA

EFFECTS OF NITROGEN FERTILIZER ON FLOUR PROTEIN COMPOSITION AND DOUGH QUALITY IN WHEAT CULTIVATED IN LA PAMPA PROVINCE

Giménez, Marilina¹, Quiriban, Adriana¹,
Fernández, Romina² y Pereyra Cardozo, María¹

Recibido 03/07/2020
Aceptado 27/09/2020

RESUMEN

La calidad panadera de la harina de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) no sólo depende del genotipo sino también de la disponibilidad de nitrógeno, siendo importante la composición proteica para entender las bases bioquímicas de la calidad del trigo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la disponibilidad de nitrógeno sobre las distintas fracciones proteicas de la harina, analizar su distribución y relación con la calidad panadera. Se trabajó, con la variedad ACA 315, cultivado bajo diferentes dosis y momentos de aplicación de nitrógeno. Se cuantificó la composición proteica en la harina siguiendo dos protocolos diferentes. La aplicación de nitrógeno afectaron la concentración de gluteninas y la composición de las fracciones proteicas favoreciendo las proteínas poliméricas y aumentando la relación de las proteínas poliméricas respecto de las monoméricas, sin embargo, el aumento de la fracción de las proteínas poliméricas en las harinas, no se tradujo en mejora de las propiedades reológicas. El nitrógeno agregado en este experimento en los diferentes tratamientos, no fue suficiente para obtener harinas de buena calidad panadera. Se obtuvieron bajos valores de proteína en grano, baja concentración de gluten y las masas tuvieron bajos valores de W y altos valores de P/L, siendo masas muy tenaces y poco extensibles. Debido a los bajos valores de proteína en grano no pudieron interpretarse los parámetros del farinograma, dado que en estas condiciones son sobrestimados. Estos resultados evidencian que no solo debe considerarse la información genética del genotipo, sino también la regulación de la expresión génica, en respuesta, a factores ambientales, como la disponibilidad de nitrógeno. Por ello, se deberá seguir estudiando el genotipo, tanto a nivel de variación alélica individual como en combinación de diferentes alelos de las proteínas de reserva del grano. Además resulta necesario incorporar en futuros estudios dosis y momentos de aplicación de nitrógeno y otros nutrientes, como el azufre, a fin de obtener harinas de mejor calidad panadera en la provincia de La Pampa.

PALABRAS CLAVE: gluteninas; gliadinas; propiedades reológicas de la masa;

ABSTRACT

Breadmaking quality of wheat flour (*Triticum aestivum* L.) depends not only on the genotype but also on the availability of nitrogen, and wheat protein composition is important for understanding the biochemical basis of wheat quality. The objective of this study was to evaluate the effect of nitrogen availability on flour protein fractions, to analyze their distribution and relationship with bakery quality. We worked with ACA 315 cultivar, where different application rates and timing of nitrogen nutrition were tested. Flour protein fraction composition was quantified following two protocols. Nitrogen application affected glutenin concentration and protein fraction composition favoring polymeric proteins and increasing polymeric/monomeric proteins ratio, however, increase of flour polymeric proteins did not result in improved rheological properties. The nitrogen added in this experiment in the different experiments was not enough to obtain good quality bakery flours. Low protein values were obtained in grain, low gluten concentration and the dough had low W value and high P/L, being very tenacious and no very extensible. Due to low grain protein concentration farinograph

Cómo citar este trabajo:

Giménez, M., Quiriban, A., Fernández, R., y Pereyra Cardozo, M. (2020). Efectos de la fertilización nitrogenada en la composición de las proteínas de la harina y la calidad de la masa en trigo cultivado en la provincia de La Pampa. *Semiárida*, 30(2), 63-77.

1 Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía.

2 INTA EEA Anguil. La Pampa, Argentina.

* pereyra@agro.unlpam.edu.ar



parameters could not be interpreted since, under these conditions they are overestimated. These results show that not only genotypic genetic information, should be considered, also gene expression regulation in response to environmental factors, such as nitrogen availability. Therefore, genotype should continue to be studied, both at the level of variation allelic individual and in combination of different alleles of grain reserve proteins. It is also necessary to incorporate in future studies amount and timing of nitrogen application and other nutrients, such as S, in order to obtain better quality bakery flours in La Pampa province.

KEY WORDS: glutenins; gliadins; dough rheological properties;

INTRODUCTION

La producción de trigo a nivel nacional en las últimas 11 campañas, período comprendido entre las cosechas 2009/2010 y 2019/2020, ha sufrido cambios que oscilaron entre 8 y casi 20 millones de toneladas, con un valor medio de 14.084.234 toneladas. Luego de atravesar una caída importante en la campaña 2012/13, el nivel de producción comenzó a recuperarse lentamente hasta alcanzar en la campaña 2018/19 y 2019/2020 una producción de 19.309.500 y 19.804.200 toneladas respectivamente (Granotec, 2020). El principal destino industrial de la harina en nuestro país es el pan tradicional, representando un 70% del total. El resto se distribuye entre harina fraccionada para consumo familiar, pastas, galletitas y pan industrial (Informes de cadena de valor. Trigo. Marzo 2018)¹.

La mayor parte del trigo producido se destina a consumo directo (tanto para el mercado interno como el externo) es fundamental garantizar una apropiada calidad del producto. Este atributo comienza antes de la siembra ya que depende de la fertilidad del suelo y también en las primeras etapas de crecimiento del cultivo, cuando la fertilización nitrogenada, tiene gran influencia. En experiencias previas en la provincia de La Pampa se encontró que la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo aumenta el rendimiento, la concentración de nitrógeno en hoja, proteína en grano, gluteninas en harina y mejora las propiedades reológicas de la harina (Arreguy y Brendle, 2018).

Los cambios tecnológicos ocurridos en las panaderías, en la industria de galletitas y en las grandes cadenas de comercialización, así como la aparición de la industria de las masas congeladas, hizo que los requerimientos se

hayan sofisticado lo que trajo aparejado también un cambio en las metodologías utilizadas para la evaluación de los trigos. En el pasado, para la colocación de una partida alcanzaba con el análisis comercial del lote y la determinación del nivel de proteína o gluten. Posteriormente, molinos, acopios e industrias del sector comenzaron a demandar las pruebas reológicas para conocer mejor el comportamiento de las masas (Seghezzeo y Molfese, 2006). Por otra parte, las propiedades viscoelásticas del gluten dependen de factores como el genotipo, concentración de gliadinas y gluteninas y la distribución de estas fracciones en la harina (Hernández Espinosa et al., 2013).

Dentro de las 9 subregiones trigueras que existen en el país, la provincia de La Pampa forma parte de la subregión triguera V Sur, caracterizada por poseer un clima templado, con precipitaciones medias cercanas a los 600 mm anuales. La industria molinera de la provincia, representa el 3% del total del país, ocupando el quinto lugar a nivel nacional en cantidad de molinos.

Entre un 70 y un 85% del trigo utilizado en los molinos pampeanos es producido en La Pampa, y la principal limitante que encuentran los molinos para el abastecimiento de la materia prima, es la baja calidad panadera, lo que se manifiesta en el parámetro W (fuerza de la masa), como consecuencia de una inadecuada cantidad y calidad del gluten. Esto se atribuye principalmente a los problemas de fertilidad de los suelos, sumado a un ineficiente uso de fertilizantes (Iglesias e Iturrioz, 2010).

El manejo de la fertilización adquiere un rol preponderante tanto para incrementar y/o estabilizar el rendimiento, como para optimizar la calidad del producto cosechado. Por lo tanto, se requiere no solo incrementar el rendimiento,

¹ <https://www.senado.gob.ar/upload/32044.pdf>

sino también generar estrategias que permitan aumentar la concentración de nitrógeno en grano (Alzueta et al., 2007).

Al relacionar los requerimientos de nitrógeno para rendimiento con la disponibilidad inicial, se estima que más del 50% del nitrógeno utilizado es aportado por el suelo durante el ciclo del cultivo. Cuando este aporte es inferior, como ocurre en gran parte de los suelos de la provincia de La Pampa, se recurre a la fertilización nitrogenada, en la cual se plantean estrategias de aplicación para manejar rendimiento y/o contenidos de proteína. Sin embargo, teniendo en cuenta que una superficie importante de la región triguera corresponde a suelos de texturas gruesas, aplicaciones tempranas pueden dar lugar a pérdidas por lixiviación (Satorre et al., 2003). Por otra parte, Feyh & Lamond (1992) expresan que en los suelos de textura gruesa, existe mayor posibilidad de encontrar deficiencia en el suministro de algunos nutrientes, como es el caso del nitrógeno, cuyo mayor aporte proviene de la materia orgánica, especialmente en años de buena disponibilidad hídrica para los cereales invernales.

La cantidad y calidad de las proteínas de la harina son fundamentales para la obtención de una masa capaz de leudar. Las albúminas y globulinas tienen funciones metabólicas y estructurales, mientras que las gliadinas y gluteninas constituyen las proteínas de reserva. Estas últimas forman el gluten y comprenden alrededor del 70-80% de las proteínas totales y son las responsables de las características físicas de la masa y consecuentemente, de la calidad panadera (Satorre et al., 2003).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la disponibilidad de nitrógeno sobre las distintas fracciones proteicas de la harina, analizar su distribución y relación con la calidad panadera en una variedad de buena calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones de crecimiento

El ensayo se localizó en un Paleustol petrocálcico de la planicie con tosca ubicado en la localidad de Anguil, La Pampa (36° 25' 37.87" S, 64° 02' 27.51" O a 164 msnm). Las

características edáficas del sitio experimental se encuentran en la Tabla 1.

El trigo (*Triticum aestivum* L.) que se estudió fue un ACA 315 correspondiente al grupo de calidad 1 (INASE, 2015) fue sembrado en siembra directa en el mes de junio de 2016 y se cosechó en diciembre del mismo año. La fertilización se realizó a la siembra y tardía entre Z3.9 (hoja bandera) y Z5.0 (espigazón), utilizando como fuente nitrogenada urea (46%). Se evaluaron cinco niveles de fertilización: 0+0, 40+0, 80+0, 40+40 y 0+40 kg.ha⁻¹ en un diseño en bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones. El tamaño de la unidad experimental fue de 50 m².

Tabla 1: Caracterización edáfica del sitio estudiado.
Table 1. Edaphic characterization of the studied site

Profundidad tosca (cm)	Arcilla+Limo (%)	Arena (%)	Textura	MO (%)	IMO
100 cm	54	46	Franca	1,5	2,7

MO: materia orgánica. IMO: relación entre MO y arcilla+limo

Fraccionamiento y cuantificación de las proteínas en la harina

En los granos se determinó la concentración de proteína en grano por Tecnología de Infrarrojo Cercano (NIR) en los laboratorios de la Estación Experimental INTA Anguil.

Posteriormente los granos fueron molidos en un molino Delver modelo MPD 1011A y la harina obtenida fue tamizada por un tamiz de 105 micrones. La fracción que pasó a través del tamiz se definió como harina blanca y en ésta siguiendo dos protocolos diferentes de fraccionamiento de las proteínas se cuantificó la concentración de las distintas fracciones proteicas. La técnica propuesta por Suchy et al. (2007) utiliza como solvente 1-propanol 50% y se obtiene la fracción soluble en 1-propanol al 50% (50PS, fracción rica en gliadinas) y la insoluble (50PI, fracción rica en gluteninas). Por otra parte, siguiendo el fraccionamiento propuesto por Sapirstein & Fu (1998), se obtienen tres fracciones, las proteínas monoméricas (PM) (fracción rica en gliadinas), gluteninas solubles (GS) e insolubles (GI) respecto del total de proteínas solubles (TPS)

Para ambos protocolos la cuantificación de las proteínas se realizó espectrofotométricamente a 280 nm según la metodología propuesta por Suchy et al. (2007). Dado que en ambos métodos se trabajó con propanol al 50% en un medio reductor, la fracción 50PI es la misma que la fracción GI.

Parámetros reológicos de las harinas

En las harinas se determinó el porcentaje de gluten según la norma IRAM 15864-1 (2007), con un equipo Glutomatic 2200 de Perten Instrument. Los parámetros del alveograma determinados según la norma IRAM 15857 (1995), con un Alveógrafo - Consistógrafo NG de Chopin, fueron tenacidad (P), extensibilidad (L), fuerza de la masa (W), y P/L. Los parámetros del farinograma evaluados siguiendo la norma IRAM 15855 (2000), con un Farinografo Brabender con amasadora de 50 g, fueron la absorción de agua (AA), tiempo de desarrollo (TD), estabilidad, aflojamiento y número de calidad.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante análisis de la varianza (ANOVA) y la comparación de medias mediante el test LSD Fisher ($p < 0,05$) (Di Rienzo et al., 2008).

RESULTADOS

Condiciones de crecimiento del cultivo

En la localidad de Anguil, departamento Capital de la provincia de La Pampa, las precipitaciones registradas, desde la fecha de siembra hasta el inicio del periodo crítico fueron 96.5 mm, con 0 mm para el mes de agosto (Figura 1). Esto marcó un leve déficit hídrico respecto del requerimiento del cultivo en dicho periodo. Durante el mes de octubre, esta demanda fue cubierta, superando ampliamente el promedio histórico de la serie 1973-2016 (Belmonte et al., 2017). Para los meses de

noviembre y parte de diciembre, las precipitaciones fueron de 49 mm, las cuales resultaron escasas para el periodo de finalización del ciclo del cultivo. Sin embargo, según los registros pluviométricos estimados para el periodo del desarrollo del cultivo, no hubo limitaciones hídricas lo que permitió evaluar el efecto de las diferentes dosis y momentos de aplicación del nitrógeno.

Concentración de proteína en grano y composición proteica de las harinas

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la concentración de la proteína en grano y la composición proteica de las harinas en función de las distintas dosis y momentos de aplicación de nitrógeno.

La concentración de proteína en grano aumentó en respuesta al agregado de nitrógeno. Todos los tratamientos fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$) respecto del control. La mayor concentración de proteína en grano, se obtuvo con la aplicación particionada, mitad a la siembra y mitad en macollaje (40+40) de una dosis de 80 Kg N.ha⁻¹, aunque no se alcanzó el valor base de % proteína (11%) según la Norma de comercialización de trigo pan en Argentina (Norma XX, Res. 1262/2004, SAGPyA).

Con respecto a la composición proteica de las harinas, cuando se trabajó con el método de

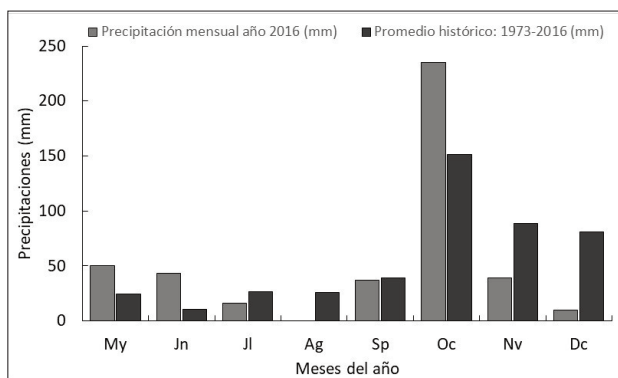


Figura 1. Precipitaciones medias mensuales (mm) durante el período de crecimiento del trigo. Fuente: Estadísticas Agroclimáticas de la EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas" (2017) y datos tomados del sitio web de la Policía de la provincia de La Pampa (período 1973-2016).

Figure 1. Monthly average precipitations (mm) during wheat growth period.

Tabla 2. Concentración de proteína en grano y fracciones proteicas de la harina para cada tratamiento de nitrógeno.

Table 2. Grain protein concentration and flour protein fractions for each nitrogen treatment.

Disponibilidad de nitrógeno	Proteína en grano (%)	50PS ^a (%)	50PI ^a (%)	PM ^b (%)	GS ^b (%)	GI ^b (%)	GT ^b (%)
0+0	8,55 a	47,24 a	52,76 a	26,54 a	20,70 a	52,76 a	73,46 a
40+40	10,70 c	47,09 a	52,91 a	24,46 a	20,40 a	48,01 a	68,47 a
80+0	9,43 b	42,63 a	57,37 b	25,64 a	17,00 a	57,37 b	74,36 a
40+0	9,30 b	46,15 a	53,85 a	24,21 a	21,94 a	53,85 a	75,79 a
0+40	9,68 b	42,8 a	57,17 b	20,63 a	22,20 a	57,17 b	79,37 b

Dentro de cada columna, las medias con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

(a) Las fracciones fueron expresadas como porcentaje del total de proteína soluble: % 50 PS, fracción rica en gliadinas, % 50 PI, fracción rica en gluteninas. (Suchy et al., 2007)

(b) PM: % proteínas monoméricas (principalmente gliadinas), GS: % glutenina soluble, GI: % glutenina insoluble, GT: % glutenina total (Sapirstein & Fu, 1998).

Los tratamientos fueron: control (0 N); fertilización a la siembra con 40 kg N.ha⁻¹ (40+0) y 80 kg N.ha⁻¹ (80+0), fertilización postergada con 40 kg N.ha⁻¹ (0+40), y fertilización dividida (40+40).

separación de las proteínas propuesto por Suchy et al. (2007) se observó que la disponibilidad de nitrógeno no modificó la fracción rica en gliadinas (50PS), mientras que aumentó la fracción rica en gluteninas (50 PI) en los tratamientos 80+0 y 0+40.

Por otra parte, cuando se trabajó con el método de separación propuesto por Sapirstein & Fu (1998), no se encontró efecto de los distintos tratamientos sobre la concentración de la PM (fracción rica en gliadinas). La respuesta de los dos grupos de glutenina fue diferente, dado que en el tratamiento 80+0 se observó el menor valor de la concentración de GS, mientras que la concentración de GI fue significativamente mayor en los tratamientos 80+0 y 0+40.

Efecto de la disponibilidad de nitrógeno sobre los parámetros reológicos de la harina

La concentración de gluten húmedo fue baja siendo inferior al 25% en todos los tratamientos (Tabla 3). Dado que el contenido de proteínas influye positivamente sobre los parámetros farinográficos (Molfese, 2016), en harinas con baja concentración de proteínas y gluten, como ocurrió en este experimento, las

masas tienen un alto tiempo de desarrollo y los valores de estabilidad aumentan, estando sobrevalorados y no representan exactamente las características industriales de esas harinas (Molfese, 2016; Cuniberti et al., 2016).

A partir del análisis de los distintos alveogramas, podemos observar que, en todos los casos, el parámetro tenacidad (P) fue alto (143-160 mm), indicando que son masas tenaces (Tabla 3).

Aunque se observó que los valores de P en los tratamientos 0+40, y 40+40 fueron diferentes respecto del control, esta diferencia no fue significativa. Son masas de muy baja extensibilidad, dado que los valores de L estuvieron entre 32 y 46. A su vez, la relación entre la tenacidad y la extensibilidad (P/L), un indicador del equilibrio de la masa, mostró el valor más alto para el tratamiento 0+40. La aplicación de nitrógeno no modificó la relación P/L, esto puede asociarse a que los

Tabla 3. Parámetros de calidad de las muestras de harina

Table 3. Quality parameters of flour samples.

Disponibilidad de nitrógeno	0+0	40+40	80+0	40+0	0+40
Gluten húmedo	18,7	21,3	22,0	22,7	18,4
Gluten seco	6,4	7,3	7,7	7,9	6,5
Gluten index (%)	99	99	100	98	99
Alveograma					
P (tenacidad)	149	153	143	143	160
L (extensibilidad)	33	38	38	46	32
G	12,8	13,7	13,7	15,1	12,6
W (energía)	206	240	226	263	222
P/L	4,52	4,03	3,76	3,11	8,0
Farinograma					
Absorción de agua (H 14%)	61	63,4	63,1	63,5	62,9
Tiempo de desarrollo (min)	7,7	8,1	9,7	7,8	16,0
Estabilidad (min)	16,9	18,1	18,8	17,4	23,1
Aflojamiento (12 mm)	28	27	34	30	42
Quality number	205	206	211	198	257

valores de proteína en grano en los tratamientos con fertilización nitrogenada fueron bajos.

En cuanto al parámetro fuerza de la masa (W), se observó que en la mayoría de los tratamientos tuvo un valor menor a 250, sólo en el tratamiento 40+0 alcanzó un valor de 263. En función de lo expuesto, podemos expresar que por las características de la harina se obtendrán masas con mucha tenacidad, poca extensibilidad y un valor mediano de fuerza panadera. Son masas cortas y compactas que desarrollan con mucha dificultad, pues su extensibilidad no es suficiente, dando panes de poco volumen.

En la Tabla 4 se presentan los valores medios de los parámetros reológicos para la región y el departamento Capital durante la campaña 2016-2017. Se observa que los valores de gluten húmedo y W, obtenidos en este experimento fueron menores a los valores medios informados para la región V sur en todos los tratamientos. También se observaron altos valores de P y P/L, respecto de aquella información, lo que puede asociarse a la baja concentración de proteína en grano (Ernst, 2012; Cuniberti 2016) o bien a una alta relación N/S en grano (Wooding et al., 2000; Zörb et al., 2009). La tenacidad de las masas

puede deberse al bajo contenido de gluten, dado que en este experimento en promedio fue del 20,6%. Molfese (2016) expresa que las masas muy tenaces (relación P/L mayor a 2) pueden asociarse al bajo contenido de gluten. Estas harinas, demasiado fuertes, dan panes con menos volumen y para ser utilizadas requieren un tratamiento especial que modifique la fuerza final en la masa (añadir más cantidad de agua, aumentar el tiempo de amasado, utilizar aditivos, industriales, etc.) (Molfese, 2016).

De manera, que la calidad de la harina obtenida en esta experiencia, con diferente disponibilidad de nitrógeno, en general, siguió manteniendo las características de las harinas producidas en el departamento Capital, siendo de menor calidad respecto de la producida en la región V sur.

Efecto de la disponibilidad de nitrógeno sobre la relación de las fracciones proteicas

La dosis y el momento de aplicación del nitrógeno no afectaron significativamente la relación 50PI/50PS ni GI/GS. En cambio la relación GI/PM se modificó en función de la dosis y el momento de aplicación y la interacción dosis por momento fue significativa ($p < 0,05$). Se observó, que para una dosis de 40 Kg.ha⁻¹ la respuesta de esta relación es diferente según se haya aplicado a la siembra o en macollaje. Esta relación aumentó en el tratamiento 0+40. De manera que las distintas dosis y momentos de aplicación modificaron la relación de las fracciones proteicas, observándose los valores más altos de GI/PM en los tratamientos 80+0 y 0+40.

Relación entre las fracciones proteicas y los parámetros reológicos

Con el objeto de obtener relaciones entre las variables se determinó el coeficiente de correlación de Pearson (Tabla 5) y mediante el análisis de regresión se estimó el porcentaje de explicación atribuible a las fracciones de proteína sobre los parámetros del alveograma. (Tabla 6). La concentración de PM se relacionó negativamente con P/L ($p < 0,1$) y no hubo relación significativa de la otras fracciones proteicas con los parámetros del alveograma.

No se analizaron las relaciones de las

Tabla 4. Valores medios de la concentración de proteína en grano y parámetros reológicos de las harinas producidas en la región V sur y en el departamento Capital de la provincia de La Pampa. ^(a) Los datos corresponden a la campaña 2016-2017 y fueron tomados de la página web de Trigo argentino: www.trigoargentino.com.ar

Table 4. Average values for grain protein concentration and flour rheological parameters produced at V sur region and Capital department in La Pampa province.

Parámetros	Región V sur ^a	Depto. Capital ^a
Proteína (base 13,5 % H)	10,3	9,95
Gluten húmedo (%)	24,4	24,05
W (alveograma) (Joules x 10 ⁻⁴)	270	241,5
P (mm)	108	93,5
L (mm)	66	70
P/L	1,64	1,34
Estabilidad (farinograma) (min)	35,8	28,6
% Absorción de agua (14% H)	57,4	56,55
TD (min)	17,5	8,7
Aflojamiento (12 min)	19	18

fracciones proteicas con los parámetros del farinograma, por considerar que estaban sobrestimados, debido a la baja concentración de proteína en grano (Cuniberti, et al 2016; Molfese et al., 2016). Cuniberti et al. (2016) expresa que la sobrestimación es debida a la presencia de alto contenido de almidón en las harinas en relación a proteína, dando bandas farinográficas muy estables (rectas) que no

abióticos sobre la cantidad y composición de las proteínas del gluten y su efecto sobre la calidad panadera, varios autores han informado cambios significativos en la composición proteica debido a la fertilización nitrogenada, sin embargo en la provincia de La Pampa, existen pocos estudios en relación a los cambios en las fracciones proteicas y la calidad panadera de las harinas en respuesta a diferentes dosis y momento de aplicación de la fertilización nitrogenada.

Tabla 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre parámetros del alveograma y las fracciones proteicas de la harina.

Table 5. Pearson correlation coefficients between alveograma parameters and flour protein fractions.

Parámetros	PM ^a	GS ^b	GI ^c	GI/PM	GI/GS	50PI/50PS ^d
L	0,2	0	-0,17	-0,29	-0,07	-0,29
P	-0,73	0,52	-0,07	0,44	-0,44	0,22
W	-0,23	-0,62	0,37	0,45	0,68	0,71
P/L	-0,79 [∞]	0,42	0,40	0,76	-0,12	0,57

L: extensibilidad, P: tenacidad, W: fuerza de la masa,

^a: PM: % proteínas monoméricas, ^b: GS: % glutenina soluble, ^c: GI: % glutenina insoluble, ^d: 50PI/50PS: fracción rica en gluteninas/fracción rica en gliadinas. [∞]: significativo al p<0,10.

Tabla 6. Coeficiente de determinación (R²) de las características de calidad evaluadas en trigo en función de las fracciones proteicas de la harina.

Table 6. Determination coefficient (R²) of the quality characteristics evaluated in wheat in function of flour protein fraction.

Parámetros	PM	GS	GI	GI/PM	GI/GS	50PI/50PS
W	0,05	0,39	0,13	0,20	0,46	0,51
P	0,53	0,27	-0,01	0,19	0,19	0,05
L	0,04	0	-0,03	0,08	0	0,08
P/L	0,63 [∞]	0,17	0,16	0,57	0,01	0,32

W: fuerza de la masa, P: tenacidad, L: extensibilidad, PM: % proteínas monoméricas, GS: % glutenina soluble, GI: % glutenina insoluble, 50PI/50PS: fracción rica en gluteninas/fracción rica en gliadinas.; [∞]: significativo al p<0,10.

representan la verdadera calidad de ese trigo. En estas condiciones las harinas presentan valores altos de estabilidad y bajos valores de W, coincidiendo con lo obtenido en este experimento (Tabla 3).

DISCUSIÓN

La disponibilidad de nitrógeno modifica la composición proteica de la harina

En el análisis del efecto de los factores

Altenbach et al. (2003) expresan que la concentración de proteína en grano varía considerablemente como resultado de los efectos ambientales sobre la acumulación de almidón, proteína o ambos durante el desarrollo del grano. Aunque en general ocurre un aumento de la concentración de proteína en grano en respuesta a la fertilización nitrogenada, sin embargo esta respuesta varía según la dosis y los momentos de aplicación, coincidiendo con lo informado en esta experiencia. En un estudio realizado con 27 cultivares de trigo, en Azul, provincia de Buenos Aires, Lerner et al. (2016) reportaron que las fuentes de variación más importantes, para la concentración de proteína en grano, fueron la fertilización y el genotipo, explicando un 55,8% y 26,7% de la variabilidad respectivamente.

Fernández et al. (2019) reportaron un incremento promedio del 2,9% en la concentración de proteína en grano en respuesta a la fertilización nitrogenada en macollaje, en un estudio realizado durante 6 años en la región subhúmeda-seca pampeana.

Dillchneider et al. (2019), trabajaron en diferentes localidades y tipos de suelos en la provincia de La Pampa y alcanzaron el mayor porcentaje de proteína en grano, con una dosis de 40+40 Kg N.ha⁻¹ aplicado a la siembra y en macollaje al igual que lo informado en este estudio. Sin embargo en el experimento de aquellos autores, se alcanzó el 11% de proteína en grano, a diferencia de lo observado en esta experiencia. Estos autores expresan que el tipo de suelo es un factor determinante de la respuesta de la concentración de proteína en grano a la dosis y momento de aplicación del nitrógeno. El suelo en el cual se desarrolló esta

experiencia presenta un IMO de 2,78 (Tabla 1), este valor es considerado bajo por la bibliografía (Quiroga et al., 2006) y reflejaría degradación física y nutricional, asociado principalmente a escaso nitrógeno edáfico.

La mayor respuesta observada en la concentración de proteína en grano, en el tratamiento 40+40 respecto de 80+0, aunque es la misma dosis, pero aplicada totalmente a la siembra puede explicarse por un mayor uso o destino del nitrógeno hacia el rendimiento o sea la producción de granos. La aplicación tardía de nitrógeno favorece la síntesis de proteína en grano, siempre y cuando el agua no sea limitante durante el período de llenado de grano.

La acumulación de las proteínas albúminas y globulinas y las de reserva, gliadinas y gluteninas, responden a un patrón de almacenamiento temporal durante el período de desarrollo del grano (Satorre et al., 2003; Triboi, et al., 2003). En general, la concentración de albúminas y globulinas es constante independientemente del nivel de disponibilidad de nitrógeno, a diferencia de lo que ocurre con la concentración de gliadinas y gluteninas (Wieser & Seilmeier, 1998; Fuertes-Mendizábal et al., 2010).

Se ha informado un aumento en la concentración de gliadinas y gluteninas en respuesta al agregado de nitrógeno (Triboi et al., 2000; Fuertes-Mendizábal et al., 2010) o bien sólo a nivel de gluteninas (Del Campo et al. 2017; Tóth et al. 2020). Arreguy y Brendle, (2018) informaron que la aplicación de 100 kg.ha⁻¹ de nitrógeno en macollaje aumentó un 7% la concentración de gluteninas totales y disminuyó la concentración de proteínas monoméricas. Dentro del grupo de las gluteninas el incremento ocurre a nivel de las gluteninas de alto peso molecular (GAPM) (Liu et al., 2012; Tóth et al., 2020), coincidiendo con lo informado en este experimento y poniendo en evidencia que la dosis y la partición de la aplicación del nitrógeno afectan la composición del gluten.

No obstante, no sólo hay que analizar los cambios en cada una de las fracciones proteicas, sino, quizás es de mayor importancia, para

asociarlo con la calidad panadera, la variación de las relaciones de concentraciones de estas fracciones, dado que la concentración y la composición de proteínas del grano se reconocen como las principales características que determinan el valor del producto final de los cereales (Martre et al., 2006).

La composición proteica del grano es una función directa de la cantidad total de nitrógeno por grano (Triboi et al., 2003; Martre et al., 2006) de manera que el incremento observado en este experimento de la relación GI/PM, puede asociarse a cambios en el contenido de nitrógeno por grano ante la diferente disponibilidad de nitrógeno. Martre et al. (2003) sostiene que la modificación de la relación gliadinas/ gluteninas es el resultado de la modificación del contenido total de nitrógeno en grano y los procesos que llevan a la síntesis de las proteínas de reserva en el grano no son afectados por la concentración de nitrógeno.

No obstante, algunos autores reportaron una disminución de la relación gluteninas/gliadinas (Wieser & Seilmeier, 1998; Islas-Rubio et al., 2011), y otros un aumento de ésta relación (Tóth et al., 2020). En este experimento, la respuesta de la fracción 50PI/50PS (fracción rica en gluteninas/fracción rica en gliadinas) no evidenció cambios en función de la disponibilidad de nitrógeno. Sin embargo, al estimar la relación de las proteínas poliméricas/monoméricas mediante la relación GI/PM se observó que la respuesta a la dosis dependía del momento de aplicación.

Por otra parte, también se han observado cambios en respuesta a la disponibilidad de nitrógeno dentro de las distintas subunidades de glutenina, lo que afecta la calidad de las gluteninas, la cual depende de la relación gluteninas alto peso molecular/gluteninas bajo peso molecular (GAPM/GBPM) (Southan & MacRitchie, 1999). La proporción de los dos tipos de subunidades de gluteninas en la harina es considerado un importante indicador de la calidad de la harina porque afecta la naturaleza de los polímeros grandes de glutenina que son los que confieren elasticidad a la masa (Altenbach et al., 2011). Johansson et al. (2008) y Altenbach et al. (2011) expresan que la

disponibilidad de nitrógeno favorece la concentración de proteínas poliméricas, las de alto peso molecular, y la solubilidad de los agregados de gluteninas están asociados a la disponibilidad de nitrógeno durante el período de llenado de grano (Fuertes-Mendizábal et al., 2010). Estos resultados pueden asociarse al aumento significativo de la concentración de GI observado en los tratamientos 0+40 y 80+0. Por ingeniería genética se han obtenido trigos con una expresión aumentada de las subunidades de gluteninas de alto peso molecular, logrando una mejora de la calidad panadera (Barro et al., 1997; Alvarez, 2000).

Es importante destacar que los cambios en la relación de las fracciones proteicas no estuvieron asociados a la concentración de proteína en grano. Esto coincide con lo reportado por Arata (2017), quien informó que el cambio en la relación gluteninas/gliadinas estuvo, probablemente, más influenciado por el genotipo y el ambiente que por el contenido de proteínas asociado a la fertilización nitrogenada.

Varios autores han propuesto el uso de la relación glutenina/gliadina (Weegels et al., 1996) equivalente a GI/PM (Suchy et al., 2003) como parámetro para caracterizar las propiedades tecnológicas de la harina. Por otra parte, Savill (2018) expresa que las harinas que presenten una combinación de alta relación de GI/GS y GI/PM es un indicador de una mejor calidad panadera. Esta combinación en este experimento se observó en los tratamientos 0+40 y 80+0. De manera, que en trigo, el genotipo, el ambiente, la concentración de proteínas monoméricas, poliméricas y la relación de concentración de ambas fracciones en la harina afectan las variables de calidad de la masa (De la Olán et al., 2010).

Composición proteica de las harinas y su relación con la calidad panadera

La distribución de las fracciones de proteína constituye una herramienta complementaria en fitomejoramiento que determinan la calidad potencial del uso del trigo, donde ocurren combinaciones específicas de gliadinas /gluteninas y gluteninas de alto peso molecular/gluteninas de bajo peso molecular (GAPM/GBPM) que favorecen la calidad (fuerza

y extensibilidad) de la masa (Martínez-Cruz et al., 2010).

Suchy et al. (2007) expresan que la concentración de proteínas monoméricas afecta negativamente la calidad de la masa, coincidiendo con lo observado en nuestro experimento, donde se encontró una relación negativa entre PM y P/L (Tabla 4), mientras que la concentración de glutenina insoluble está asociada positivamente con el tiempo de desarrollo de la masa. Esto último, acuerda con nuestros resultados, dado que en el tratamiento 0+40, con mayor concentración de GI (Tabla 2) se determinó el mayor tiempo de desarrollo (Tabla 3). Sin embargo, debido a que el tiempo de desarrollo podría estar sobreestimado, deberán verificarse estos resultados con harinas obtenidas de granos con mayor concentración de proteína.

En este experimento la relación GI/GS no estuvo asociada significativamente con los parámetros del alveograma estudiados (Tabla 5 y 6). Sin embargo, varios autores sostienen que la calidad panadera está relacionada con la distribución de los polímeros entre la fracción más insoluble y la menos soluble, entendiendo que la solubilidad está asociada al grado de polimerización y que los cultivares de alta calidad panadera tienen mayor relación GAPM/GBPM (Gupta & MacRitchie, 1991; Anjum et al., 2007; Fuertes-Mendizábal et al., 2010).

Sapirstein & Fu (1998) expresan que la fracción de glutenina insoluble provee una medida de la calidad proteica que más se relaciona con la calidad tecnológica de la harina. Teniendo en cuenta esto, el tratamiento 0+40 expresó la mayor concentración de GI, sin embargo, los altos valores de P/L, y el bajo valor de W afectan negativamente la calidad panadera de estas harinas.

Cuniberti et al. (2003) expresan que los parámetros de calidad se dividen en dos grupos según su dependencia de la composición de proteínas. La extensibilidad (L) depende de la cantidad total de proteínas poliméricas en la harina. Mientras que la tenacidad (P), depende de la proporción de proteínas poliméricas. Estos parámetros si bien dependen del genotipo, son

afectados por factores ambientales tales como la disponibilidad de nitrógeno. En este experimento, con las dosis y momentos de aplicación de nitrógeno estudiados, no se encontró una relación significativa entre GI/PM y P/L (Tabla 5 y 6), y las harinas con altos valores de GT y GI/PM, tuvieron valores muy altos de P/L (Tabla 3), afectando negativamente su calidad panadera.

En este experimento, la disponibilidad de nitrógeno no mejoró los valores de P/L, dado que se obtuvieron valores, muy altos, entre 3 y 8 (Tabla 3). La relación tenacidad/extensibilidad de las masas (P/L del alveograma) es un parámetro muy influenciado por el ambiente. Es importante porque para lograr un buen pan esa relación debe estar cercana a 1 o levemente inferior (0,8). P/L altos (2 o más) indican masas muy tenaces, cortas, que no se expanden adecuadamente en la fermentación, dando volúmenes de pan muy bajos (Cuniberti, et al., 2016). Los altos valores de P/L obtenidos en este experimento pueden asociarse a los bajos valores de proteína en grano (Cuniberti, et al., 2016). Lerner et al. (2016) reportaron que L se asocia fuertemente a la concentración de proteína en grano, es un parámetro altamente dependiente de la disponibilidad de nitrógeno, donde debe considerarse no sólo del suministro de nitrógeno, sino también, la capacidad de particionar nitrógeno a destinos cosechables por parte del cultivo. En este experimento, durante el mes de octubre ocurrieron importantes precipitaciones, pudiendo haber generado una disminución del nitrógeno disponible, afectando el valor de L, situación que también explicaría los altos valores de P/L. Por ello, los genotipos estables en eficiencia de recuperación de N en grano, presentan menor variación en los valores de dicho parámetro (L), aún entre años con diferente distribución de precipitaciones (Lerner et al., 2013).

En este estudio, aunque se trabajó con un cultivar del grupo 1 de calidad, las harinas tuvieron bajos valores de W, una característica negativa y por lo tanto a mejorar en las harinas producidas en la Pampa. Este resultado coincide con lo observado por Dillchneider (2020). Esta investigadora encontró valores de W de 145 en

trigos, ACA 315 no fertilizados y 179 para el tratamiento fertilizado con 80 kg.ha⁻¹ de N en la siembra, en trigos que tenían más del 11% de proteína en grano y 28% de gluten. En nuestro experimento para esa misma dosis y momento de aplicación de nitrógeno y el mismo genotipo el valor de W fue 226. Por ello coincidimos con lo expresado por Dillchneider (2020), en que la fertilización nitrogenada mejora el valor de W, sin embargo, los valores hasta ahora informados en la región, son menores a los requeridos (W de 300 J x 10⁻⁴).

Lerner et al. (2016) aunque encontraron efecto de la disponibilidad de nitrógeno sobre W, consideran que el genotipo, claramente asociado con la composición proteica del gluten, es la fuente de variación preponderante seguido por la fertilización. Abbate (2016) expresa que W es un parámetro muy estable, que depende del cultivar, y que es muy probable que un cultivar de alto W en una subregión también tenga alto W otras subregiones. Sin embargo, la variedad ACA 315 en un experimento realizado en la Región Semiárida Pampeana, expresó características de calidad correspondientes a genotipos del Grupo de calidad 2, sin diferenciarse de la variedad SY 100 (Dillchneider, 2020). De manera que en función de los resultados de este experimento, podemos concluir que la limitante de la expresión de los valores de W, acordes a una variedad del grupo de calidad 1, es debido al componente ambiental.

Los resultados obtenidos en este experimento no muestran una relación entre la composición proteica de las harinas y los valores de W (Tabla 5 y 6), lo que podría deberse a que la fuerza del gluten se relaciona más con la composición de las gluteninas de alto peso molecular que con el grupo de calidad del trigo (Arrigoni et al., 2016). La variabilidad alélica de las gluteninas de alto peso molecular ha sido analizada como una de las posibles determinantes de la calidad panadera (De la O. Olán et al., 2011; Plaza, 2013), de manera que para mejorar las harinas producidas en la provincia deberá evaluarse, además de la disponibilidad de nitrógeno el uso de otros genotipos, estudiando la composición de las diferentes unidades de gluteninas.

La dependencia de varios parámetros de calidad de la composición de las proteínas es una herramienta útil para manipular caracteres específicos en los programas de mejora de trigo (Cuniberti et al., 2003). Con la fertilización nitrogenada, según la dosis y el momento de aplicación, es posible cambiar la composición de proteínas de las harinas y mejorar el equilibrio entre la fuerza de la masa y la extensibilidad para mejorar la calidad de panificación (Islas-Rubio et al., 2011). Por ello, la mejora tecnológica en el cultivo de trigo, por la incorporación de la fertilización nitrogenada al paquete tecnológico, permitirá mejorar la calidad panadera de los trigos producidos en la provincia de La Pampa. Sin embargo, los resultados de este experimento muestran que aunque, los tratamientos 0+40 y 80+0 presentaron mayor concentración de GI y mayor relación GI/PM, se obtuvieron masas muy tenaces. Lerner et al. (2016) reportaron que el Score Glu-1, que califica según alelos de GAPM, no coincidió estrictamente con el Grupo de Calidad de la variedad, evidenciando la influencia de otras fracciones proteicas del gluten y su interacción con el ambiente y que la expresión del potencial genético atribuido a la composición alélica de gliadinas y gluteninas podría estar regulada en parte por atributos de eficiencia de uso de nitrógeno. De manera, que no solo debe considerarse la información genética del genotipo, sino también la regulación de la expresión génica, en respuesta, a factores ambientales, como la disponibilidad de nitrógeno.

Al comparar los resultados obtenidos en este estudio, con una evaluación realizada por Molfese (2017), sobre 49 muestras de ACA 315, observamos que el mismo genotipo cultivado en La Pampa, tuvo menores valores de gluten y W y valores altos para P/L. Abatte (2010), expresa que los efectos de localidad y de año son tanto o más importantes que el de cultivar sobre las variables asociadas con la calidad industrial. Por ello, sugiere, que no es conveniente aplicar el mismo criterio de clasificación de la calidad en todas las subregiones trigueras. A fin de mejorar el sistema de clasificación actual, se puede intentar identificar localidades representativas

en distintas subregiones para evaluar la calidad (Abatte, 2010). En este experimento la fertilización nitrogenada no mejoró las propiedades reológicas de la masa al igual que lo informado por Dillchneider (2020), por lo que es necesario seguir investigando a fin de obtener harinas de mejor calidad panadera en la provincia de La Pampa.

Existe evidencia que la concentración de azufre en el grano de trigo afecta las propiedades reológicas de la masa (Zhao et al., 1999). Arata (2017) reportó que la fertilización azufrada tendió a disminuir P y a incrementar L, en harinas de trigos cultivados en Argentina. Esto puede asociarse a un aumento de la fracción 50PS (fracción rica en gliadinas) y la relación 50PS/50PI cuando se fertiliza con azufre (de la O Olán et al., 2010), favoreciendo una masa más débil. De manera que podría considerarse la disponibilidad de azufre como uno de los parámetros a estudiar para modificar las propiedades de las harinas producidas en La Pampa.

La deficiencia de S también puede surgir como consecuencia de la fertilización nitrogenada, dado que aumenta la relación N/S favoreciendo a las proteínas pobres en S tales como las GAPM (Zhao et al., 1999) y aumentando la relación GAPM/GBPM (Wieser 2004). En acuerdo con esto, varios autores reportaron que al fertilizar con S resulta en una reducción de la resistencia a la extensión y un incremento en la extensibilidad de la masa (Wooding et al., 2000; Zörb et al., 2009).

El contenido de S de los suelos en la Región Semiárida Pampeana es bajo, asociado a los valores de materia orgánica y gran parte de los mismos se encuentran en valores por debajo del umbral. Sin embargo la aplicación de 10, 20 y 30 Kg S. ha⁻¹ no modificó el contenido de S ni la relación N/S en grano aunque se obtuvieron incrementos del rendimiento (Barraco et al., 2013). Con estas dosis de S y la aplicación de 170 Kg N.ha⁻¹ la relación N/S varió entre 13:1 y 14:1 (Barraco et al., 2013). Esta relación es elevada en función de lo sugerido por algunos autores, dado que debería ser entre 10:1 a 12:1 (Randall & Wrigley, 1986) y con un valor mayor a 16/1 se puede esperar pérdida de calidad del

grano (Byers & Bolton, 1979). Por lo que, la fertilización azufrada debe considerarse como un factor a evaluar a fin de mejorar la calidad panadera de las harinas producidas en la provincia de La Pampa.

CONCLUSIONES

La dosis y momento de aplicación del nitrógeno afectaron la concentración de gluteninas y la composición de las fracciones proteicas favoreciendo las proteínas poliméricas y aumentando la relación de las proteínas poliméricas respecto de las monoméricas, sin embargo, el aumento de la fracción de las proteínas poliméricas en las harinas, no se tradujo en mejora de las propiedades reológicas.

El nitrógeno agregado en este experimento en los diferentes tratamientos, no fue suficiente para obtener harinas de buena calidad panadera. Se obtuvieron bajos valores de proteína en grano y las harinas tuvieron baja concentración de gluten y las masas bajos valores de W y altos valores de P/L, afectando negativamente sus propiedades panaderas generando masas muy tenaces y poco extensibles. Debido a los bajos valores de proteína en grano no pudieron interpretarse los parámetros del farinograma, dado que en estas condiciones son sobrestimados.

Estos resultados evidencian, que no solo debe considerarse la información genética del genotipo, sino también la regulación de la expresión génica, en respuesta, a factores ambientales, como la disponibilidad de nitrógeno. Por ello, se deberá seguir estudiando el genotipo, tanto a nivel de variación alélica individual como en combinación de diferentes alelos de las proteínas de reserva del grano. Además resulta necesario incorporar en futuros estudios dosis y momentos de aplicación de nitrógeno y otros nutrientes, como el azufre, a fin de obtener harinas de mejor calidad panadera en la provincia de La Pampa.

BIBLIOGRAFÍA

AACC International. (2000). Approved methods of American Association of Cereal Chemists, 10th Ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.

AACC Approved Methods of Analysis, 11th Edition - AACC Method 54-30.02. Alveograph Method for Soft and Hard Wheat Flour

Abbate, P.E., Gutheim, F. Polidoro, O., Milisich, H.J. y M. Cuniberti. (2010). Fundamentos para la clasificación del trigo argentino por calidad: efectos del cultivar, la localidad, el año y sus interacciones. *Agriscientia*, 27, 1-9.

Abbate, P. E. (2016). Principales atributos Principales atributos de calidad de los cultivares de trigo pan en distintas subregiones trigueras- Publicación digital- INTA. Recuperado de: <https://inta.gob.ar/documentos/principales-atributos-de-calidad-de-los-cultivares-de-trigo-pan-en-distintas-subregiones-trigueras>

Altenbach, S. B., DuPont, F. M., Kothari, K. M., Chan, R., Johnson, E. L. & Lieu, D. (2003). Temperature, Water and Fertilizer Influence the Timing of Key Events During Grain Development in a US Spring Wheat. *Journal of Cereal Science*, 37, 9-20.

Altenbach, S. B., Tanaka, C. K., Hurkman, W. J., Whitehand, L. C., Vensel W. H & Dupont F. M. (2011). Differential effects of a postanthesis fertilizer regimen on the wheat flour proteome determined by quantitative 2-DE. *Proteome Science*, 9(46), 1-13.

Alvarez, M. L. (2000). Mejoramiento de la calidad nutricional y panadera del trigo por ingeniería genética (Tesis Doctoral). Centro de Estudios Fotosintéticos y bioquímicos. Facultad de Ciencias bioquímicas y farmacéuticas. Universidad Nacional de Rosario.

Alzueta, I., Schalamuk, S. y Miralles, D. (2007). Fertilización nitrogenada y el momento de aplicación: su impacto en el rendimiento y la calidad en trigo pan. Workshop Internacional: Eco Fisiología Vegetal. Mar del Plata, Argentina.

Anjum, M. F., Khan, M. R., Din, A., Saeed, M., Pasha, I. & Arshad, M. U. (2007). Wheat gluten: high molecular weight glutenin subunits-structure, genetics, and relation to dough elasticity. *Journal of Food Science*, 72, 56-63.

Arata, A. F. (2017). Influencia de la fertilización con nitrógeno y azufre sobre la composición del gluten y la calidad industrial en genotipos argentinos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) (Tesis para optar para el grado de Magister) Facultad de Agronomía. UBA.

Arreguy, D. y Brendle, A. (2018). Predicción de la concentración de proteína en el grano de trigo, *Triticum aestivum* L. a partir de la concentración de nitrógeno y el índice de verdor en hoja bandera. (Trabajo Final de Graduación para obtener el grado de Ingeniero agrónomo). Facultad de Agronomía. UNLPam.

Arrigoni, A. C., Tranquilli, G. E., Lázaro, L. y Rogers, W. J. (2016). Efecto de distintas prácticas de fertilización sobre la fuerza del gluten de cultivares de distintos grupos de calidad. VIII Congreso Nacional de trigo. Buenos Aires. Argentina.

- Barraco, M., Lardone, A. y Scianca, C. (2013). Fertilización con azufre en la secuencia trigo/soja de segunda. En: INTA. EEA General Villegas. Memoria Técnica 2012-2013 (pp. 48-51). General Villegas: Ediciones INTA
- Barro, F., Rooke, L., Békés, F., Gras, P., Tatham, A., Fido, R., Lazzeri, P., Shewry, P. & Barceló, P. (1997). Transformation of Wheat with High Molecular Weight Subunit Genes Results in Improved Functional Properties. *Nature Biotechnology*, 15, 1295-1299.
- Belmonte, M. L., Casagrande, G. A., Deanna, M. E., Olguin Pérez, R., Farell, A. y Babinec, F. J. (2017). Estadísticas agroclimáticas de la EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas". Periodo 1973-2016.
- Byers, M., & Bolton, J. (1979). Effects of nitrogen and sulfur fertilisers on the yield, N and S content, and amino acid composition of the grain of spring wheat. *Journal of Science Food Agriculture*, 30, 251-263.
- Cunibertí, M. B., Roth, M. R. & MacRitchie, F. (2003). Protein composition-functionality relationships for a set of Argentinean wheats. *Cereal Chemistry*, 80, 132-134.
- Cunibertí, M. B., Mir, L. y Chialvo, E. (2016). Primer monitoreo de calidad de trigo. Provincia de Córdoba. Productividad y calidad de trigo en la provincia de Córdoba. Campaña 2016-2017. INTA-EEA Marcos Juárez. Córdoba. file:///C:/Users/Usuario%20Desconocido/Downloads/5894c8d04e9a0_1039-Am-BCC-InformeFinalMonitoreoTrigoCBA2016-2017-03-02-17.pdf
- de la O Olán, M., Espitia Rangel, E., Villaseñor Mir, H. E., Molina Galán, J. D., López Sánchez, H., Santa cruz Varela, A. y Peña Bautista, R. J. (2010). Proteínas del gluten y reología de trigos harineros mexicanos influenciados por factores ambientales y genotípicos. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 45, 989-996.
- de la O Olán, M., Espitia Rangel, E., Villaseñor Mir, H. E., Molina Galán, J. D., López Sánchez, H., Santa cruz Varela, A. y Peña Bautista, R. J. (2011). Efecto de diversas combinaciones alélicas (Glu-1 y Glu-3) sobre la distribución de gliadinas y gluteninas, y la estabilidad de las propiedades reológicas del trigo. *Interciencia*, 36, 816-822.
- del Campo, N., Serra, M., Quiriban, A., Castaño, M., Fernández, M. A. y Pereyra Cardozo, M. (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*, 27, 37-50.
- Dillchneider, A., Frasier, I., Funaro, D., Fernández, R., y Quiroga, A. (2019). Estrategias de fertilización nitrogenada para incrementar el rendimiento y proteína de trigo en la región semiárida pampeana. *Semiárida*, 29, 53-62.
- Dillchneider, A. (2020). Ambientes y manejo del nitrógeno determinan la calidad panadera del trigo en La Pampa. *Notas agrícolas pampeanas*, 1, 17-20.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Ernst, O. (2012). Caracterización de la calidad industrial de variedades de trigo en Uruguay. Serie: FPTAN° 37. INIA.
- Fernández, M. A., Zingaretti, O. y Castaño, M. (2019). Efecto del ambiente, el genotipo y la fertilidad sobre el rendimiento en grano de trigo pan y su calidad en la región subhúmeda-seca pampeana. *Semiárida*, 29, 11-24.
- Feyh, R. L. & Lamond, R. E. (1992). Sulphur and nitrogen fertilization of winter wheat. *Journal of Production Agriculture*, 5, 488-491.
- Fuertes-Mendizábal, T., Aizpurua, A., González-Moro, M. B. & Estavillo, J. M. (2010). Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. *European Journal of Agronomy*, 33, 52-61.
- Granotec. (2020). Informe de calidad de la cosecha del trigo 19/20. Recuperado de: file:///C:/Users/Usuario%20Desconocido/Downloads/Presentacion_ICCT_Argentina_19-20.pdf
- Gupta, R.B. & MacRitchie, F. (1991). A rapid one step one dimensional SDS-PAGE procedure for analysis of subunit composition of glutenin in wheat. *Journal of Cereal Science*, 14, 105-109.
- Hernández Espinosa, N., Posadas Romano, G., Cervantes López, F., González Santoyo, H. I., Santacruz Varela, A., Benítez Riquelme, I. y Peña Bautista, R. J. (2013). Distribución de fracciones de proteína y su contribución a las características de calidad de trigo. *Revista Fitotecnia Mejicana*, 36, 137-145.
- Iglesias, D. y Iturriz, G. (2010). Importancia de la cadena agroalimentaria del trigo en la provincia de La Pampa. Publicado en: El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. En: A. Bono, A. Quiroga y I. Frasier (Eds.). E.E.A. Anguil, Ediciones INTA. Publicación Técnica N° 79.
- INASE. (2015). Calidad industrial de variedades de trigo pan grupos de calidad. Comité de Cereales de Invierno de la Comisión Nacional de Semillas – INASE. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/red-de-ensayos-comparativos-de-variedades-de-trigo/grupo-de-calidad-de-trigo-pan>.
- Islas-Rubio, A. R., Chávez-Quiroz, K., Vásquez-Lara, F., Silva-Espinoza, B., Granados-Nevárez, M., González-Ríos, H. & Camacho-Casas, M. (2011). Effect of split applications of urea on protein size distribution, physical dough properties, and baking performance of five experimental bread wheat lines. *Agricultural Sciences*, 2, 181-190.
- Johansson, E., Prieto-Linde, M. L. & Gissén, C. (2008). Influences of weather, cultivar and fertilizer rate on grain protein polymer accumulation in field-grown winter wheat, and relations to grain water content and falling number. *Journal of Science of Food and*

- Agriculture*, 88, 2011-2018.
- Lerner, S. E., Arrigoni, A. C. y Arata, A. F. (2013). Uso del nitrógeno y calidad industrial en cultivares argentinos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.). *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 39(1), 77-87.
- Lerner, S. E., Arata A. F. y Arrigoni, A. C. (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. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42, 29-40.
- Liu, J. Liang, T., Xiong, S., Wang, J., Wang, Y., Yang, Y. & Zhai, Q. (2012). Effects of nitrogen fertilisation 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.
- Martre, P., Porter, J. R., Jamieson, P. D. & Triboi, E. (2003). Modelling grain nitrogen accumulation and protein composition to understand the sink/source regulations of nitrogen remobilization for wheat. *Plant Physiology*, 133, 1959-1967.
- Martre, P., Jamieson, P. D., Semenov, M. A., Zyskowski, R. F., Porter, J. R. & Triboi, E. (2006). Modelling protein content and composition in relation to crop nitrogen dynamics for wheat. *European Journal of Agronomy*, 25, 138-154.
- Martínez-Cruz, E., Espitia-Rangel, E., Villaseñor-Mir, H. E., Molina-Galán, J. D., Benítez -Riquelme, I., Santacruz-Varela, A. y Peña-Bautista, R. J. (2010). Diferencias reológicas de la masa de trigo en líneas recombinantes. II. Relación con combinaciones de los loci Glu-1 y Glu-3. *Agrociencia*, 44, 631-641.
- Molfese, E.R. (2016). Caracterización de la calidad del trigo pan en el centro sur bonaerense. 1º Edición. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Molfese, E.R. (2017). Descripción alveográfica y farinográfica de variedades argentinas de trigo pan. 1º Edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. INTA Ediciones.
- Norma XX. Secretaría de agricultura, ganadería, pesca y alimentos. Resolución SAGPyA N° 1262/2004.
- Plaza, A. E. (2013). Estudio molecular de gluteninas de alto y bajo peso molecular en *Triticum aestivum* spp. *vulgare* L. y su relación con la calidad panadera (Tesis para obtener el grado de Doctor). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.
- Policía de la provincia de La Pampa (precipitaciones). Recuperado de: <https://policia.lapampa.gob.ar/contenidos/ver/lluvias>
- Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeier, E. & Peinemann, N. (2006). Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research*, 90, 63-68
- Randall, P. J., & Wrigley, C. W. (1986). Effects of sulfur supply on the yield, composition, and quality of grain from cereals, oilseeds, and legumes. *Advances in Cereal Science and Technology*, 8, 171-206.
- Sapirstein, H. D. & Fu, B. X. (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 Chemistry*, 75, 500-507.
- Satorre, E. Benech Arnold, R., Slafer, G., de la Fuente, E., Miralles, D., Otegui, M. y Savin, R. (2003). Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía. UBA.
- Savill, G. P. (2018). The Relationships between Genotype, Yield, and Environmental Factors on Protein Distribution in the Wheat Endosperm. Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. School of Agriculture, Policy, and Development. University of Reading.
- Seghezzo, M. L. y Molfese, E. R. (2006). Calidad en trigo pan. Boletín técnico N° 41. Ediciones INTA. 38 p.
- Southan, M., & Macritchie, F. (1999). Molecular weight distribution of wheat proteins. *Cereal Chemistry*, 76, 827-836.
- Suchy, J., Lukow, O. M. & Fu, B. X. (2003). Quantification of monomeric and polymeric wheat proteins and the relationship of protein fractions to wheat quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 1083-1090.
- Suchy, J., Lukow, O.M., Brown, D., DePauw, R., Fox, S. & Humphreys, G. (2007). Rapid assessment of glutenin and gliadin in wheat by UV spectrophotometer. *Crop Science*, 47, 91-99.
- Tóth, B., van Biljon, A. & Labuschagne, M. (2020). Influence of low soil nitrogen and phosphorus on gluten polymeric and monomeric protein distribution in two high quality spring wheat cultivars. *Journal of Cereal Science*, 91, 1-6.
- Triboi, E., Abad, A., Michelena, A., Lloveras, J., Ollier, J.L. & Daniel, C. (2000). Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: 1. Quantitative and qualitative variation of storage proteins. *European Journal of Agronomy*, 13, 47-64.
- Triboi, E., Martre, P. & Triboi-Blondel, A.M. (2003). Environmentally - induced changes in protein composition in developing grains of wheat are related to changes in total protein content. *European Journal of Agronomy*, 54, 1731-1742.
- Trigo argentino. Análisis estadístico sobre la calidad del trigo. Recuperado de <http://www.trigoargentino.com.ar>
- Weegels P. L., Hamer, R. J. & Schofield, J. D. (1996). Critical review: functional properties of wheat glutenin. *Journal of Cereal Science*, 23, 1-17
- Wieser, H. & Seilmeir, W. (1998). The influence of nitrogen fertilization on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. *Journal Science of Food and Agriculture*, 76, 49-55.

- Wieser, H., Gutser, R. & von Tucher, S. (2004) Influence of Sulphur fertilization on quantities and proportions of gluten protein types in wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 40, 239-244.
- Wooding, A., Kavale, R. S., MacRitchie, F., Stoddard, F. L. & Wallace, A. (2000). Effects of Nitrogen and Sulfur Fertilizer on Protein Composition, Mixing Requirements, and Dough Strength of Four Wheat Cultivars. *Cereal Chemistry*, 77, 798-807.
- Zhao, F. J., Hawkesford, M. J. & McGrath, S. P. (1999). Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *Journal of Cereal Science*, 30, 1-17.
- Zörb, C., Grover, C., Steinfurth, D. & Mühling, K. H. (2009). Quantitative proteome analysis of wheat gluten as influenced by N and S nutrition. *Plant Soil*, 327, 225-234.