



APORTE DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MACOLLAJE EN  
EL RENDIMIENTO Y CALIDAD PANADERA EN TRIGO DE  
DIFERENTES GRUPOS DE CALIDAD

Trabajo final de graduación presentado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo

Julián Arabaolaza y Julián Gonzalo Esnal

**Autores**

Ing. Agr. MSc. María Pereyra Cardozo, Cátedra de Química Biológica

**Director**

Ing. Agr. Mg. Adriana E. Quiriban, Cátedra de Química Biológica

**Co-director**

Dra. Aurora M. T. PICCA, Cátedra de Genética y Mejoramiento Genético de Plantas y animales

Dr. Diego R. RIESTRA, Cátedra de Agrotecnia

**Evaluadores**

FACULTAD DE AGRONOMÍA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Santa Rosa, La Pampa, Argentina, 2021

## Índice general

	Página
Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
Materiales y métodos	7
Resultados y discusión	10
Conclusiones	27
Agradecimientos	28
Bibliografía	29

## Índice de Tablas

	Título	Página
Tabla 1	Descripción de las características agronómicas de los genotipos	<b>9</b>
Tabla 2	Precipitación media mensual (PMM), evapotranspiración potencial (ETP) y temperatura media mensual (TMM) en Santa Rosa, La Pampa.	<b>10</b>
Tabla 3	Grado de significancia para cada una de las variables en estudio en 10 genotipos de trigo en función a la disponibilidad de nitrógeno.	<b>18</b>
Tabla 4	Valores medios de las variables estudiadas en 10 cultivares de trigo en función a la disponibilidad de nitrógeno.	<b>19</b>
Tabla 5	Porcentaje de proteína en grano en 10 cultivares de <i>Triticum aestivum</i> L. de diferente grupo de calidad.	<b>21</b>
Tabla 6	Grado de significancia de las determinaciones en harinas en 10 cultivares de trigo	<b>25</b>
Tabla 7	Valores medios de las distintas fracciones proteicas en harinas e IS-SDS.	<b>25</b>

## Índice de Figuras

	Título	Página
Figura 1	Subregiones con características agroecológicas diferentes	<b>4</b>
Figura 2	Precipitación media mensual (PMM), Temperatura media mensual (TMM) en Santa Rosa, La Pampa, en Santa Rosa, La Pampa. PMM: precipitación media mensual promedio histórico 1975 – 2018. TMM: Temperatura media mensual promedio histórico 1975 – 2018	<b>11</b>
Figura 3	IS-SDS en 10 cultivares de trigo de diferente grupo de calidad y disponibilidad de nitrógeno.	<b>23</b>
Figura 4	Regresión lineal entre IS-SDS en función de la concentración de proteínas poliméricas insolubles (PPI) y en función de la concentración de proteínas monoméricas (PM).	<b>26</b>

## Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el aporte de la fertilización nitrogenada en macollaje en el rendimiento y calidad panadera en trigo (*Triticum aestivum* L) de diferentes grupos de calidad (GC), cultivados en el departamento Capital de la provincia de La Pampa. El experimento se llevó a cabo en la Facultad de Agronomía de la UNLPam, con 10 cultivares de diferente grupo de calidad. Al tratamiento fertilizado se le agregó 100 Kg urea ha<sup>-1</sup> en macollaje. Los rendimientos de grano fueron altos, destacándose Themix, genotipo del GC 3, con mayor rinde en ambas condiciones de fertilización nitrogenada. La concentración de proteína en grano aumentó variando los valores medios de 9,21 a 10,74 % en las plantas no fertilizadas y fertilizadas respectivamente. El incremento varió entre 0,7 y 2,9% y no estuvo asociado al Grupo de Calidad. El índice de sedimentación en dodecil sulfato de sodio (IS-SDS) de las plantas no fertilizadas y fertilizadas fue de 12,45 y 15,07 cm<sup>3</sup> respectivamente, siendo diferente según el GC en las harinas de plantas no fertilizadas. La fertilización permitió homogeneizar la calidad de las harinas, debido a cambios en la composición proteica, donde el contenido de las proteínas poliméricas insolubles fue similar en los tres GC en las harinas de plantas fertilizadas. El aporte de nitrógeno en macollaje permitió que el cultivar Themix del GC 3 exprese altos rendimientos y buena calidad panadera.

Palabras claves: concentración de proteína en grano, composición proteica de harinas, índice de sedimentación en dodecil sulfato de sodio (IS-SDS).

### Abstract

The objective of this study was to evaluate the contribution of nitrogen fertilization at tillering on the yield and breadmaking quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) of different quality group (GC) cultivated in the Capital department in La Pampa province. The experiment was carried out in the Faculty of Agronomy of the UNLPam, with ten wheat cultivars of different quality group. The fertilized treatment was added 100 kg.ha<sup>1</sup> of urea in tillering. Grain yields were high, Themix, genotype of GC 3, was the cultivar that expressed the highest grain yield in both fertility treatments. Grain protein concentration increased varying the mean values from 9.21 to 10.74% in the unfertilized and fertilized plants respectively. The increase varied between 0.7 and 2.9 % and was not associated with GC. Sodium dodecyl sulfate sedimentation test (IS-SDS) of the unfertilized and fertilized plants was 12.45 and 15.07 cm<sup>3</sup> respectively, and was different in unfertilized plants flours according GC. The fertilization allowed to homogenize the quality of the flours, due to changes in protein fractions, upon the insoluble polymeric proteins content was similar in fertilized plant flours of the three GC. The nitrogen fertilizer added in the tillering allowed that cultivar Themix of GC 3 to express high yield and good breadmaking quality.

Key words: grain protein concentration, flour protein composition, sodium dodecyl sulfate sedimentation test (IS-SDS).

## INTRODUCCIÓN

En Argentina el trigo es uno de los cultivos extensivos de mayor importancia con un 14% de la superficie total. Es difundido en diferentes condiciones agroecológicas y es un cultivo estratégico en las rotaciones por su contribución a la sustentabilidad de los distintos sistemas productivos. Dentro de este el trigo pan (*Triticum aestivum* L.) es el más difundido 98,5% del trigo producido en el país, dado que se cultivan aproximadamente 5,1 millones de hectáreas lo que significa una producción de alrededor de 14,2 millones de toneladas por año, con un rendimiento promedio de 2.964 kg.ha<sup>-1</sup>. La campaña de trigo en el año 2018 alcanzó el récord de 19,5 millones de toneladas, con un área de 6,3 millones de hectáreas con un rendimiento de 3.095 kg.ha<sup>-1</sup> (bolsa de comercio rosario, [www.bcr.com.ar](http://www.bcr.com.ar)).

La producción primaria del cereal se ubica en las provincias de Buenos Aires (41,6%), Córdoba (22,4%), Santa Fe (17,5%), Santiago del Estero (6,0%), Entre Ríos (5,9%) y La Pampa (4,3%). El cultivo de trigo es el cultivo invernal de mayor importancia en la Región Semiárida Pampeana y los rendimientos del mismo presentan gran variedad interanual en la región desde 989 (2009) a 2664 kg.ha<sup>-1</sup> (2012) (Fernández y Zingaretti, 2015). Existen 9 subregiones trigueras en el país y la provincia de La Pampa forma parte de la subregión triguera V Sur (Figura 1). En esta provincia en la campaña 2018/2019 se cultivó una superficie de 1.138.840 has y su producción fue de 3.236.193 toneladas (Trigo Argentino, 2018/2019, [www.trigoargentino.com.ar](http://www.trigoargentino.com.ar)).

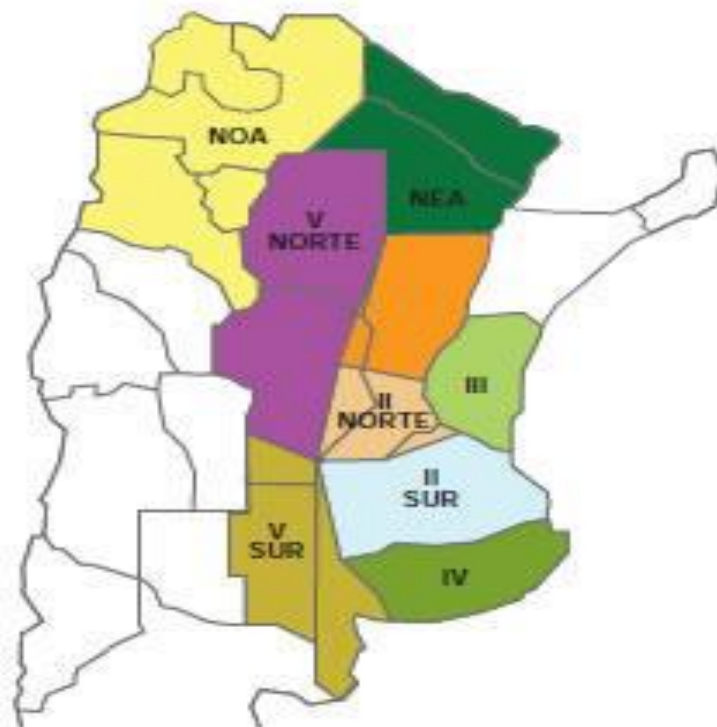


Figura 1. Subregiones con características agroecológicas diferentes (Zarrilli, 2010).

El ambiente influye sobre la calidad del trigo, a través de su efecto sobre la cantidad y calidad de proteínas en el grano. De manera que cambios en los factores de manejo y en las condiciones meteorológicas modifican el ambiente (Seghezzi y Molfese 2006). Los antecedentes en la región indican que los factores climáticos son los más importantes en la definición del rendimiento de trigo, aportando el 56% de la variabilidad, sin desestimar al genotipo que aporta 23% de la variabilidad (Fernández, 2007). Por otra parte, la fertilidad es el factor más importante en aportar variabilidad (50%), en la variable porcentaje de proteínas (Fernández et al., 2019).

En la provincia de La Pampa, la principal limitante que encuentran los molinos es la baja calidad panadera, lo que se manifiesta en el parámetro W (fuerza de masa), como consecuencia de una inadecuada calidad del gluten presente (Iglesias e Iturrioz, 2010). Biolatto (2014), también menciona el bajo contenido en gluten, alto porcentaje de granos



panza blanca y alto valor del Falling number (FN). Esto se atribuye principalmente a los problemas de fertilidad de los suelos sumado a un uso insuficiente de fertilizantes (Iglesias e Iturrioz, 2010) y a la elección de variedades de mayor rendimiento pero baja calidad panadera. El manejo de la fertilización en trigo 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 (con aporte de nutrientes a siembra) sino también generar estrategias para incrementar la concentración de nitrógeno en grano (Quiroga et al., 2010). La concentración de proteína en grano y la calidad panadera son afectadas por la disponibilidad de nitrógeno y la partición de la dosis total aplicada (Fuertes Mendizabal et al., 2010). Con respecto a los genotipos en nuestro país, el tenor proteico descendió en las últimas décadas al límite aceptable para poder ser trigo panificable. Este descenso ocurre principalmente debido a que se prioriza el aumento del rendimiento a expensas de la calidad, dificultando la exportación del cereal (Caputo et al., 2010).

Los cultivares modernos frecuentemente presentan menor concentración de proteína en grano que sus predecesores sugiriendo una reducción no buscada, en la calidad del grano, debido a la mejora para mayores rendimientos. Esto puede ser explicado por un mayor incremento en la biomasa del grano con respecto a la mejora en la acumulación de nitrógeno (Acuña et al., 2005). 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, sino también generar estrategias que permitan aumentar la concentración de nitrógeno en grano (Alzueta et al., 2007).

La disposición actualmente vigente para la comercialización del trigo pan (*Triticum aestivum*) es la NORMA XX, Resolución SAGPyA 1262 del 14 de diciembre 2004, donde se aplican bonificaciones y rebajas por contenido proteico, tomando como base 11,0 % de proteína, expresada sobre una base de 13.5 % de humedad (Molfese, 2016). En Argentina, la CONASE (Comité de Cereales de Invierno), categoriza anualmente las variedades de trigo pan presentadas a inscripción según su calidad en alguno de estos tres grupos: Grupo calidad (GC) 1: Trigos correctores, aptos para panificación industrial; GC 2: Trigos para panificación tradicional, aptos para fermentaciones largas (mayores a 8 horas) y GC 3: Trigos para panificación directa, fermentaciones cortas, menores de 8 horas. Conociendo el grupo al que pertenece la variedad y el PP logrado en ese ambiente se puede clasificar el trigo (Cuniberti, 2004). La segregación por calidad es relevante y necesaria para avanzar aún más e incursionar con éxito en mercados internacionales. Para que esto ocurra es importante profundizar el conocimiento de las características varietales de los trigos (Molfese, 2016).

Los principales factores que influyen sobre la calidad de la harina son genéticos, ambientales, culturales, bióticos y poscosecha (Divito et al., 2017). 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). 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).

El objetivo de este estudio fue evaluar el aporte de la fertilización nitrogenada en macollaje en el rendimiento y calidad panadera en trigo (*Triticum aestivum* L) de diferentes grupos de calidad, cultivados en el departamento Capital de la provincia de La Pampa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa ubicado en 36°32'49" S y 64°18'20" W y a una altitud de 212 m snm (Fernández et al., 2019). Se evaluaron 10 variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) descritas en la Tabla 1.

La fecha de siembra fue el 28 de junio. Se trabajó en parcelas de 1,4 m de ancho por 6 m de largo, ocupando una superficie total de 540 m<sup>2</sup> (18 m de ancho y 30 m de largo). A la siembra se incorporó 50 kg.ha<sup>-1</sup> superfosfato triple (0-46-0).

En macollaje, a mediados de septiembre, se realizó una fertilización nitrogenada a razón de 100 kg.ha<sup>-1</sup> de urea, que se aplicó a la mitad de las parcelas quedando definidos dos tratamientos fertilizado (F) y no fertilizado (NF).

Al estado fenológico Z.51 (Zadoks et al., 1974) se midió la concentración de clorofila en hoja con un SPAD-502. Posteriormente se cosecharon las hojas, se secaron en estufa a 60°C hasta peso constante, se molieron y tamizaron (malla 1 mm) para cuantificar el porcentaje de nitrógeno total por Método Kjeldahl.

A la madurez del cultivo se cosecharon las espigas de 0,5 m<sup>2</sup> de cada tratamiento. Luego las espigas fueron trilladas con una máquina estática para determinar rendimiento (grano.m<sup>2</sup>) expresado como kg.ha<sup>-1</sup>, peso de mil granos (PMG) y número de granos por m<sup>2</sup>. Se tomó una muestra de granos representativa de cada tratamiento y determinó el contenido total de proteínas, por el método de Micro-Kjeldhal modificado para ácido bórico (Método 46-12, AACC, 2000) en los laboratorios de Química de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Nacional de La Pampa. Los valores de proteína se calcularon como N x 5.7 y ajustados a 14 % de humedad.

Posteriormente los granos fueron molidos en un molino Delver modelo MPD 1011A y la harina obtenida fue tamizada con un tamiz con malla de 105 micrones. La fracción que pasó a través del tamiz se definió como harina blanca y en ésta se cuantificó la concentración de las distintas fracciones proteicas siguiendo el protocolo propuesto por Hernández Espinosa et al. (2013), con modificaciones.

Las muestras se procesaron por duplicado mediante extracción secuencial. De cada muestra se utilizaron 10 mg de harina (14 % de humedad, base húmeda) pesados directamente en tubos eppendorf de 2 mL. Las PM (proteínas monoméricas) fueron extraídas con 1.8 mL de una solución que combina 2.3 % NaI/3.75 % 2-propanol, después de centrifugar por 5 min a 16 500 g y 25 °C. Para la extracción de PPS (proteína polimérica soluble) se tomó el precipitado del tubo anterior y se le adicionó 1.8 mL de una solución preparada con 2 % SDS/0.75 % Tris/40 % de 2-propanol, y la mezcla se centrifugó a 25 °C durante 10 min a 16 500 g. Por último, se extrajo la fracción de PPI (proteína polimérica insoluble) después de añadir 1.8 mL de 1 % mercaptoetanol /50 % 2-propanol e incubar durante 1 h 15 min a 55 °C. Para la cuantificación de las concentraciones de proteínas, se determinó la absorbancia a 280 nm (Suchy et al., 2007), en un espectrofotómetro (Metrolab).

Se determinó el Índice de sedimentación en dodecil sulfato de sodio (IS-SDS) siguiendo la técnica propuesta por Dick and Quick (1983) con modificaciones. El volumen de sedimentación mide indirectamente la fuerza del gluten: a mayor volumen de sedimentación ( $\text{cm}^3$ ) mayor fuerza (Martínez-Cruz et al., 2010). Sobre 1 g de harina blanca, pesada en un tubo cónico, se agregó 8 ml de Coomassie blue ( $10 \text{ mg.l}^{-1}$ ), se mezcló con vortex, y dejó reposar durante 3 minutos, 40 segundos. Luego se pasó por vortex durante 5 segundos, y dejó reposar durante 1 minuto y 15 segundos. Posteriormente se pasó por vortex durante 5 segundos y luego se agregó 12 mL de solución de ácido láctico –SDS, se agitó durante 1

minuto y dejó reposar en posición vertical. Después de 14 minutos, la altura de la línea de la interface entre la parte sólida y líquida se midió en milímetros. Las determinaciones fueron hechas a temperatura ambiente (20-25°C).

### Análisis estadístico

El diseño fue en bloques completos al azar, con 4 repeticiones, siendo los factores principales genotipo y disponibilidad de nitrógeno al estado de macollaje, quedando un factorial de 10 genotipos x 2 niveles de disponibilidad de nitrógeno en macollaje (NF, F). Los resultados fueron analizados por ANOVA mediante el infoStat (Di Rienzo et al., 2008).

**Tabla 1.** Descripción de las características agronómicas de los genotipos

Genotipo	Criadero	Origen	Año de inscripción	Ciclo	Grupo de calidad
Buck Guaraní	Buck	Argentina	1994	I-C	III <sup>c</sup>
Baguette Premium 13	Nidera	Holanda	2001	I	I <sup>a</sup>
ACA 601	ACA	Argentina	2003	I	II <sup>b</sup>
Klein Proteo	Klein	Argentina	2003	I	I <sup>a</sup>
Baguette Premium 11	Nidera	Francia	2004	I	II <sup>a</sup>
ACA 315	ACA	Argentina	2006	I	I <sup>a</sup>
Buck Baqueano	Buck	Argentina	2007	I-L	II <sup>b</sup>
Themix	Don Mario	Argentina	2007	I-L	III <sup>b</sup>
Klein Yará	Klein	Argentina	2009	I	I <sup>a</sup>
Bonaerense INTA-MS514	Macroseed	Argentina	2015	I	I <sup>a</sup>

Referencias: I: Intermedio. L: Largo. C: Corto. <sup>a</sup>: Grupo de calidad designado por INASE (2019). <sup>b</sup>: INASE (2010), <sup>c</sup>: Cuniberti (2004). (Tabla tomada de Fernández et al., 2020).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

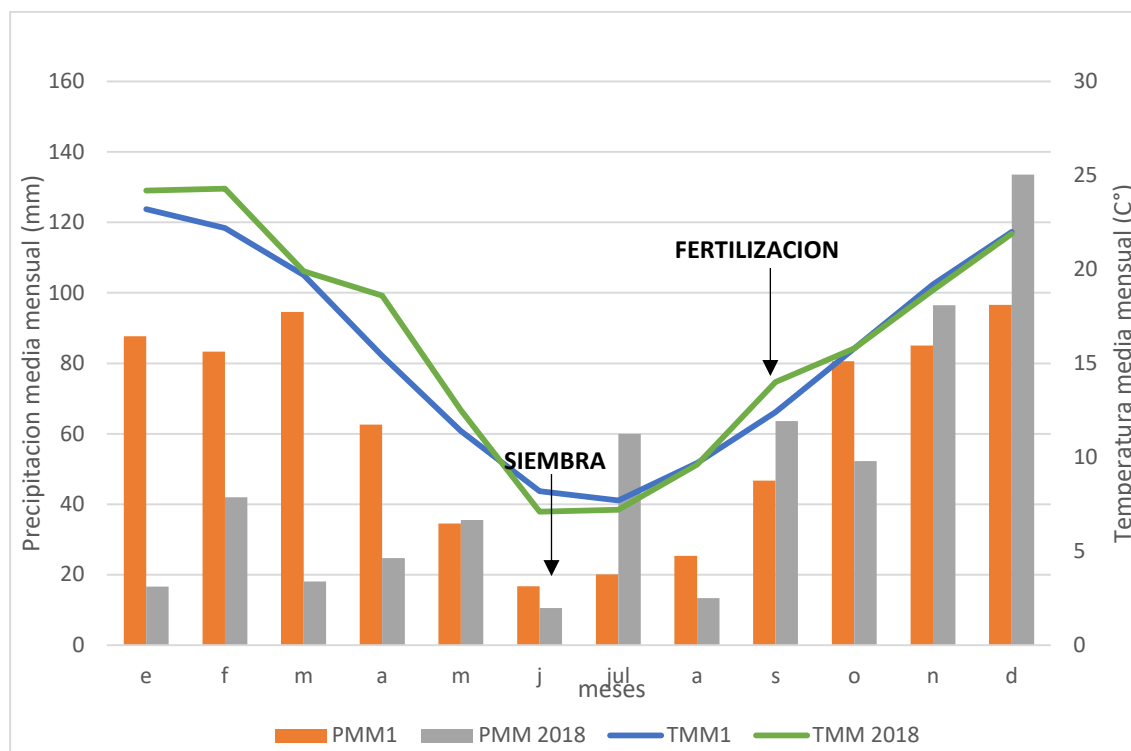
### *Condiciones de crecimiento del cultivo*

Las condiciones climáticas del año 2018 fueron propicias para el crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo. Las temperaturas fueron similares a la media histórica, sin grandes variaciones durante los meses de junio a noviembre (Tabla 2). En cuanto a las precipitaciones, fueron abundantes durante mayo, junio y julio para recargar el perfil del suelo para la siembra y desarrollo inicial del cultivo, acompañadas por lluvias adecuadas en cuanto a cantidad y distribución durante el ciclo del cultivo de trigo (Figura 1).

**Tabla 2.** Precipitación media mensual (PMM), evapotranspiración potencial (ETP) y temperatura media mensual (TMM) en Santa Rosa, La Pampa. Adaptado de Fernández et al., 2020.

<sup>1</sup> los datos corresponden a promedio histórico 1975 – 2018.

	E	F	M	A	M	J	Jul	A	S	O	N	D	Jul - Nov	Anual
	mm.mes <sup>-1</sup>													
<b>ETP<sup>1</sup></b>	135,1	107,2	88,6	51,5	30,6	16,1	15,3	25,1	39,1	66,8	93,7	127,2	240	796
<b>PMM<sup>1</sup></b>	87,7	83,3	94,6	62,6	34,5	16,7	20,1	25,3	46,7	80,6	85	96,6	258	737
<b>2018</b>	16,6	42	18,1	24,7	35,5	10,5	<b>60</b>	<b>13,3</b>	<b>63,6</b>	<b>52,2</b>	<b>96,5</b>	133,6	286	567
	°C													Media
<b>TMM<sup>1</sup></b>	23,2	22,2	19,7	15,4	11,4	8,2	7,7	9,7	12,4	15,8	19,2	22	13	15,6
<b>2018</b>	24,2	24,3	19,9	18,6	12,5	7,1	7,2	9,6	14	15,8	18,9	21,9	13,1	16,2



**Figura 2.** Precipitación media mensual (PMM), Temperatura media mensual (TMM) en Santa Rosa, La Pampa, en Santa Rosa, La Pampa. PMM<sup>1</sup>: precipitación media mensual promedio histórico 1975 – 2018. TMM<sup>1</sup>: Temperatura media mensual promedio histórico 1975 – 2018.

Fuente: Observatorio meteorológico Ing. agr. Juan C. Lasalle, Facultad de Agronomía de la UNLPam. Adaptado de Fernández et al., 2020.

### ***Índice de verdor (unidades SPAD) y nitrógeno en hoja (%)***

La tabla 3 muestra la significancia para las variables estudiadas y la Tabla 4 los valores SPAD y la concentración de nitrógeno en hoja para los genotipos evaluados y la fertilización aplicada.

El medidor de clorofila ha sido reconocido como una herramienta para detectar deficiencias y monitorear el contenido de nitrógeno y las determinaciones, expresadas en unidades SPAD, han sido utilizadas para estimar el incremento del rendimiento en grano en función de la disponibilidad de nitrógeno (Singh et al., 2002). Cuando existe una adecuada disponibilidad hídrica en la etapa de macollaje, es conveniente el monitoreo de la disponibilidad de nitrógeno para los cultivos. Además, esta situación modifica las expectativas de rendimiento,

por lo que resulta indispensable el empleo de herramientas de monitoreo para el ajuste de la dosis de N durante el ciclo (Fertilab, 2018).

El índice de verdor en hoja en inicio de floración mostró diferencias significativas entre genotipos y entre niveles de fertilización nitrogenada, no siendo significativa la interacción entre los dos factores evaluados.

En este trabajo los valores de SPAD fueron dependientes de cada genotipo, coincidente con lo informado por Le Bail et al., (2005); Prost y Jeuffroy, (2007) y Arreguey y Brendle (2018). El genotipo MS 514 expresó el mayor valor de SPAD, diferenciándose significativamente del resto de los genotipos, mientras que los de menor valor fueron Klein Yarará y Buck Guaraní del grupo del calidad 1 y 2 respectivamente, con un valor promedio de 40,5 unidades SPAD. Para este indicador, no se observaron diferencias entre genotipos de los diferentes grupos de calidad evaluados.

La fertilización nitrogenada al macollaje marco un incremento significativo del valor SPAD de 2 unidades respecto del tratamiento sin fertilizar. Este nivel de incremento es coincidente con los resultados obtenidos por Minig y Lange (2019).

El genotipo Klein Yarará (GC 1), fue el de menor índice de verdor, sin diferencias entre el valor promedio fertilizado y testigo, mientras que MS 514 fue el de mayor valor de SPAD en ambos niveles de fertilización. En Buck Guaraní y Themix, ambos genotipos del GC 3, y en Buck Baqueano, del GC 2; hubo un incremento significativo respecto del control de 3,3, 5,5 y 5,3 unidades SPAD respectivamente para cada genotipo.

Loewy y Ron (2008) consideran que valores en el rango 37-42 de IV indican una condición nutricional “moderada” mientras que entre 43-46 unidades SPAD es “provisto”. Loewy et al., (2005) asumen como valor referencial una medición de 46 -47 unidades SPAD, para alcanzar un 90% del rendimiento máximo, proveyendo un nivel proteico del grano



próximo al 12%. Mientras que, Arreguy y Brendle (2018) consideran un valor de IV de 46 en Z73 para obtener un 11% de proteína en grano, en la misma zona de estudio de este trabajo.

Según estos valores referenciales, la mayoría de los genotipos evaluados, aun los testigos sin fertilización, estarían provistos de una suficiencia nitrogenada, para alcanzar rindes máximos. Sin embargo, no se pueden atribuir estos valores de índice de verdor al efecto generalizado de la fertilización, ya que el genotipo MS 514 presenta valores de 50 unidades SPAD sin fertilización nitrogenada mientras que el genotipo Klein Yarará bajo fertilización arrojó un valor de 41,38 sin diferencias del tratamiento sin fertilizar. Esto podría deberse a que el IV es afectado por el cultivar, la disponibilidad de agua y de otros nutrientes entre otros factores, y no se recomienda la utilización de estos valores absolutos, sino que la mayor capacidad predictiva estaría determinada a través de la normalización de los datos en relación con el máximo de cada sitio (ISN) (Fertilab, 2015). Sin embargo, Ferrari et al., (2010), obtuvieron mayor dispersión de los datos cuando los rendimientos se relacionaron con las lecturas absolutas de SPAD, considerando que la confiabilidad de la predicción disminuye cuando las lecturas de clorofila fueron expresadas en términos relativos. Al evaluar la concentración de nitrógeno en hoja, el análisis de la varianza mostró que hubo diferencias entre genotipos y entre niveles de fertilización, sin embargo, no fue significativa la interacción genotipos x nivel fertilización (Tabla 3)

El genotipo Baguette Premium 11 (GC 2) fue el de mayor contenido de nitrógeno en hoja, mientras que Buck Guaraní fue el que expresó el menor valor de este indicador. La fertilización al macollaje generó un incremento del nivel de nitrógeno en hoja de un 9% respecto al tratamiento no fertilizado, sin embargo, no se vio una respuesta generalizada en todos los genotipos evaluados. Sólo ACA 315 mostró un incremento significativo del 23% en el contenido de N en hoja por efecto de la fertilización, mientras que en el resto de los

genotipos evaluados no se dieron variaciones significativas, coincidente con lo reportado por Arreguy y Brendle (2018).

En este experimento, no se observó una asociación positiva entre valores SPAD y nitrógeno en hoja, a diferencia de lo informado por Prost y Jeuffroy (2007), debido a que ambos indicadores muestran gran variabilidad en los genotipos evaluados, incluso en su respuesta a la fertilización nitrogenada, como podemos observar en las tablas 3 y 4. Varios autores han expresado que la concentración de nitrógeno en hoja y el IV son indicadores de la concentración de proteína en grano. López –Bellido et al. (2004) expresaron que se requiere un 3,6% N en hoja bandera y valores de SPAD de 48, para alcanzar un 11% proteína en grano. Arreguy & Brendle (2018) estimaron en trigo, que se requiere una concentración de nitrógeno en hoja del 4 % para alcanzar un 11% de proteína en grano. Mientas que Tindall et al. (1995) expresan que el valor umbral sería 2,3% de N en hoja bandera en Z73.

Si bien las determinaciones en este trabajo se realizaron en etapas anteriores a las citadas por los autores, los valores de N en hoja en floración estuvieron por debajo de 4 y 3,6%, incluso luego de la fertilización. Tindall et al., (1995) y Echeverría y Studdert (1998) expresan que la concentración de nitrógeno en hoja bandera en espigazón es un buen predictor de la respuesta de la concentración de la proteína en grano ante la fertilización nitrogenada. Por lo tanto, podríamos inferir que estos valores de N menores al valor crítico de 3,6%, tomados como valores referenciales del contenido nitrogenado del trigo, podrían justificar una fertilización nitrogenada tardía, dadas las condiciones óptimas para el cultivo en este año en particular, teniendo como objetivo mejorar la expectativa de rendimiento definida a la siembra y alcanzar valores de 11% de proteína en grano.

***Rendimiento en grano, PMG y Número de granos.m<sup>2</sup>***

La variabilidad del rendimiento en trigo es en parte atribuible a la distribución de las precipitaciones entre años y dentro de ellos (Hurtado et al., 2009, Fernández, 2013) y a la disponibilidad de nitrógeno del suelo (Bono y Romano, 2010). Así, el efecto ambiental constituye una variable emergente en la definición del rendimiento, observándose una importante interacción entre el genotipo y el año (Fernández et al., 2015). Los rendimientos medios de trigo en la región pampeana, entre 1999 y 2019 variaron entre 1959 y 3398 kg.ha<sup>-1</sup> con contenidos de proteínas entre 9,9 y 12,3% en base húmeda. En 21 campañas evaluadas, se observó un crecimiento medio anual de los rendimientos a razón de 43 kg.ha<sup>-1</sup> (Díaz- Zorita y Grasso, 2021). Teniendo en cuenta los valores promedios citados en el párrafo anterior, los rendimientos de grano obtenidos en este trabajo, fueron en general elevados, sin variaciones significativas por efecto de la fertilización nitrogenada al macollaje, siendo los valores medios de 4013,53 y 4097,98 kg.ha<sup>-1</sup>, para testigo y fertilizado respectivamente (Tablas 3 y 4). La falta de respuesta al agregado de nitrógeno podría deberse a la cantidad de agua disponible en el perfil para el crecimiento del cultivo y el nitrógeno del suelo a la siembra. El análisis de la varianza para rendimiento en grano (Tabla 3), arrojó diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ) sólo entre genotipos. En este sentido, los rendimientos de grano obtenidos oscilaron entre 4832 kg.ha<sup>-1</sup> en Themix (GC 3) y 3438 kg.ha<sup>-1</sup> en Klein Yarará (GC 1).

Dillchneider (2020), expresa que la fertilización a la siembra es más eficiente que la fertilización al macollaje para mejorar los rendimientos en la región. Sus resultados muestran que al fertilizar con 80 kg de N en el momento de la siembra o con esa dosis fraccionada entre siembra y macollaje obtuvo una respuesta promedio de 1030 kg.ha<sup>-1</sup> sobre el control sin fertilizar, sin diferencias entre los genotipos evaluados. Mientras que, la fertilización solo en macollaje aún en la mayor dosis de N utilizada, mostró una respuesta inferior, en promedio de 661 kg.ha<sup>-1</sup>. Por otra parte, Alzogaray y Caraffini (2018) y Arreguy y Brendle (2018)

obtuvieron respuesta a la fertilización al macollaje sólo en uno de los genotipos evaluados, ACA 315 con un incremento del 24% y 27,5% respectivamente. En nuestro trabajo la fertilización al macollaje generó incrementos menores al 10%, que representan valores promedios inferiores a  $170 \text{ kg.ha}^{-1}$ .

Fernández et al. (2019), realizaron una evaluación del rendimiento de grano, el peso hectrolítrico (PH) y otras variables relacionadas y su variación por el efecto del año, el genotipo, y la fertilidad durante 6 años y concluyeron que el rendimiento de grano solo aumentó en la mitad de los años con nitrógeno en macollaje, haciéndolo una práctica de errática respuesta. Bono y Alvarez (2009) manifiestan que la disponibilidad de N afecta marcadamente el rendimiento del trigo y que el momento de aplicación de nitrógeno no es una variable con efecto significativo sobre el rendimiento. Sin embargo, consideramos que, en este experimento, la disponibilidad de agua y nitrógeno desde la siembra a antesis, repercutieron positivamente en el incremento de biomasa en este periodo, y que, esta mayor biomasa acumulada no contaría con suficiente N para abastecer incrementos de rendimiento y calidad simultáneamente. Similares resultados fueron informados por Ferrari et al. (2010) donde los rendimientos en un ambiente bajo fueron muy elevados, causando una fuerte dilución de N. En ese contexto, el N aplicado a la siembra fue insuficiente para abastecer las demandas en el período crítico y el período de llenado de los granos.

Las variedades modernas y actualmente disponibles en la región muestran que sus rendimientos potenciales superan las condiciones normales de oferta de recursos para su logro. Los cambios en la oferta y consumo del agua y en el uso del nitrógeno repercuten en variaciones tanto en los rendimientos como en la calidad de los granos producidos (Fernández, et al., 2020). Gagioli et al. (2013) observaron que los trigos del grupo de calidad 3, tuvieron mayores rendimientos que el cultivar ciclo largo del GC 1, pero sin diferencias

con el cultivar ciclo corto del mismo grupo. En nuestro experimento, los genotipos Themix (GC 3), Buck Baqueano, ACA 601 (GC 2) y ACA 315 (GC 1) fueron los de mayor rendimiento, mientras que Klein Yarará y Klein Proteo (GC 1) fueron los que expresaron menor rinde en este experimento. Coincidente con lo que expresó Fernández et al. (2020), el genotipo elegido en cuanto a grupo de calidad y año de inscripción, no es tan importante sobre el rendimiento y la calidad de grano. Para ambos componentes numéricos del rendimiento evaluados, se registraron diferencias significativas entre genotipos y por efecto de la fertilización, sin interacción significativa de estos dos factores (Tabla 3).

El peso de mil granos fue diferente entre genotipos siendo el mayor en MS 514 con 39,4 g superando en 2 g a ACA 601 y diferenciándose significativamente del resto de los genotipos evaluados. Mientras que Klein Yarará, el de menor PMG, presentó 6,6 g menos que MS 514. Si bien hubo una disminución del PMG ante la respuesta a la fertilización nitrogenada al macollaje, esta mostró variaciones entre los genotipos: ACA 315 registró una disminución de 3,15 g.; para ACA 315, Klein Proteo, Themix, Klein Yarará y Buck Guaraní la disminución fue de 0,96 g. promedio y en Buck Baqueano y Baguette P. 11 fue de 0,25 g. El menor peso de los granos, podrían explicarse por el efecto de la fertilización al macollaje que incremento el número de granos por espiga, que se desarrollan en las partes distales de la espiga con un menor peso de los mismos (Fernández, et al., 2019)

Estos resultados son diferentes a los reportados por Dillchneider (2020) donde hubo aumentos en el peso individual de los granos, de entre 1,5 y 2,0 gramos por grano, con fertilización nitrogenada en el macollaje, sin diferencias entre los genotipos evaluados. Por otro lado, el número de granos fue mayor en Themix (GC 3), tanto en el testigo como en el tratamiento fertilizado, diferenciándose significativamente del resto de los genotipos. Mientras que Baguette Premium 13, Klein Yarará, Klein Proteo, y MS 514, todos genotipos

del GC 1, fueron los que expresaron menor valor de este componente, disminuyendo en una proporción del 21,6%, 24,2%, 25%, 30% y 30% respectivamente del registrado por Themix.

También fue significativo el efecto de la fertilización nitrogenada, incrementando en un 5% el número de granos. Se destaca ACA 315, con un incremento no significativo de 810 granos por efecto de la fertilización, mientras que en el resto de los genotipos los incrementos son leves no significativos. El rendimiento está fuertemente asociado al número de granos por unidad de superficie (Slafer et al., 2004; Fernández et al., 2015).

De los componentes numéricos del rendimiento, en este experimento, las variaciones en el número de granos explicaron el 86% de las diferencias de rendimiento. Coincidente con lo expresado por Fernández et al., (2015) que determinaron que en la RSP los componentes espigas.m<sup>2</sup> y número de granos. espiga<sup>-1</sup>, fueron los de mayor asociación con el rendimiento en grano en trigo. Cardoni y del Río (2017) no hallaron incrementos en el rendimiento de grano en trigo por el agregado de fertilizante nitrogenado en macollaje, mientras que el agregado de N provocó un aumento en el número de espigas.m<sup>2</sup> y el número de granos.m<sup>2</sup>, pero disminuyó el PMG y el PH y mantuvo el rendimiento de grano.

Tabla 3. Grado de significancia para cada una de las variables en estudio en 10 genotipos de trigo en función a la disponibilidad de nitrógeno. Al macollaje las plantas fueron fertilizadas con 100 kg.ha<sup>-1</sup> de urea.ha<sup>-1</sup>

	<b>SPAD</b>	<b>% N hoja</b>	<b>Rendimiento (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>PMG</b>	<b>NG</b>	<b>% Proteína en Grano</b>
<b>Genotipo</b>	<0,0001	0,0269	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,02
<b>Fertilización</b>	0,0012	0,0033	0,31	0,0158	0,0266	0,0016
<b>G x F</b>	0,1578	0,7339	0,99	0,33	0,9976	0,7818

Tabla 4 Valores medios de las variables estudiadas en 10 cultivares de trigo en función a la disponibilidad de nitrógeno. Al macollaje las plantas fueron fertilizadas con 100 kg.ha<sup>-1</sup> de urea.ha<sup>-1</sup>

Genotipo	Grupo Calidad	Unidades SPAD		%N hoja		Rendimiento (Kg.ha <sup>-1</sup> )		PMG (g)		NG	
Baguette Premium 13	I	45,88	b	2,72	bc	4107,75	bc	37,64	ef	10916	de
Klein Proteo	I	45,6	b	2,65	c	3682,5	cd	35,23	cd	10461,88	ef
Klein Yará	I	40,14	c	2,84	abc	3438,13	d	32,75	a	10567,38	ef
ACA 315	I	46,54	b	2,89	abc	4440,13	ab	36,79	ef	12099,4	bc
MS514	I	50,91	a	3,06	ab	3845	bcd	39,39	g	9800,25	f
ACA 601	II	46,47	b	2,86	abc	4215,88	bc	37,9	f	11163,75	cde
Baguette Premium 11	II	45,78	b	3,14	a	3838,88	bcd	33,26	a	11571,13	bcd
Buck Baqueano	II	44,75	b	2,86	abc	4422,5	ab	36,34	de	12180,25	b
Themix	III	45,51	b	2,65	c	4831,88	a	34,76	bc	13927,8	a
Buck Guaraní	III	40,61	c	2,56	c	3734,88	cd	33,75	ab	11123,63	cde
<b>Nivel Fertilización</b>											
F		46,11	a	2,95	a	4097,98	a	35,4	b	11633	a
NF		44,34	b	2,71	b	4013,53	a	36,16	a	11129	b

### ***Concentración de proteína en grano, composición proteica de las harinas e IS-SDS***

La concentración de proteína en grano fue diferente entre los genotipos ( $p < 0,01$ ), variando los valores medios entre 8,05 y 11,25% (Tabla 5). Los valores observados fueron bajos y coinciden con el de otras experiencias, llevadas a cabo bajo las mismas condiciones de crecimiento (Arreguy y Brendle, 2018).

Por otra parte, la concentración de proteína en grano aumentó significativamente ( $p < 0,01$ ) en respuesta a la fertilización nitrogenada en macollaje. Cabe destacar, que en ninguno de los cultivares en estudio, en el tratamiento no fertilizado, se alcanzó el valor base de % proteína (11%) según la Norma de comercialización de trigo pan en Argentina (Norma XX, Res. 1262/2004, SAGPyA), mientras que este porcentaje fue alcanzado ante el agregado de nitrógeno por los genotipos ACA 601, ACA 315, Baguette Premium 13 y Klein Proteo, tres cultivares del GC 1 y uno del GC 2.

En los granos de las plantas no fertilizadas y fertilizadas la concentración de proteína en grano fue del 9,21 y 10,74 % respectivamente ( $p < 0,01$ ). El incremento de 1,53 % en el contenido de proteína en grano ante el agregado de nitrógeno fue similar a lo reportado por Fernández et al. (2020) en un experimento realizado en la región durante dos años. Aunque, por otra parte, 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. Estas diferentes respuestas pueden explicarse por diferencias ambientales, tales como la temperatura media y el uso consuntivo durante el llenado de los granos (Fernández et al., 2019). También, Dillchneider et al. (2019), trabajando en diferentes localidades y tipos de suelos en la provincia de La Pampa informaron el mayor porcentaje de proteína en grano, con una dosis de  $40+40 \text{ Kg N.ha}^{-1}$  aplicado a la siembra y en macollaje. 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.

Al considerar los resultados por Grupo de Calidad observamos que dentro del GC 1 hubo efecto del genotipo y fertilización, los valores medios variaron entre 9,40 y 11,20 % de proteína en grano. Los granos de plantas no fertilizadas y fertilizadas tuvieron un valor medio de 9,64 y 10,96 % respectivamente. Al analizar los cultivares del GC 2, sólo hubo efecto significativo ( $p < 0,01$ ) de la fertilización y los valores medios variaron entre 9,50 y 11,25, mientras que los granos de plantas no fertilizadas y fertilizadas tuvieron un valor medio de 9,50 y 11,03 % respectivamente. Dentro del GC 3, no hubo efecto del genotipo y los valores medios fueron 7,70 y 9,75% de no fertilizadas y fertilizadas respectivamente. En todos los genotipos la concentración de proteína en grano aumentó por el agregado de nitrógeno en macollaje, coincidiendo con lo informado por Fernández et al. (2019) en que, la fertilidad es



el factor más importante en aportar variabilidad (50%), en la variable porcentaje de proteínas. Este incremento varió entre 0,7 y 2,9% y no estuvo asociado al Grupo de Calidad. Estos resultados muestran que los menores valores medios de contenido de proteína en grano se expresaron en los cultivares del GC 3 mientras que fueron similares entre los GC 1 y 2. Coincidiendo en parte con lo informado por Fernández et al. (2019), quienes no encontraron asociación entre el Grupo de Calidad del genotipo utilizado y el porcentaje de proteínas en grano y también reportaron que tiene menor injerencia sobre el porcentaje de proteína que la fertilidad y el año.

Tabla 5. Porcentaje de proteína en grano (%) en 10 cultivares de *Triticum aestivum* L. de diferente grupo de calidad. Al macollaje las plantas fueron fertilizadas con 100 kg.ha<sup>-1</sup> de urea.ha<sup>-1</sup>

	<b>Baguette 11</b>	<b>Themix</b>	<b>Baqueano</b>	<b>MS 514</b>	<b>Guaraní</b>	<b>ACA 601</b>	<b>Klein Yarará</b>	<b>Klein Proteo</b>	<b>ACA 315</b>	<b>Baguette Premium 13</b>
NF	9	6,6	9,3	9,4	8,8	10,2	8,8	10,5	10,5	9
F	10	9,5	10,8	10,7	10	12,3	10	11,9	11,2	11

El IS-SDS, es un indicador de calidad panadera (de la Horra et al., 2012), dado que el volumen de sedimentación va a ser proporcional al contenido de proteínas formadoras de gluten y de su calidad (Vázquez 2009). Se observaron diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) en esta variable debido al genotipo, la fertilización en macollaje y la interacción genotipo x fertilización (Tabla 6).

Los volúmenes de sedimentación entre los genotipos variaron entre 8,25 y 16,63 cm<sup>3</sup>. Por otra parte, el IS-SDS de las plantas no fertilizadas y fertilizadas fue de 12,45 y 15,07 cm<sup>3</sup> respectivamente. La interacción significativa es debido a que en algunos genotipos el IS-SDS

de las harinas de plantas no fertilizadas y fertilizadas fue estadísticamente igual, y en otros aumentó en respuesta al agregado de nitrógeno (Figura 2).

En los cultivares del GC 1, no hubo efecto de la fertilización, siendo significativa el efecto del genotipo y la interacción. El menor volumen se observó en ACA 315, los valores medios de las plantas no fertilizadas y fertilizadas fueron 14,65 y 15,57 cm<sup>3</sup> respectivamente y sólo en Baguette Premium 13 aumentó en respuesta al agregado de nitrógeno.

En los GC 2, hubo efecto del genotipo y la fertilización, los valores medios de las plantas no fertilizadas y fertilizadas fueron 11,25 y 14,17 cm<sup>3</sup> respectivamente, el aumento debido a la fertilización sólo se observó en el cultivar Baqueano, siendo además el genotipo de menor valor medio dentro del GC 2. En los cultivares del GC 3 sólo hubo efecto de la fertilización, los valores medios de las plantas no fertilizadas y fertilizadas fueron 8,75 y 15,18 cm<sup>3</sup> respectivamente. De manera que el IS-SDS fue diferente según el Grupo de Calidad en las harinas provenientes de plantas no fertilizadas. La fertilización nitrogenada en macollaje permitió homogeneizar la calidad de las harinas de los cultivares de los tres Grupos de Calidad.

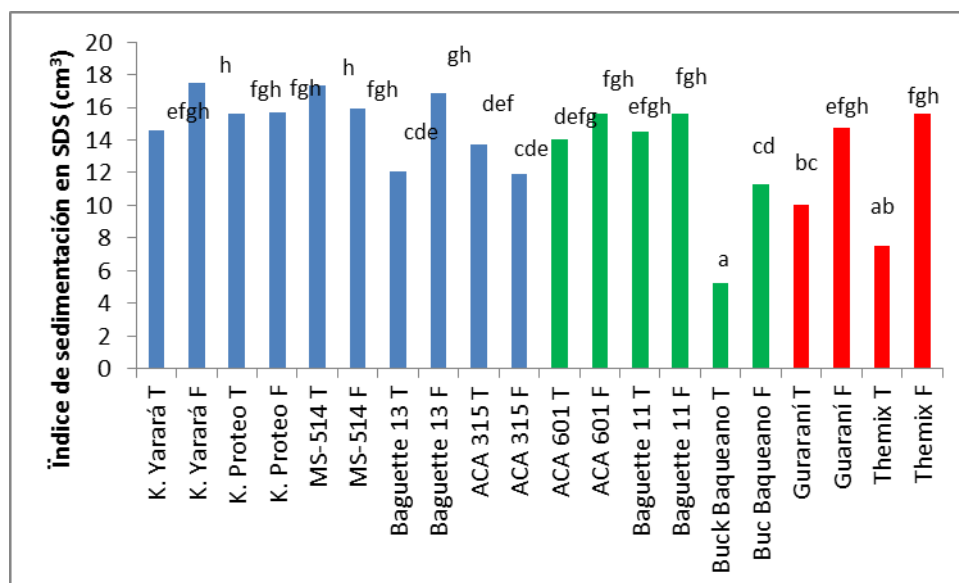


Figura 3. IS-SDS en 10 cultivares de trigo de diferente grupo de calidad y disponibilidad de nitrógeno. T: no fertilizado, F: fertilizado en macollaje con 100 Kg urea.ha<sup>-1</sup>

Al relacionar el IS-SDS con la composición proteica de las harinas puede concluirse que esta homogeneización debido a la fertilización ocurre por cambios en la composición proteica de las harinas, donde el contenido de PPI fue similar en los tres GC en las harinas de plantas fertilizadas. La concentración de PPI fue mayor en los cultivares del GC1, aunque, ante el agregado de N disminuyó y por el contrario en el GC 3 aumentó significativamente (Tabla 7). De manera que en los GC 1 y 3 hubo cambios en la composición de la fracción proteica de las harinas ante el agregado de nitrógeno coincidiendo con lo informado en otras investigaciones (Triboi et al., 2003; Fuertes-Mendizábal et al., 2010, Del Campo et al. 2017; Arreguy y Brendle, 2018, Giménez et al., 2020, Tóth et al. 2020).

El análisis de regresión lineal entre IS-SDS y la concentración de PPI fue positivo con un  $R^2$  de 0,2015 ( $p < 0,0038$ ) (Figura 3) y con PM la relación fue negativa con un  $R^2$  de 0,2064 ( $p < 0,0035$ ) (Figura 3). También se determinó un coeficiente de correlación de 0,45 ( $p < 0,0038$ ) entre IS-SDS y PPI. De manera que la mejora en la calidad panadera estimada por el IS-SDS en los cultivares del GC 3 puede asociarse con un aumento de la concentración de

PPI coincidiendo con lo informado por otros autores (Liu et al., 2012; Gimenez et al., 2020, Tóth et al., 2020).

Por otra parte, el contenido de PM en harinas varió entre el 34 y 48%, y la significancia debido al genotipo y la fertilización nitrogenada en macollaje fue diferente según los grupos de calidad (Tabla 6). La concentración de PM fue significativamente diferente entre los cultivares del GC 1 y también fue distinta la respuesta ante el agregado de nitrógeno en macollaje. Las harinas de los cultivares de los GC 2 y 3, tuvieron mayor concentración respecto del GC 1, y en los cultivares del GC 3, la concentración de PM disminuyó significativamente ante el agregado de N en macollaje (Tabla 7).

Lerner et al. (2013) sugieren que a mayor disponibilidad de nitrógeno ocurre un aumento en la fracción de gliadinas. En esta experiencia, ese resultado se observó en algunos cultivares de GC 1. Por otra parte, Triboï et al., 2003 y Martre et al., 2006, expresan que la composición proteica del grano es una función directa de la cantidad total de nitrógeno por grano. Dado que en este experimento se determinó un coeficiente de correlación de 0,45 ( $p < 0,045$ ) entre PPI con  $\text{mgN.grano}^{-1}$ , permitiría explicar los resultados observados en el GC 3, pero no los del GC1. Sin embargo, la calidad panadera no sólo depende de la concentración de proteínas poliméricas del gluten, sino también de los alelos de las combinaciones alélicas de gliadinas y gluteninas (Branlard et al., 2001; Maucher et al., 2009; de la O Olán, et al., 2011). Por ejemplo, genotipos portadores de los grupos alélicos *Glu -A3 b, c y d* y *Glu-B3 d, g y h* presentaron mayor volumen de sedimentación (Maucher et al., 2009). También, las variaciones alélicas modifican las fracciones ricas en gliadinas y gluteninas y la relación entre ambas, y aquellas asociadas a menor fuerza de gluten, estuvieron asociadas a menores niveles de proteínas poliméricas (de la O Olán et al., 2011). En función de los resultados obtenidos es importante destacar, el aporte de la fertilización nitrogenada en macollaje a la mejora de la

calidad panadera estimada por el IS-SDS. Así como Arrigoni et al. (2016), expresan que la fuerza del gluten estimada por IS-SDS, depende más de la composición de gluteninas de alto peso molecular de los cultivares que del grupo de calidad al que pertenecen, los resultados de esta investigación permiten enunciar, que este parámetro, depende más de la composición proteica de la harina que del grupo de calidad al que pertenecen los cultivares y que esa composición puede ser modificada por el aporte de nitrógeno en macollaje.

Tabla 6. Grado de significancia de las determinaciones en harinas en 10 cultivares de trigo. En las plantas fertilizadas se aplicó 100 Kg urea.ha<sup>-1</sup> en macollaje

	%PM	%PPS	%PPI	SDS
Genotipo	**	**	**	**
Fertilización	ns	ns	ns	**
Gx F	**	**	**	**

Grupo de calidad	%PM			%PPS			%PPI			SDS		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Genotipo	**	**	**	**	Ns	**	ns	**	**	**	**	Ns
Fertilización	Ns	Ns	*	Ns	Ns	Ns	*	Ns	**	ns	**	**
Gx F	**	**	**	ns	ns	**	**	ns	**	**	ns	ns

Tabla 7. Valores medios de las distintas fracciones proteicas en harinas e IS-SDS. En las plantas fertilizadas se aplicó 100 Kg urea.ha<sup>-1</sup> en macollaje

Grupo de calidad	%PM			%PPS			%PPI			SDS		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Control	38,84a	48,91a	48,16b	12,08a	8,63a	13,96a	49,09b	42,45 a	37,88a	14,65a	11,25a	8,75a
Fertilizado	41,74a	43,50a	42,48a	13,70a	10,19a	12,27a	44,56a	46,31 a	45,25b	15,57a	14,17b	15,18b

Letras diferentes indican diferencias significativas al  $p < 0,05$ . Las comparaciones son dentro de cada columna

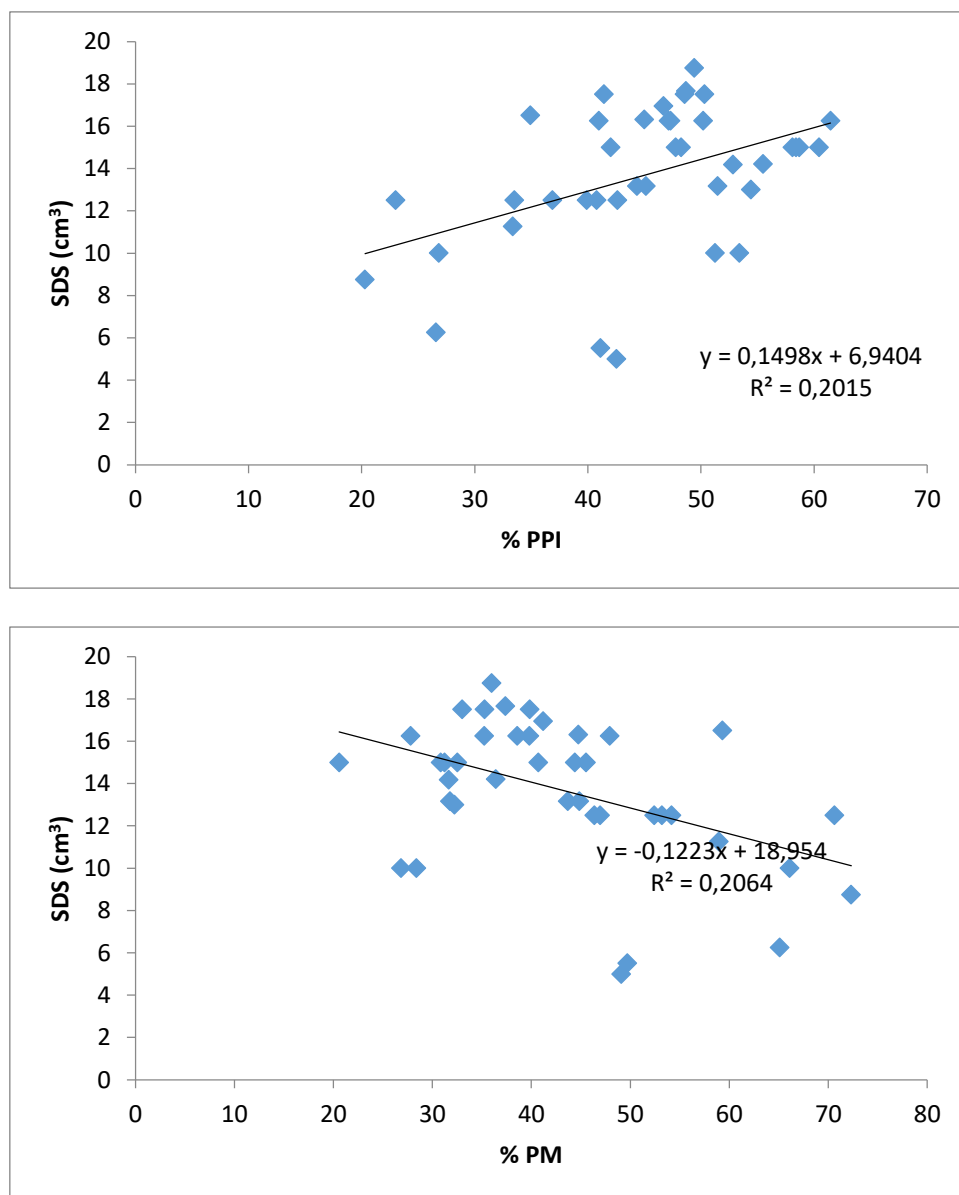


Figura 4. Regresión lineal entre IS-SDS en función de la concentración de proteínas poliméricas insolubles (PPI) y en función de la concentración de proteínas monoméricas (PM).

## CONCLUSIONES

Los datos obtenidos del contenido de nitrógeno en hoja e índice de verdor en floración, muestran que la fertilización al macollaje generó incrementos en el contenido de nitrógeno en trigo, y que, siendo valores referenciales del contenido nitrogenado, podrían justificar una fertilización nitrogenada tardía, teniendo como objetivo mejorar la expectativa de rendimiento y alcanzar valores de 11% de proteína en grano.

De los genotipos evaluados, Themix fue el de mayor número de granos.m<sup>2</sup> y rendimiento en grano, con y sin el agregado de nitrógeno, comportándose como un cultivar de alta productividad.

La concentración de proteína en grano aumentó en respuesta a la fertilización en macollaje y no estuvo asociada a el grupo de calidad de los cultivares evaluados.

La fertilización nitrogenada al macollaje permitió homogeneizar la calidad de las harinas de los cultivares de los tres GC, por efecto sobre la composición proteica de las mismas, donde el contenido de PPI fue similar en los tres GC.

En este experimento, la fertilización nitrogenada permitió estabilizar el rendimiento de todos los cultivares evaluados y optimizar la calidad del producto obtenido.

El aporte de nitrógeno en macollaje permitió que el cultivar Themix del GC 3, exprese altos rendimientos y buena calidad panadera.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos al Dr Miguel Ángel Fernández, (1963-2020), Profesor Adjunto de la Cátedra de Cereales, Facultad de Agronomía, UNLPam, por haber dispuesto parte de sus experimentos para la realización de este Trabajo Final de Graduación.

Este Trabajo Final de Graduación, fue realizado en el marco del proyecto, Mejora e indicadores de calidad panadera en *Triticum aestivum* L, en la Región Semiárida Pampeana, financiado por la Facultad de Agronomía, UNLPam.



## BIBLIOGRAFÍA

AACC International (2000). Approved Methods of American Association of Cereal Chemists, 10th Ed. Method 08 01, Method 3025 and Method 4613. The Association: St. Paul, MN.

Acuña M.L., Savin, R. Curá, J.A. and Slafer, G.A. (2005). Grain protein quality in response to changes in pre-anthesis duration in wheats released in 1940, 1964 and 1994. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191, 226-232.

Alzogaray, L.I. y Caraffini, M.N. (2018). Efecto de la fertilización nitrogenada particionada en la concentración de proteína en grano de trigo en la provincia de La Pampa. Trabajo Final de Graduación para obtener el grado de Ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía-UNLPam.

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.

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). VIII Congreso Nacional de Trigo. UNNOBA. Buenos Aires, Argentina.

Branlard, G., Dardevet, M., Saccomano, R., Lagoutte F. and Gourdon J. (2001). Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. *Euphytica* 119, 59–67.

Biolatto, M.J. (2014). Calidad comercial e industrial del trigo en La Pampa.: un abordaje actual desde los molinos harineros instalados en la provincia. Trabajo Final de Graduación. Licenciatura en Administración de Negocios Agropecuarios. Facultad de Agronomía. UNLPam.

Bono, A y R. Álvarez. (2009). Rendimiento de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. Un modelo predictivo de la respuesta a la fertilización nitrogenada. *Informaciones Agronómicas*, 41, 18-21.

Bono A. y Romano, N. (2010). Nutrición y fertilización del cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. Capítulo 5. En: El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. INTA. EEA Anguil. Publicación Técnica N° 79.

Cardoni, F. y del Río, M.J. (2017). Efecto de distintas fuentes de fertilización fosforada sobre el rendimiento y sus componentes en trigo pan (*Triticum aestivum* L.). Trabajo Final de Graduación para obtener el grado de Ingeniero agrónomo, Facultad de Agronomía, UNLPam.

Caputo, C., Criado, M.V. y Roberts, I. N. (2010). Removilización del nitrógeno en plantas de trigo como herramienta para el mejoramiento de la eficiencia de uso. *Informaciones agronómicas*, 42, 16-18.

Cuniberti, M. (2004). Propuesta de Clasificación del Trigo Argentino. IDIA XXI, INTA Marcos Juárez. 6, 21 25.

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.

de la Horra A.E., Seghezzi, M.L., Molfese, E., Ribotta, P.D. y León, A.E. (2012). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Agriscientia* XXIX (2), 81-89

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

Díaz-Zorita, M. y Grasso, A. (2021). El nitrógeno se relaciona estrechamente con la producción de trigo en la Región Pampeana. *Notas Agrícolas Pampeanas*, 3, 37-38.

Dick, J.W. and Quick, J.S. (1983). A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early-generation durum wheat breeding lines. *Cereal Chemistry*, 60 (4), 315-318.

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.

Divito, G.A., García, F.O. (compiladores y editores). (2017). Manual del cultivo de trigo. Acassuso: International Plant Nutrition Institute. p: 224. ISBN 978-987-46277-3-5 file:///C:/Users/Usuario%20Desconocido/Documents/calidad%20harinas2/Manual%20de%20Trigo%202017.pdf

Echeverría, H.E. & G.A.Studdert. (1998).El contenido de nitrógeno en la hoja bandera del trigo como predictivo del incremento de proteína en el grano por aplicaciones de nitrógeno en la espigazón. *Revista de la Facultad de Agronomía*, La Plata, 103, 27-36.

Fernández, M. A. (2007). Estrategias para mejorar el rendimiento de cereales graníferos invernales en la Región Semiárida Pampeana Central. Tesis Maestría, UNS. Bahía Blanca, Argentina.

Fernández, M. A. (2013). Estrés hídrico: sus efectos sobre el rendimiento de grano y la eficiencia de uso del agua de trigo pan (*Triticum aestivum* L.), trigo fideos (*Triticum durum* Desf.) y Triticale (X Triticosecale, Wittmack). *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 23, 7-23.

Fernández M.A. y O. Zingaretti. (2015). El uso consuntivo en el período crítico para la predicción del rendimiento en grano de trigo pan, trigo candeal y triticale en la región semiárida pampeana. *Semiárida Revista Facultad. Agronomía UNLPam*. 25(2): 29-39.

Fernández, M. A., Zingaretti, O. y Riestra D. (2019). La estabilidad de rendimiento en grano de cereales invernales en la región subhúmeda--seca pampeana. *Semiárida*, 29(1), 19-32.

Fernández, M. A, Riestra, D. y Zingaretti, O. (2020). Influencia del genotipo y la fertilización sobre el rendimiento en grano de trigo pan y su calidad en la región subhúmeda--seca pampeana. *Semiárida*, 30(1), 29-40.

Ferrari, M., Castellarín, J.M., Sainz Rozas, H.R., Vivas, H.S. Melchiori, R.J.M. y Gudelj, V.J. (2010). Evaluación de métodos de diagnóstico de fertilidad nitrogenada para el cultivo de trigo en la región pampeana. Información técnica de trigo y otros cultivos de invierno, campaña 2010. Publicación Miscelánea N° 116. INTA. Rafaela.

Fertilab. (2015). Laboratorio de Suelos. Resultados de monitoreo con spad en trigo y cebada. [http://www.laboratoriofertilab.com.ar/Paginas/Newsletters/Comunicacion\\_tecnica\\_2015\\_4.pdf](http://www.laboratoriofertilab.com.ar/Paginas/Newsletters/Comunicacion_tecnica_2015_4.pdf)

Fertilab. Laboratorio de Suelos. (2018). Newsletters. 4° Comunicación técnica [https://www.laboratoriofertilab.com.ar/Paginas/Newsletters/Comunicacion\\_tecnica\\_2018\\_4.pdf](https://www.laboratoriofertilab.com.ar/Paginas/Newsletters/Comunicacion_tecnica_2018_4.pdf).

Fuertes-Mendizábal, T., Aizpurua, A., González-Moro, M. B. and Estavillo, J. M. (2010). Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. *European Journal of Agronomy*, 33, 52-61.

Gaggioli, C., Quiroga, A. y Noellemeyer, E. (2013). Evaluación de la eficiencia de uso de agua y productividad en cultivos invernales en la región semiárida pampeana. *Revista de la Facultad de Agronomía, UNLPam*, 23 (2), 17-26.

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.

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 Fitotecnía Mejicana*, 36, 137-145.

Hurtado R., Faroni, A., Murphy, G. Serio, L. y Fernández Long, M.E. (2009). Deficiencia de agua en el suelo crítica para el rendimiento del trigo en la región pampeana argentina. *Revista Facultad de Agronomía*, UBA 1. 112.

Iglesias, D. y Iturrioz, 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.

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

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 Investigaciones Agropecuarias*, 39 (1), 77-87.

Liu, J. Liang, T., Xiong, S., Wang, J., Wang, Y., Yang, Y. and 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.

Loewy T., Bergh, R. and Echeverría, H. (2005). Nitrogen fertilization and wheat quality in the south of Buenos Aires Province. 7th International Wheat Conference 7 de Nov al 2 de diciembre, Mar del Plata, Argentina.

Loewy T. and Ron, M.M. (2008) Fertilización nitro-azufrada, expresión del índice de verdor y rendimiento del nitrógeno en trigo. VII Congreso Nacional de Trigo. Santa Rosa, La Pampa Argentina.

López-Bellido, R. J., Shepherd, C.E. and Barraclough, P.B. (2004). Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. *European Journal of Agronomy*, 20, 313-320.

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.

Martre, P., Jamieson, P. D., Semenov, M. A., Zyskowski, R. F., Porter, J. R. and Triboni, E. (2006). Modelling protein content and composition in relation to crop nitrogen dynamics for wheat. *European Journal of Agronomy*, 25, 138-154.

Maucher, T., Figueroa, J. D. C., Reule, W. and Peña, R.J. (2009). Influence of Low Molecular Weight Glutenins on Viscoelastic Properties of Intact Wheat Kernels and Their Relation to Functional Properties of Wheat Dough. *Cereal Chemistry* 86(4), 372–375.

Minig, F. y Lange, A. S. (2019). Rendimiento y calidad panadera en cultivares de trigo *Triticum aestivum* L., del grupo de calidad uno, en la provincia de La Pampa. Trabajo Final de Graduación para obtener el grado de Ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía, UNLPam.

Molfese, E.R. (2016). Caracterización de la calidad del trigo pan en el centro sur bonaerense. Ediciones INTA. p: 100. ISBN: 978-987-521-714-0.

Norma XX. Secretaría de agricultura, ganadería, pesca y alimentos. Resolución SAGPyA N° 1262/2004.

Prost, L. and M. H. Jeuffroy. (2007). Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess wheat N status. *Agronomy for Sustainable Development*, 27, 321-330.

Quiroga, A., Fernández, R., Ormeño, O. y Frasier, I. (2010). Consideraciones sobre el manejo del agua y la nutrición en trigo. 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.

Seghezzo, M.L. y Molfese, E.R. (2006). Calidad en trigo pan. Boletín Técnico N° 41. INTA Ediciones. ISSN: 0327-8735.

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

Slafer G.A., Miralles, D.J., Savin, R., Whitechurch, E.M. and González, F.G. (2004). Ciclo Ontogénico, Dinámica del Desarrollo y Generación del Rendimiento y la Calidad en Trigo. Capítulo 7. En: E.H. Satorre, R.L. Benech, G.A. Slafer, E.B. de la Fuente, D.J. Miralles, M.E. Otegui & R. Savin, Ed. Producción de Granos: Bases Funcionales para su Manejo. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. 101-132

Suchy, J., Lukow, O.M., Brown, D., DePauw, R., Fox, S. and Humphreys, G. (2007). Rapid assessment of glutenin and gliadin in wheat by UV spectrophotometer. *Crop Science*, 47, 91-99.

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

Tóth, B., van Biljon, A. and 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.

Triboï, E., Martre, P. and Triboï-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

Vázquez, D. Aptitud industrial del trigo. (2009). Serie Técnica N° 77. INIA. Editor: Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIA. Montevideo, Uruguay. ISBN: 978-9974-38-269-5.

Zadoks J.C., Chang T.T. & Konzak, F.C. (1974). A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421.

Zarrilli, A.G. (2010). Ecología, capitalismo y desarrollo agrario en la región Pampeana (1890-1950). Un enfoque histórico-ecológico de la cuestión agraria, Texto completo en [www.eumed.net/tesis/2010/agz/](http://www.eumed.net/tesis/2010/agz/)