

# 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 presentado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo

#### **Autores**

Augusto Santos Lange y Fernando Minig

#### Director

MSc. María PEREYRA CARDOZO

Cátedra de Química Biológica

#### **Co-directora**

Ing. Agr. Adriana E. QUIRIBAN

Cátedra de Química Biológica

#### **Evaluadores**

MSc. Miguel A. FERNÁNDEZ

Cátedra de Cereales y Oleaginosas

Dra. Aurora M. T. PICCA

Cátedra de Genética y Mejoramiento genético de plantas y animales

FACULTAD DE AGRONOMÍA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

SANTA ROSA – LA PAMPA – ARGENTINA –

#### i

### ÍNDICE GENERAL

	Página
Resumen	1
Introducción	3
Materiales y métodos	9
Resultados y discusión	11
Conclusiones	25
Bibliografía	26

# ÍNDICE DE TABLAS

	Página
<b>Tabla 1.</b> Disponibilidad de fósforo y nitrógeno en el suelo al momento de sembrar.	11
Tabla 2. Humedad del suelo en distintas fechas de muestreo.	12
<b>Tabla 3.</b> Precipitación mensual (mm) durante el año 2017 y valores medios del período 1975 - 2017 en el departamento Capital de la provincia de La Pampa.	12
<b>Tabla 4.</b> Temperatura media mensual (° C) y valores medios del período 1975 - 2017 en el departamento Capital de la provincia de La Pampa.	13
<b>Tabla 5.</b> Índice de verdor en hojas de seis cultivares de trigo	20
Tabla 6. Concentración de nitrógeno en hoja bandera	22

# ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Concentración de proteína en grano en la Subregión V Sud.	8
<b>FIGURA 2.</b> Rendimiento en grano (kg.ha <sup>-1</sup> ) en 6 genotipos de trigo grupo 1 de calidad cultivados en el departamento Capital de la Provincia de La Pampa.	16
FIGURA 3.Peso de 1000 granos (g) en 6 genotipos de trigo de grupo 1 de calidad cultivados en el departamento Capital de la Provincia de La Pampa.	16
FIGURA 4. Concentración de proteína en grano en seis cultivares de trigo cultivados en el departamento Capital de la Provincia de La Pampa.	18
<b>FIGURA 5.</b> Concentración de proteína en grano en 6 cultivares de trigo de grupo 1 de calidad cultivados en el departamento Capital de la Provincia de La Pampa.	19
<b>FIGURA 6.</b> Concentración de gluteninas en harina de 6 cultivares de trigo de grupo 1 de calidad cultivados en el departamento Capital de la Provincia de La Pampa.	24

#### **RESUMEN**

El experimento se llevó a campo en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. El presente trabajo tuvo como objetivo analizar el rendimiento en grano, la concentración de proteína en grano, y la composición proteica de las harinas de seis genotipos de Triticum aestivum L. del grupo de calidad 1 y diferente longitud de ciclo, sujetos a diferente disponibilidad de nitrógeno al estado de macollaje y floración. El rendimiento en grano aumentó por la aplicación de nitrógeno en macollaje y se redujo en respuesta a la aplicación nitrogenada en floración. La concentración de proteína en grano fue diferente entre los genotipos y aumentó en respuesta a la fertilización en macollaje. La composición proteica de la harina fue modificada por la disponibilidad de nitrógeno. En este experimento no fue posible determinar el efecto de la longitud del ciclo sobre el rendimiento en grano, la concentración de proteína en grano y las fracciones proteicas de la harina. Las variaciones en la composición proteica de la harina fueron debidas al genotipo y a la dosis y el momento de aplicación del nitrógeno. Se observó que los cambios en la composición proteica no estuvieron asociados a cambios en la concentración de proteína en grano. Se puso en evidencia la importancia de la disponibilidad de nitrógeno como parte del paquete tecnológico.

Palabras clave: fertilización nitrogenada, concentración de proteína en grano, fracciones proteicas de la harina

**ABSTRACT** 

Field tests were performed in the Agronomy Faculty of the Universidad Nacional de

La Pampa. The present work was aimed at analyzing grain yield, grain protein

concentration and changes in flour protein composition of six genotypes of Triticum

aestivum L. of quality group 1 and different cycle length, subjected to different availability

levels of nitrogen at tillering and flowering. Grain yield was increased by tillering nitrogen

fertilization and was reduced by foliar nitrogen application at flowering. Grain protein

concentration was different between genotypes and was increased by tillering nitrogen

fertilization. Flour protein composition was modified by both nitrogen applications.

Through this research it was not possible to determine the effect of cycle length on yield

grain and grain protein concentration. Variations in flour protein composition are mainly

because of genotypic differences and rates and timing of nitrogen nutrition. It was observed

that changes in the protein fraction composition are not associated with changes in grain

protein concentration. The importance of nitrogen availability as part of the technological

package was evidenced.

**Key words:** nitrogen fertilization, grain protein concentration, flour protein fractions.

#### **INTRODUCCIÓN**

#### El cultivo de trigo

En Argentina el trigo pan (Triticum aestivum L.) 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. De acuerdo al promedio de los últimos cinco años, 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 del año 2017 arrojó una producción de 18,5 millones de toneladas con un rendimiento promedio de 3.124 kg.ha<sup>-1</sup>. La superficie cultivada total para este ciclo agrícola se ubicó cercana a las 5,9 millones de hectáreas según cifras oficiales (INTA Marcos Juarez, MAI, 2018). 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 kg.ha<sup>-1</sup> (2009) a 2664 Kg.ha<sup>-1</sup> (2012) (Fernández y Zingaretti, 2015). Existen 8 subregiones trigueras en el país y la provincia de La Pampa forma parte de la subregión triguera V Sur. Para la campaña 2017-2018 en esta subregión, el área triguera regional volvió a acercarse a superficie históricas, 1.000.000 has aproximadamente y la producción fue de 2800 kg/ha, que representan 15,2 % sobre el total nacional para la campaña (Trigo Argentino, 2017-2018).

#### Uso de fertilizantes en Argentina

En la Argentina durante los últimos 27 años, el consumo de fertilizantes se incrementó más de 10 veces, de 300 mil toneladas en 1990 hasta 3.7 millones en el año 2017, que fue el máximo registro de consumo.

Entre los fertilizantes nitrogenados más utilizados en Argentina, la urea es el principal, con un contenido de N del 46%, bajo la forma amídica. Este debe transformarse en el suelo (hidrólisis) para estar disponible para que los cultivos lo puedan absorber bajo la forma de amonio o, preferentemente, nitrato. Para ello, el nitrógeno amídico sufre un proceso de transformación, que consta de dos etapas, la amonificación, que es el pasaje de nitrógeno amídico a amonio (NH<sub>4</sub>) y, la segunda etapa la nitrificación, que finaliza en la formación de nitrato (NO<sub>3</sub>-). Por otro lado, el UAN es el segundo fertilizante nitrogenado más utilizado en Argentina. Se trata de una solución de 50% de N-ureico, más un 25% de N-amoniacal y 25% de N-nítrico, con una concentración total de 28 a 32% en las formulaciones más utilizadas. Finalmente, el CAN es el tercer fertilizante nitrogenado más utilizado, el cual posee un contenido de 27% de N, 50% bajo la forma de N-amoniacal y 50% bajo la forma de N-nítrico (García y Salvagiotti, 2009).

# Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y la concentración de proteína en grano

El trigo, es uno de los principales cereales de invierno cultivado en la Región Semiárida Pampeana y el nitrógeno es el nutriente que más limita tanto el rendimiento, como también la calidad, haciendo que su manejo sea estratégico para la producción del cultivo.

Por cultivarse en una estación seca como el invierno, el rendimiento de trigo guarda una relación directa con el agua disponible almacenada a la siembra del cultivo. En suelos profundos, ésta puede definirse como el agua que se encuentra entre capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez (PMP) hasta 2 m de profundidad. Entonces, la disponibilidad

de agua, al condicionar el rendimiento, también lo hace con la respuesta a la fertilización nitrogenada.

El momento en que el nitrógeno está disponible para el cultivo, influye en la acumulación y partición, tanto de la materia seca, como de este elemento. Mientras que la disponibilidad temprana de nitrógeno se traduce normalmente en mejores rendimientos, su aplicación en etapas tardías puede mejorar la concentración y composición de las proteínas en el grano (Sarandón et al. 1986; Sarandón, Caldiz 1990; Sarandón, Gianibelli 1990). Sin embargo esto depende tanto de la cantidad de nitrógeno acumulado, como de la eficiencia en su partición hacia el grano, lo que puede diferir entre distintos genotipos (Sarandón, Caldiz. 1990). La fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo resulta fundamental para maximizar los rendimientos y lograr porcentajes de proteína adecuados a la demanda de la molinería local.

#### Efecto de la fertilización fosfórica:

El fósforo (P), como insumo, es un elemento estratégico de gran impacto en la producción agropecuaria. Como nutriente, a su vez, interacciona frecuentemente con el nitrógeno (N).

La fertilización fosforada en trigo es una práctica ampliamente difundida en la Argentina dentro de los cultivos extensivos de la región pampeana. La dotación de este vital elemento en el suelo, para la nutrición de los cultivos, ha venido disminuyendo drásticamente en los últimos años. Esto se ha visto agravado últimamente, por las buenas condiciones climáticas y el aporte que ha realizado la genética, por lo cual los rendimientos unitarios han venido aumentando año tras año. La fertilización se ha incrementado, pero de

ninguna manera ha llegado a equilibrar las extracciones y exportaciones de fósforo que realizan los cultivos con los granos.

La fuente es importante, en cuanto a su condición de nitrofosforada o no. En la región pampeana se utiliza al superfosfato triple (SPT), el fosfato monoamónico (PMA) y en particular, el fosfato diamónico (PDA). Este último producto, armoniza con las demandas de nitrógeno, más generalizadas en el área. A pesar del actual crecimiento, aún es incipiente el uso de fuentes líquidas.

Desde el punto de vista del sistema de aplicación, la fertilización en la banda o línea de siembra es la más difundida, presentando como ventajas, entre otras, la de colocar en un lugar estratégico a el nutriente para que las raíces lo puedan tomar, la de realizar todo en una sola operación (siembra y fertilización), etc y como desventajas, la posible fitotoxicidad cuando se usan dosis altas y el fertilizante queda en contacto con la semilla, la desuniformidad en la dotación del nutriente a lo largo y ancho del lote, etc. La técnica de fertilización fosforada en cobertura total (al voleo) en lotes que vengan en siembra directa, con buena rotación, con buena cobertura y principalmente con buenas cualidades físicas, es una alternativa más que cuentan hoy los productores de la región pampeana para fertilizar los cultivos de invierno.

En general, la adecuada nutrición del cultivo presenta un impacto positivo en sobre la eficiencia en el uso del agua (EUA), atribuido a una mejora en el crecimiento y en el rendimiento del cultivo. El P incrementa la EUA y la tolerancia de los cultivos a la sequía a través del desarrollo temprano del cultivo que reduce la evaporación del agua del suelo, favoreciendo la transpiración del cultivo, y por la mayor proliferación (exploración del

suelo) y actividad de las raíces (Micucci, 2002). También incrementa el rendimiento de grano debido a un aumento del peso del grano, consecuencia de una mayor traslocación de fotoasimilados durante el llenado del grano.

#### Calidad panadera

La calidad industrial del trigo se basa en los siguientes parámetros: el peso hectolítrico, relacionado con el rendimiento de harina; el peso de mil granos, es un fuerte indicador de rendimiento de harina, ya que el porcentaje de endosperma en el grano de trigo de una misma variedad es mayor en granos más grandes. La sequía y las altas temperaturas durante el llenado del grano, tienden a aumentar la concentración de proteínas en el grano, debido a un mayor efecto en la acumulación de almidón respecto de la acumulación de nitrógeno (Gooding et al., 2003) de manera que el incremento del peso del grano se relaciona negativamente con el contenido de proteína en grano (Triboi & Triboi-Blondel, 2002). El ambiente también puede afectar la relación de glutenina/proteína total en grano (Gooding et al., 2003) dado que la proteína insoluble aparece más temprano en condiciones de sequía y aunque la sequía después de antesis no afecta la concentración de proteína en grano, reduce la cantidad de almidón (Triboi & Triboi--Blondel, 2002). La concentración de proteínas, es una forma de medir indirectamente el contenido de gluten en el grano pero no la calidad. Las harinas destinadas a la producción de pan deben tener como mínimo un 12-13% de proteína.

En el siguiente gráfico podemos observar la notable disminución de la concentración de proteína en grano en la región de la provincia de La Pampa en las últimas campañas (fuente: Trigo Argentino)

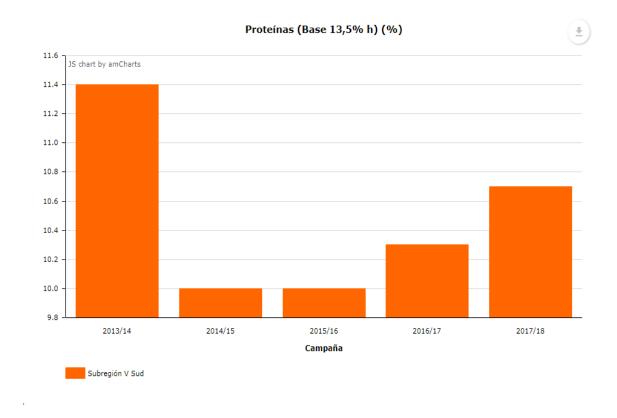


Figura 1. Concentración de proteína en grano en la Subregión V Sud. (Fuente Trigo argentino)

En el grano de trigo maduro, la distribución y la solubilidad de las proteínas monoméricas y poliméricas juegan un rol crítico en determinar las propiedades de la harina y su uso (Gupta *et al.*, 1993; Johansson *et al.*, 2001). El grano maduro de trigo, contiene entre un 8 y 20% de proteínas. Las proteínas, gliadinas y gluteninas, conforman el gluten luego de un proceso de amasado debajo de una corriente de agua y constituyen alrede-dor del 80--85% de la proteína de la harina (Shewry *et al.*, 1995) siendo responsables de las propiedades de elasticidad y extensibilidad, esenciales para el funcionamiento de las hari-nas de trigo. La síntesis de las fracciones proteicas está determinada por la cantidad de nitrógeno por grano y por el ritmo de transferencia de nitrógeno al grano.

La duración del ciclo ya sea largo, intermedio o corto afecta la duración del periodo vegetativo y se correlaciona positiva y significativamente con dos componentes del rendimiento en grano: el número de granos por espiga y el peso del grano. Por su parte, Yan & Hunt (2000) señalan que cuando los inviernos resultan más cálidos de lo habitual, suele presentar una interacción positiva con el adelanto de la madurez y la disminución en la altura de la planta, y afirman por lo tanto que, cultivares bajos y de maduración temprana alcanzan un rendimiento más alto. Cabe aclarar que, no siempre un material que florece antes también madura antes, dos genotipos pueden florecer al mismo tiempo, pero se distinguen en cuanto a la duración del periodo en el que llenan sus granos. Al respecto, Regan*et al.* (1997) señalan que los cultivares de ciclo corto usan menos agua antes de la floración y más después de esta, estando sujetos a un menor estrés que los cultivares de ciclo largo durante el llenado del grano.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de la longitud del ciclo y la fertilización nitrogenada en cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) del grupo de calidad 1 (trigos de alta calidad panadera, correctores de otros de inferior calidad, indicados para el método de panificación industrial) cultivados en el departamento Capital de la Provincia de La Pampa.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

#### Condiciones de crecimiento

El experimento se desarrolló en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. Se evaluaron los siguientes genotipos de trigo (*Trtiticum aestivum* L): ACA 601 y Klein Rayo (ciclo corto), Baguette Premium 13

y Klein Proteo (ciclo intermedio a corto), ACA 315 (ciclo intermedio a largo) y Klein Yarará (ciclo largo), todos grupo de calidad 1.

Se trabajó en parcelas de 1,4 m de ancho (7 surcos a 0,2 m entre hileras) y 6 m de largo, es decir de una superficie de 8,4 m². A la siembra se incorporó 50 Kg ha¹¹ de P₂O₅ como superfosfato triple de calcio (0-46-0). Al estado de macollaje se aplicó urea a la mitad de la parcela, en una dosis de 100 kg urea.ha¹¹. Al inicio de floración, el 7 de noviembre por aplicación foliar se incorporaron 20 kg urea.ha¹¹.

#### Índice de verdor y concentración de nitrógeno en hojas

Dos días después de las emergencias de las espigas, Z 51 (Zadoks *et al* 1974), en cada subparcela se determinó, en cinco plantas, en la última hoja totalmente desarrollada el índice de verdor con un SPAD-502 posteriormente, las hojas fueron cosechadas y secadas a 60°C hasta peso constante y molidas hasta pasar por una malla de 1 mm para cuantificar el porcentaje de nitrógeno total por Kjeldahl. Al estado de grano lechoso, Zadoks 73 (Zadoks *et al* 1974), se repitieron las mediciones realizadas en Z51.

#### Componentes del rendimiento

A la madurez del cultivo se cosecharon las espigas de 0,5 m² de cada tratamiento. Las espigas fueron trilladas con una máquina estática para determinar el rendimiento en grano y el peso de mil granos.

#### Concentración de proteína en grano y composición proteica de la harina

Se determinó la concentración de proteína en grano por near -infrared scanning (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. Lo que pasó a través del tamiz se definió como harina blanca y en ésta se determinó la concentración de proteínas monoméricas (PM) (fracción rica en gliadinas), gluteninas solubles (GS) y la gluteninas insolubles (GI) respecto del total total de proteínas solubles (TPS) presentes en la harina, siguiendo el fraccionamiento propuesto por Sapirstein & Fu, (1998), y su cuantificación según la metodología de Suchy *et al.* (2007).

#### Análisis estadístico

Se trabajó con un diseño en bloques completamente aleatorizados y tres repeticiones. Los factores principales fueron genotipo y disponibilidad de nitrógeno al estado de macollaje y en floración. Los resultados fueron analizados por ANOVA mediante el InfoStat (Di Rienzo., *et al* 2008).

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### Condiciones de crecimiento

En el momento de la siembra se determinó en el suelo la concentración de fósforo y de nitratos (Tabla 1) y el contenido de humedad (Tabla 2).

**Tabla 1.** Disponibilidad de fósforo y nitrógeno en el suelo al momento de sembrar.

Fecha	Análisis	Profundidad	Concentración
27/07/2017	P Bray 1	0-20 cm	17.6 ppm
27/07/2017	N-NO <sub>3</sub>	0-30 cm	6.8 ppm
27/07/2017	N-NO <sub>3</sub> -	30-60 cm	5.0 ppm

Datos brindados por la Cátedra de Cereales y Oleaginosas de la Facultad de Agronomía, UNLPam.

**Tabla 2.** Humedad del suelo en distintas fechas de muestreo (agua útil cada/30 cm expresada en mm)

Profundidad	27/07/2017	19/09/2017	23/10/2017	10/11/2017	21/12/2017
0-30 cm	41,10	43,36	19,01	48,32	14,84
30-60 cm	54,77	44,61	22,37	40,70	11,76
60-100 cm	79,25	67,91	41,81	41,45	19,96
100-140 cm	81,58	84,24	70,36	47,40	24,67
Agua útil	256,69	240,12	153,55	177,87	71,23

Datos brindados por la Cátedra de Cereales y Oleaginosas de la Facultad de Agronomía, UNLPam.

Las precipitaciones durante el año 2017 fueron ampliamente superiores a la media histórica y las temperaturas medias registradas se encontraron dentro de los valores medios de la región (Tabla 3 y 4). Las condiciones hídricas fueron adecuadas durante el ciclo del cultivo de trigo, con precipitaciones de 326,4 mm en Santa Rosa para el período julio – diciembre (Tabla 3).

**Tabla 3.** Precipitación mensual (mm) durante el año 2017 y valores medios del período 1975 - 2017 en el departamento Capital de la provincia de La Pampa.

AÑO	EN	FB	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SP	ос	NV	DC	AÑO
2017	71,7	93,3	320,7	165,7	103,7	69,3	27,9	25,9	92,9	34,9	88,3	56,5	1150,8
Media (1975-2017)	87,0	84,8	96,2	64,6	33,5	16,4	19,6	26,1	46,3	81,3	84,8	95,7	736,3

Datos aportados por la Cátedra de Agrometeorología, Facultad de Agronomía, UNLPam

**Tabla 4.** Temperatura media mensual (°C) y valores medios del período 1975 - 2017 en el departamento Capital de la provincia de La Pampa

AÑO	EN	FB	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SP	oc	NV	DC	AÑO
2017	24,8	23,7	19,9	15,3	11,9	9,2	9,8	10,7	12,3	15,0	17,7	22,4	16,1
Media (1975-2017)	23,4	22,2	19,7	15,4	11,5	8,3	7,8	9,9	12,4	15,8	19,2	22,2	15,6

Datos aportados por la Cátedra de Agrometeorología, Facultad de Agronomía, UNL Pam

De la Tabla 3 surge que el total de precipitaciones anuales fue suficiente para el requerimiento del cultivo. La disponibilidad de agua es un factor muy importante en la determinación del rendimiento; tanto en el total de agua consumida como en la distribución del consumo del agua a través del ciclo del cultivo. Con 300 mm de agua consumidos durante el ciclo total, y distribuidos de acuerdo al consumo necesario en cada etapa ontogénica del cultivo, se pueden obtener los máximos rendimientos en el departamento Capital de la provincia de La Pampa (Fernández, 2013). En trigo el período crítico para la definición del rendimiento ocurre 31,7 ± 2,7 días previo a antesis, coincidente aproximadamente con el mes de octubre en el departamento Capital de la provincia de La Pampa (Fernandez & Zingaretti, 2015). En la Tabla 3 se observa, que aunque las precipitaciones durante octubre fueron menores a la media, no hubo limitaciones debido al agua acumulada. En consecuencia, el experimento se llevó a cabo bajo adecuadas condiciones de disponibilidad hídrica y permitió evaluar el efecto del agregado de nitrógeno.

#### Componentes del rendimiento

#### Rendimiento

El rendimiento fue diferente entre los genotipos estudiados y aumentó por el agregado de nitrógeno en macollaje, disminuyendo por la fertilización nitrogenada en floración (Figura 1).

Los valores medios de rendimiento (kg.ha<sup>-1</sup>) fueron 2065,75; 2731,96; 2972,75; 3708,46; 3717 y 3766,04 para Klein Proteo, ACA 601, Klein Yarará, ACA 315, Klein Rayo y Baguette Premium 13 respectivamente. Estos valores de rendimiento se encuentran dentro de los valores medios para la región, por otra parte, el genotipo, Klein Proteo, de menor rendimiento, coincide con lo observado por Arreguy & Brendle (2018).

Los valores medios de rendimiento por la aplicación de nitrógeno en macollaje se modificaron significativamente (p<0,05) pasando de 2761,57 a 3559,08 kg.ha<sup>-1</sup> mientras que ante el agregado de nitrógeno en floración el rendimiento se redujo significativamente (p<0,05) pasando de 3377,68 a 2942,97 kg.ha<sup>-1</sup>. Comparando fertilización al macollaje (F/NF) y fertilización en floración (NF/F) se observa una disminución del rendimiento para este último tratamiento en todos los genotipos pero es significativamente menor en Baguette Premium 13, ACA 315 y Klein Rayo; y no se evidencia diferencias significativas entre testigo (NF/NF) y fertilización a floración (NF/F) en 4 de los 6 genotipos evaluados. Estos resultados podrían deberse a un efecto del lavado/lixiviación/ pérdida del nitrógeno aplicado en floración por las precipitaciones registradas en octubre y noviembre (tabla 3). Puede que no haya efecto "acumulado" de la fertilización en floración por pérdida del fertilizante por lavado, así lo refleja la no variación en el rinde respecto al testigo, excepto

Baguette Premium 13 y Klein Rayo, que disminuye si se compara F/NF y F/F no hay diferencias estadísticas entre tratamientos para cada genotipo, excepto Baguette P.13 que disminuye significativamente. Si se compara F/NF y F/F no hay diferencias estadísticas entre tratamientos para cada genotipo, excepto Baguette Premium 13 que disminuye significativamente. Este último resultado es diferente a lo observado por Alzogaray y Caraffini (2018), quienes en un experimento similar informaron un incremento del 13% del rendimiento en grano al aplicar 20 Kg nitrógeno.ha<sup>-1</sup> en floración. Por lo que en este experimento el efecto sobre el rendimiento está dado por el aporte de la fertilización al macollaje y una pérdida del nitrógeno aplicado en floración.

Dado que la fertilización nitrogenada en macollaje no modificó el peso de los 1000 granos, podemos sugerir que el incremento del rendimiento en respuesta al agregado de nitrógeno en macollaje pudo deberse a un incremento en el número de granos. El número de granos es el principal componente que determina el rendimiento en grano (Peltonen-Sainio *et al.*, 2007). Además Fernández *et al.* (2015) determinaron que los componentes espigas.m² y número de granos.espiga¹¹ fueron los de mayor asociación con el rendimiento en grano en trigo en la Región semiárida pampeana (RSP).

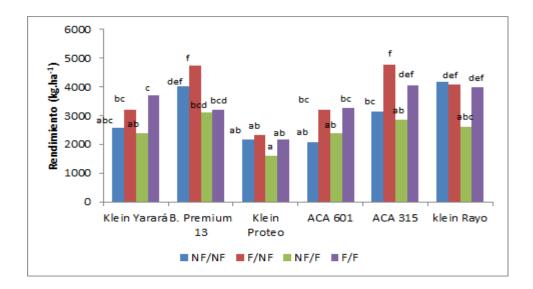


Figura 2. Rendimiento en grano (kg.ha<sup>-1</sup>) en 6 genotipos de trigo de grupo calidad 1 cultivados en el departamento Capital de la provincia de La Pampa. NF/NF: no fertilizada en macollaje ni en floración, F/NF: Fertilizada en macollaje y no fertilizada en floración, NF/F: no fertilizada en macollaje y fertilizada en floración, F/F: fertilizada en ambos momentos fenológicos. Letras diferentes indican diferencias significativas p<0,05.

#### Peso de 1000 granos

El peso de 1000 granos fue diferente (p<0,05) entre los genotipos (Figura 3) y no se modificó por el agregado de nitrógeno en macollaje ni en floración.

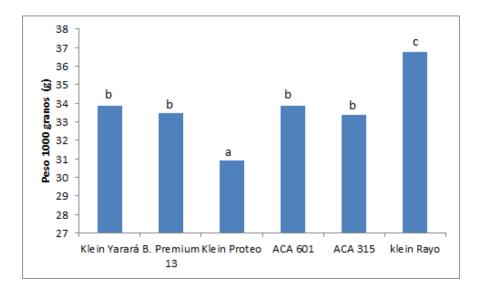


Figura 3. Peso de 1000 granos (g) en 6 genotipos de trigo de grupo 1 de calidad cultivados en el departamento Capital de la Provincia de La Pampa.

El menor peso de grano del genotipo Klein Proteo podría asociarse con el menor rendimiento (Figura 2) respecto de los otros genotipos. Aunque Klein Rayo expresó el mayor valor de peso de grano, el rendimiento fue similar al de ACA 315 y Baguette Premium 13 y no se encontró relación entre el peso de los granos y la longitud del ciclo del cultivar.

La falta de respuesta de este componente del rendimiento, también fue observada por Arreguy & Marzo (2014), quienes trabajaron con ACA 601 y Baguette Premium 13, aunque informaron valores de mayor peso de grano. Estos autores evaluaron la importancia de la tasa de llenado y la duración del período de llenado de grano, concluyendo que lo significativo para la región semiárida pampeana es la tasa de llenado del grano. De manera que para esta zona, el mejoramiento de los cereales invernales no debería descartar un tamaño de grano grande ya que compensarán el llenado de los granos en un mismo período con una tasa de llenado superior. En este experimento, Klein Rayo, tuvo el mayor tamaño de grano, sin embargo, su rendimiento fue similar a ACA 315 y Baguette P. 13, de manera que estos dos genotipos, quizás compensen con la duración del período de llenado de grano.

#### Concentración de proteína en grano.

En la concentración de proteína en grano se observó que el genotipo Klein Proteo fue el de mayor concentración de proteína en grano, similar a lo informado por Alzogaray & Caraffini (2018) y fue el único genotipo que alcanzó el 11% de proteína en grano (Figura 4). Por otra parte, fue evidente la baja concentración expresada por el genotipo ACA 315, lo cual difiere de resultados obtenidos en otros experimentos (Alzogary & Caraffini, 2018; Arreguy & Brendle, 2018). En este experimento, Klein Proteo fue el cultivar que expresó el

menor rendimiento y la mayor concentración de proteína en grano. Otros investigadores que también trabajan en la región semiárida Pampeana han informado que los menores rendimientos de estos suelos se tradujeron en un mayor contenido de proteína en grano, alcanzando el 11% (Dillchneider *et al.*, 2019).

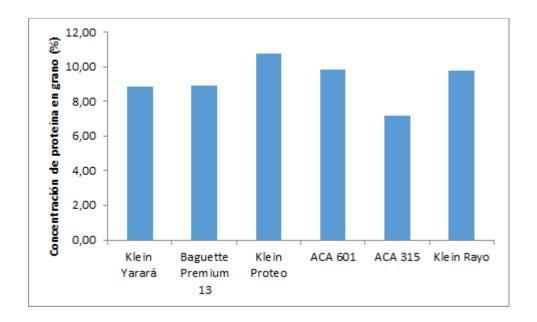


Figura 4. Concentración de proteína en grano en seis cultivares de trigo cultivados en el departamento Capital de la Provincia de La Pampa.

Por otra parte, con respecto al momento de aplicación de la fertilización nitrogenada se observó que la fertilización en macollaje es la determinante de la concentración de proteína en grano, coincidiendo con lo observado por Alzogary & Caraffini (2018). La respuesta de la concentración de proteína en grano, de los genotipos en estudio a la aplicación de nitrógeno en macollaje fue diferente, dado que se expresaron incrementos del 8, 12, 11,21,10 y 13% en Klein Yarará, Baguette Premium 13, Klein Proteo, ACA 601, ACA 315 y Klein Rayo respectivamente (Figura 5). La falta de respuesta a la aplicación

foliar de nitrógeno en floración puede deberse a la pérdida de nitrógeno por lavado, similar a lo ocurrido con el rendimiento.

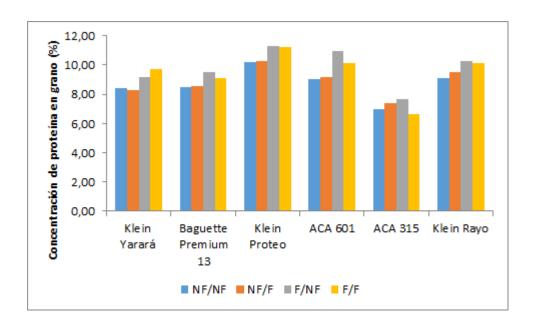


Figura 5. Concentración de proteína en grano en 6 cultivares de trigo de grupo 1 de calidad cultivados en el departamento Capital de la Provincia de La Pampa. Plantas no fertilizadas (NF/NF), no fertilizadas en macollaje y fertilizadas en floración con 20 kg.ha<sup>-1</sup> de urea foliar (NF/F), fertilizadas en macollaje con una dosis de 100 Kg.urea<sup>-1</sup> y no fertilizadas en floración (F/NF) y fertilizadas en macollaje y floración (F/F).

#### Índice de Verdor

Fue evaluado el índice de verdor y la concentración de nitrógeno en hoja dado varios autores han sugerido que estas variables podrían ser de utilidad para estimar la concentración de proteína en grano (Tindall *et al.*, 1995; Echeverría & Studdert, 1998; Gandrup *et al.*, 2004).

El índice de verdor se muestra en la Tabla 5. En Z51 hubo diferencias significativas (p<0,05) debido al genotipo y el agregado de nitrógeno en macollaje. Siendo el genotipo Klein Rayo el que expresó los valores mayores, mientras que por la aplicación de

nitrógeno los valores medios de SPAD pasaron de 36,20 a 38,85 en hojas de plantas no fertilizadas y fertilizadas respectivamente.

Tabla 5. Índice de verdor en hoja bandera en seis genotipos de trigos cultivados a campo bajo diferente disponibilidad de nitrógeno. Los muestreos realizados en Z51 se hicieron sobre plantas no fertilizadas (NF) y fertilizadas con una dosis de 100 Kg.urea<sup>-1</sup> en macollaje (F). Los muestreos realizados en Z73 se hicieron en plantas no fertilizadas (NF/NF), no fertilizadas en macollaje y fertilizadas en floración con 20 kg.ha<sup>-1</sup> de urea foliar (NF/F), fertilizadas en macollaje con una dosis de 100 Kg.urea<sup>-1</sup> (F/NF) y plantas que fueron fertilizadas en macollaje y floración (F/F). Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05).

Índice de Verdor (unidades SPAD)

	<b>Z</b> 51			<b>Z73</b>		_
	NF	F	NF/NF	NF/F	F/NF	F/F
Klein Yarará	32,79 a	34,61 a	24,41 cde	25,05 cdef	24,57 cde	20,63 bc
Baguette P. 13	31,76 a	36,52 b	29,25 efgh	28,28 efgh	29,23 efgh	30,58 fghi
Klein Proteo	36,45 b	36,05 b	21,54 bc	13,26 a	28,17 efg	16,45 ab
ACA 601	34,15 a	38,93 b	21,84 bcd	21,25 bc	20,90 bc	27,29 defg
ACA 315	37,45 b	39,54 b	32,05 ghi	28,09 efg	35,41 i	33,79 hi
Klein Rayo	42,32 c	44,25 с	24,21 cde	24,49 cde	27,77 efg	32,19 ghi

En Z73 hubo efecto significativo (p<0,05) del genotipo y de la fertilización nitrogenada aplicada en macollaje. Los valores medios de IV fueron 19,25; 22,82; 23,67; 27,17; 29,34; 32,33 para Klein Proteo, ACA 601, Klein Yarará, Klein Rayo, Baguette Premium 13 y ACA 315, respectivamente. En este momento fenológico, si bien Klein Rayo, está entre los cultivares de mayor valor medio de IV, el genotipo ACA 315 expresó

el mayor valor estadísticamente diferente (p<0,05) del resto. Por otra parte, el valor medio de IV pasó de 24,48 a 27,25 en plantas no fertilizadas y fertilizadas en macollaje respectivamente. La variación genotípica coincide con lo observado por (Le Bail *et al.*, 2005; Prost & Jeuffroy, 2007). También es interesante destacar que los valores medios de SPAD en Z 73 están asociados con los valores de rendimiento obtenidos. Los genotipos que expresaron mayor rendimiento en grano ACA 315, Klein Rayo y Baguette Premium 13, fueron los que tuvieron mayor valor de SPAD en Z73.

Es interesante observar la reducción del IV en función de la edad de la hoja al comparar los valores medios obtenidos en Z51 y en Z73. Esta reducción coincide con lo observado por Gandrup *et al.* (2004) y Del campo *et al.* (2017) y este efecto no fue reducido por la aplicación de nitrógeno.

#### Concentración de nitrógeno en hoja

La concentración de nitrógeno en hoja fue similar entre los genotipos y aumentó ante el agregado de nitrógeno en macollaje (Tabla 6). Los valores medios fueron 2,54; 2,57; 2,58; 2,62; 2,63 y 2,69 para ACA 315, Klein Yarará, Baguette Premium 13, Klein Rayo, ACA 601 y Klein Proteo respectivamente.

Tabla 6. Concentración de nitrógeno (%) en hoja bandera en seis genotipos de trigos cultivados a campo bajo diferente disponibilidad de nitrógeno. Los muestreos realizados en Z51 se hicieron sobre plantas no fertilizadas (NF) y fertilizadas con una dosis de 100 Kg.urea<sup>-1</sup> en macollaje (F). Los muestreos realizados en Z73 se hicieron en plantas no fertilizadas (NF/NF), no fertilizadas en macollaje y fertilizadas en floración con 20 kg.ha<sup>-1</sup> de urea foliar (NF/F), fertilizadas en macollaje con una dosis de 100 Kg.urea<sup>-1</sup> (F/NF) y plantas que fueron fertilizadas en macollaje y floración (F/F). Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05).

Concentración de nitrógeno en hoja (%)										
	Z51									
	NF	F	NF/NF	NF/F	F/NF	F/F				
Klein Yarará	2,42 ab	2,72 de	1,28 ab	1,63ef	1,54bc	1,56cd				
Baguette P. 13	2,30 a	2,85 e	1,57de	1,47bc	1,71fg	1,80hi				
Klein Proteo	2,54 bcd	2,83 e	1,30abc	1,29abc	1,73fg	1,85ij				
ACA 601	2,50 bc	2,76 e	1,21a	1,45ab	1,62ef	1,62ef				
ACA 315	2,39 ab	2,69 de	1,60ef	1,31abc	1,66ef	1,76hi				
Klein Rayo	2,55 bcd	2,68 cde	1,21a	1,40abc	1,77hi	1,91j				

El medidor de clorofila ha sido reconocido como una herramienta para detectar deficiencias y monitorear el status 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) y el índice de nutrición de nitrógeno (INN) (Prost & Jeuffroy, 2007; Yildirim *et al.*, 2011).

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, valores de SPAD de 48, para alcanzar un 11% proteína en grano. Por ello, estas variables fueron determinadas en este estudio. Arreguy & Brendle (2018) estimaron en trigo, que se requiere una concentración de nitrógeno en hoja del 4 % y valores de SPAD de 46, en Zadoks 73, para alcanzar un 11% de proteína en grano. Dado que en este experimento estos valores no se alcanzaron, esta respuesta puede asociarse a los bajos valores de concentración de proteína en grano obtenidos.

#### Composición proteica de la harina

Diferentes autores han sugerido que la composición proteica depende del genotipo y factores ambientales tales como la disponibilidad de nitrógeno (Peña, 2001).

En este experimento se encontraron diferencias genotípicas respecto de la concentración de gluteninas, siendo ACA 315 el de menor valor y hubo un incremento del 14% en respuesta a la fertilización en macollaje y del 19% por la aplicación foliar en floración. De todas las variables estudiadas en este experimento, es para la única, que surge la importancia de la aplicación de nitrógeno en floración.

Los cambios en la composición de las fracciones no están asociados a cambios en la concentración de proteína en grano (Giménez, 2019) y también expresa esta autora que el momento de aplicación y la dosis de nitrógeno modificaron la concentración de las distintas fracciones proteicas en la harina. Aquellos tratamientos con mayor concentración de gluteninas insolubles y mayor relación de gluteninas insolubles respecto de las proteínas monoméricas, mostraron mejores parámetros reológicos de calidad panadera.

Arreguy y Brendle (2018) informaron que la fertilización nitrogenada en macollaje mejoró los propiedades reológicas de la harina estimadas por el mixograma, poniendo en evidencia que la fertilización nitrogenada como parte del paquete tecnológico de la producción de trigo permite mejorar la calidad industrial de las harinas.

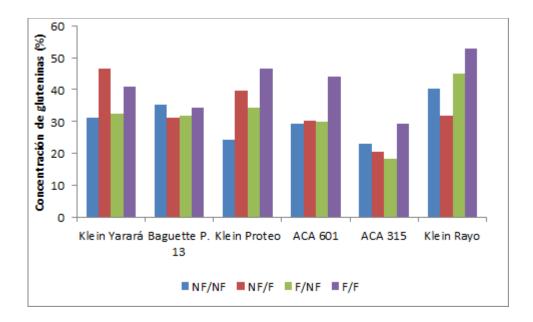


Figura 6. Concentración de gluteninas (expresada como porcentaje de la proteína total soluble) en harina de 6 cultivares de trigo de grupo 1 de calidad cultivados en el departamento Capital de la Provincia de La Pampa. Plantas no fertilizadas (NF/NF), no fertilizadas en macollaje y fertilizadas en floración con 20 kg.ha<sup>-1</sup> de urea foliar (NF/F), fertilizadas en macollaje con una dosis de 100 Kg.urea<sup>-1</sup> y no fertilizadas en floración (F/NF) y fertilizadas en macollaje y floración (F/F).

#### **CONCLUSIONES**

En este experimento encontramos que el efecto sobre el rendimiento está dado por el aporte de la fertilización al macollaje y una pérdida del nitrógeno aplicado en floración. Por otra parte, los valores medios de SPAD en Z73 estuvieron asociados con el rendimiento.

La concentración de proteína fue determinada por la fertilización en macollaje, y la composición proteica de la harina se modifica en respuesta al agregado de nitrógeno, ocurriendo un incremento de la fracción de gluteninas, proteínas de mayor peso molecular y responsables de la fuerza de la masa.

La concentración de proteína en grano fue diferente entre los genotipos y aumentó en respuesta a la fertilización en macollaje. En este experimento no fue posible determinar el efecto de la longitud del ciclo sobre el rendimiento en grano, la concentración de proteína en grano y las fracciones proteicas de la harina. Las variaciones en la composición proteica de la harina fueron debidas al genotipo y a la dosis y el momento de aplicación del nitrógeno. Se observó que los cambios en la composición proteica no estuvieron asociados a cambios en la concentración de proteína en grano. Se puso en evidencia la importancia de la disponibilidad de nitrógeno como parte del paquete tecnológico.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

Alzogaray, L. & M.N. Caraffini. 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 título de Ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía. UNLPam.

Arreguy, D. & A. Brendle. 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 título de Ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía. UNLPam.

Arreguy, M.M. & L.N. Marzo. 2014. Efecto del genotipo y la fertilidad sobre el llenado de los granos de los cereales invernales. Trabajo Final de Graduación para obtener el título de Ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía. UNLPam.

Del Campo, N., M. Serra, A. Quiriban, M. Castaño, M.A. Fernández & M. Pereyra Cardozo. 2017. Rendimiento y composición proteica del grano de trigo, *Triticum aestivum* L, en respuesta a condiciones contrastantes de disponibilidad de agua y nitrógeno en inicio de floración. Semiárida Rev. Fac. Agron. UNLPam 27: 39-53.

Dillchneider, A., I. Frasier, D. Funaro, R. Fernández & A. Quiroga. (2019). Estrategias de fertilización nitrogenada para incrementar el rendimiento y proteína de trigo en la región semiárida pampeana. Semiárida, 29: 53--62.

Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M.Tablada M. & C. W. Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Echeverría, H. E. y G.A. Studdert. 1998. El contenido de nitrógeno en la hoja bandera del trigo como predictivo del incremento de proteína en el grano por aplicaciones de nitrógeno en la espigazón. Rev. Fac. Agron. La Plata 103: 27-36.

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). Rev. Fac. Agron. UNLPam. 23(1): 7-23.

Fernández, M.A., O. Zingaretti, R. Stefanazzi, D. Riestra, D. Alí & M. Knudtsen. 2015. La estabilidad del rendimiento en grano de los cereales invernales en la región semiárida pampeana. Jornadas de Ciencia y Técnica de la Facultad de Agronomía. UNLPam. Semiárida Rev. Fac. Agron. UNLPam 25:58.

Fernández M.A. & 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 Rev. Fac. Agron. UNLPam. 25(2): 29-39

Garcia, F. O. F. Salvagiotti. 2009. Eficiencia de uso de nutrientes en sistemas agrícolas del cono sur de la Latinoamérica.

Gandrup, M.E., F. O. García, K. P. Fabrizzi & H.E. Echeverría. 2004. Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. RIA. 33:105-121.

Giménez, M. S. 2019. Calidad panadera y composición proteica de harina de trigo ante el agregado de nitrógeno en la provincia de La Pampa. Trabajo Final de graduación para obtener el título de Ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía, UNLPam.

Gooding, M.J.; R.H. Ellist, P.R. Shewry & J.D. Schofield. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. J. Cereal Sci. 37: 295-309.

Gupta, R. B., K. Khan & F. MacRitchie.. 1993. Biochemical basis of flour properties in bread wheats. I. Effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein. J. Cereal Sci. 18: 23-41-

Johansson, E., M. L. Prieto-Linde & J,O.Jönsson. 2001. Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. Cereal Chem. 78: 19-25.

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

López-Bellido, R. J., C.E. Shepherd & P.B. Barraclough. 2004. Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. Europ. J. Agron 20: 313-320.

López, F. M. M. Duval, J. Galantini & J. Martinez. 2009 Fertilización en trigo en la zona semiarida: Su influencia sobre el rendimiento y eficiencia en el uso del N y del agua.

Micucci F. & C. Álvarez. 2002. Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua en los cultivos extensivos de la región pampeana argentina. Archivo Agronómico No 6, Informaciones Agronómicas del Cono Sur No 15. INPOFOS Cono Sur, Argentina.

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

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

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

Regan K. L., Siddique K. H. M., Tennant D. y Abrecht D. G. 1997. El rendimiento de grano y la eficiencia del uso del agua del trigo de maduración temprana en ambientes mediterráneos de baja precipitación. Australian Journal of Agricultural Research 48: 595-604.

Sarandón S.J. & D.O. Caldiz. 1990. Effects of varying N supply at different growth stages on N uptake and nitrogen partitioning efficiency in two wheat cultivars. Fertilizer Research 22: 21-27.

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

Shewry, P.R., J A. Napier, & A. S. Tatham. 1995. Seed Storage proteins: Structures and biosynthesis. Plant Cell 7: 945-956.

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

Suchy, J.; O.M. Lukow, D. Brown, R. DePauw, S. Fox & G. Humphreys. 2007. Rapid assessment of glutenin and gliadin in wheat by UV spectrophotometer. Crop Sci. 47, 91-99. Tindall, T.A.; J.C.Stark and R.H. Brokks. 1995. Irrigated spring wheat response to topdressed nitrogen as predicted by flag leaf nitrogen concentration. J. Prod. Agric. 8:46-52.

Triboi, E. & A.M.Triboi-Blondel. 2002. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem. Eur. J. Agron. 16: 163-186.

Yan W. & L. A. Hunt. 2001. Interpretation of genotype environment interaction for Winter wheat yield in Ontario. Crop Science 41:19-25.

Yildirim, M., H. Kilic, E. Kendal & T. Karahan. 2011. Applicability of chlorophyll meter readings as yield predictor in durum wheat. J. Plant Nut. 34: 151-164.

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