

ATRIBUTOS DE CALIDAD DEL GRANO Y LA SÉMOLA DE TRIGO CANDEAL CULTIVADO EN EL DEPARTAMENTO CAPITAL DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA

Quiriban, Adriana E.¹, Sidebottom, Federico A.¹, García Antúnez, Franco¹, Castaño, Mirta¹, Fernández, Miguel A.¹ y Pereyra Cardozo, María¹✉

¹ Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía, La Pampa, Argentina
@ pereyra@agro.unlpam.edu.ar

Recibido: 06/07/2021
Aceptado: 16/11/2021

RESUMEN. Los cereales de invierno son importantes en la producción agropecuaria de la región semiárida pampeana central y dentro de ellos el más difundido es el trigo pan (*Triticum aestivum* L.). En esta zona no se cultiva aún el trigo candeal (*Triticum durum* Desf), aunque es un cultivo con buena performance para zonas semiáridas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad industrial del grano y la sémola de cuatro genotipos de trigo candeal cultivados en el departamento Capital de la provincia de La Pampa, Argentina, bajo diferente disponibilidad de nitrógeno. Se trabajó a campo con cuatro genotipos: Bonaerense INTA Cariló, Ciccio, Buck Cristal y Concadoro y dos niveles de disponibilidad de nitrógeno en macollaje y floración. Se observó diferencias entre los genotipos en todas las variables estudiadas. La fertilización nitrogenada aumentó en algunos genotipos la concentración de proteína en grano y la vitreosidad. El porcentaje de vitreosidad y el contenido de pigmento amarillo fueron bajos y en la masa de sémola hubo una alta pérdida de pigmento por el procesamiento asociado a la actividad de la lipoxigenasa. La sémola tuvo una alta relación glutenin/gliadinas, indicando que se trataría de un gluten fuerte. Estos resultados pusieron en evidencia que los atributos de calidad del grano y la sémola fueron satisfactorios, aunque es necesario continuar generando información de la calidad industrial, evaluando la respuesta de otros cultivares, particularmente eligiendo genotipos que permitan la optimización de la fertilización nitrogenada en la provincia de La Pampa.

PALABRAS CLAVE: fertilización nitrogenada; parámetros de calidad;

ABSTRACT. QUALITY ATTRIBUTES OF GRAIN AND SEMOLINA CANDEAL WHEAT GROWN AT CAPITAL DEPARTMENT IN LA PAMPA PROVINCE. Winter cereals are important in the agricultural production of the semi-arid central Pampas region and among them the most widespread is bread wheat (*Triticum aestivum* L.). In this area, durum wheat (*Triticum durum* Desf) is not yet cultivated, although it is a crop with good performance for semi-arid zones. Grain and semolina industrial quality of four genotypes of wheat durum cultivated in the Capital department in the province of La Pampa, Argentina, under different nitrogen availability were analyzed. Field work was carried out with four genotypes: Bonaerense INTA Cariló, Ciccio, Buck Cristal and Concadoro and two levels of nitrogen availability in tillering and flowering. There were significant differences among cultivars in all studied characteristics. Nitrogen fertilization increased in some genotypes grain protein concentration and vitreousness. The percent of vitreousness and the yellow pigment content were low, and in the semolina dough there was a high loss of pigment due to the processing associated with the lipoxigenasa activity. Semolina had a high glutenin/gliadin ratio indicating that it would be strong gluten. These results showed that grain and semolina quality attributes were satisfactory although it is necessary to continue generating industrial quality information, evaluating the response of others cultivars particularly, chosen genotypes that allow the optimization of nitrogen fertilization in La Pampa province.

KEY WORDS: nitrogen fertilization; quality parameters;

Cómo citar este trabajo:

Quiriban, A. E., Sidebottom, F. A., García Antúnez, F., Castaño, M., Fernández, M. A. y Pereyra Cardozo, M. (2022). Atributos de calidad del grano y la sémola de trigo candeal cultivado en el departamento capital de la provincia de La Pampa. *Semiárida*, 32(1), 27-40.

INTRODUCCIÓN

Los cereales de invierno son importantes en la producción agropecuaria de la Región Semiárida Pampeana Central y el más



difundido es el trigo pan (*Triticum aestivum* L.). En esta zona no se cultiva aún el trigo candeal (*Triticum durum* Desf.) (Lorda et al., 2001), sin embargo, se han realizado numerosos trabajos a nivel local para evaluar la adaptación y el rendimiento del mismo en la región (Fernández, 2008; Fernández, 2013; Fernández y Zingaretti, 2015; Fernández et al., 2019), ya que es cultivado en zonas de alta variabilidad hídrica y es considerado más tolerante a la sequía que el trigo pan (Bozzini, 1988). En este sentido, Fernández (2008) considera que como alternativa al trigo pan, podrían considerarse genotipos no tradicionales para la zona semiárida, entre ellos trigo candeal, para aumentar la producción, la estabilidad y la diversidad.

El área de cultivo de trigo candeal históricamente estuvo localizada al sur de la provincia de Buenos Aires; abarca gran parte de la subregión triguera IV y parte de la subregión V sur, representando una opción interesante para los productores (Informe Institucional Trigo, 2016). Desde hace unos años, se ha incorporado alguna superficie bajo riego en la provincia de San Luis y también en Tucumán y Salta (subregión triguera NOA) (Molfese et al., 2017).

La aptitud comercial del trigo candeal puede definirse a través del peso hectolítrico, el peso de mil granos y el tamaño de los granos (Molfese et al., 2017). Los factores que definen la calidad industrial del trigo candeal están estrechamente ligados a los objetivos que persiguen las industrias molinera y fideera (Seghezzeo, 2015; Molfese et al., 2017). Para la industria molinera, uno de los objetivos es maximizar la cantidad de sémola extraída con relación al volumen de trigo procesado, para lo cual sus exigencias se concentran en el tipo de grano, la limpieza del lote de granos, el peso hectolítrico, el contenido de proteína y la vitreosidad del grano. La industria elaboradora de fideos, por su parte, privilegia las sémolas de granulometría uniforme y alto tenor de pigmento amarillo, con bajos niveles de cenizas y elevado contenido de proteína (Sissons, 2005).

La vitreosidad hace referencia a la apariencia translúcida del grano, en contraposición al

carácter opaco de los granos almidonosos. Durante la molienda, los granos vítreos rinden una alta proporción de sémolas, con baja producción de harinas (Miravalles et al., 2016) y la industria fideera prefiere los granos vítreos debido a su correlación positiva con el porcentaje de proteína, el rendimiento de sémola y la calidad de cocción (Roncallo et al., 2009). En general, se considera que el contenido de proteína en el grano, la fuerza y elasticidad del gluten, la vitreosidad del grano y el color en la sémola son los principales factores involucrados en la calidad de trigo candeal (Bergh et al., 2003; Molfese y Fritz, 2020).

Seghezzeo (2015) considera que una buena variedad de candeal debe tener el endosperma duro y vítreo, alto contenido de proteínas y pigmento amarillo y una buena composición de proteínas del gluten. Aunque, el contenido de proteína está ampliamente reconocido como un importante factor que define la producción de pasta de alta calidad, dado que otorga mayor tolerancia a la sobre-cocción de la pasta, aumenta la firmeza y disminuye la pegosidad (Dexter et al., 1980; D'Egidio et al., 1990), la composición y cantidad de las proteínas de reserva del endosperma en trigo durum tienen un fuerte impacto sobre las propiedades reológicas de la masa y la calidad de las pastas (Sissons et al., 2005).

La fuerza y la extensibilidad del gluten y las características de calidad del trigo están determinadas por la cantidad y relación de las proteínas poliméricas (gluteninas) y monoméricas (gliadinas) que se encuentran combinadas en una misma variedad. Las propiedades viscoelásticas del gluten se encuentran bajo control genético, pero pueden ser modificadas parcialmente por el medio ambiente y la fertilización del cultivo (Peña, 2003). A su vez, las subunidades de glutenina de alto y bajo peso molecular, son constituyentes básicos de los polímeros de glutenina cuya estructura, composición y tamaño están estrictamente relacionados con las características de las masas y por ende con la calidad industrial del trigo candeal (Seghezzeo, 2015).

El color amarillo se debe a la presencia de

pigmentos, carotenos, los cuales además de determinar la calidad tienen valor nutricional y dependen de factores genéticos, las condiciones de crecimiento y los procesos tecnológicos (Schulthess & Schwember, 2013; Ficco et al., 2014). El color amarillo de la pasta está relacionado con el contenido de carotenos y el nivel de actividad de lipoxigenasa de la sémola (Taranto et al., 2017). Las lipoxigenasas son enzimas oxidativas, que degradan los carotenos, produciendo la pérdida de color amarillo durante la elaboración de la pasta (Ficco et al., 2014). Aunque tanto el contenido de pigmentos y el nivel de actividad de lipoxigenasa pueden ser afectados por el ambiente, la selección de cultivares con bajo nivel de lipoxigenasa puede ser de relevancia para la calidad de la pasta (Seghezzo, 2015).

La calidad final de los productos que se obtienen del trigo depende ampliamente del genotipo, del paquete de técnicas agrícolas utilizadas para su producción, y de los factores ambientales (Autran et al., 1986). La mayor parte de los atributos son modificados por el ambiente o por la interacción genotipo-ambiente, entre ellos peso de mil granos y contenido de proteína en grano (Shegezzo, 2015). La fertilidad del suelo, la fertilización y la disponibilidad de agua son los principales factores que afectan la estabilidad de dicha calidad (di Fonzo et al., 2000). En este sentido, el estadio de desarrollo del cultivo cuando es aplicada la fertilización nitrogenada es importante para definir la calidad del grano.

Bergh et al. (2003) encontraron que, en trigo candeal en secano, las aplicaciones tempranas de nitrógeno fueron altamente variables sobre rendimiento y calidad y estuvo asociado principalmente a la disponibilidad hídrica para el cultivo mientras que; las aplicaciones tardías (antes de) de nitrógeno produjeron incrementos variables en la proteína. Por otra parte, la fertilización nitrogenada incrementó el rendimiento en grano del cultivo bajo riego, maximizándose a la dosis de 100 kg.ha⁻¹ de nitrógeno aplicado en forma fraccionada (50 % a la siembra y 50 % al macollaje) (Cantamutto et al., 1994). La fecha de siembra y la aplicación de fertilizantes pueden modificar el desarrollo del cultivo, expresado en el número

de granos potenciales por unidad de superficie para su posterior llenado (Dennett, 1999).

Aunque existe información respecto de la producción y calidad de trigo candeal para la región V sur (Molfese y Fritz, 2020), la información disponible en relación a la producción de trigo candeal en la provincia de La Pampa, se refiere principalmente a rendimiento y estabilidad (Fernández, 2008; Fernández, 2013; Fernández y Zingaretti, 2015; Fernández et al., 2019) por ello, se planteó como objetivo de este trabajo evaluar la calidad industrial del grano y la sémola de cuatro genotipos de trigo candeal cultivados en el departamento Capital de la provincia de La Pampa, Argentina, bajo diferente disponibilidad de nitrógeno. Dentro de los atributos de calidad del grano se analizó el peso de 1000 granos, la concentración de proteína y la vitreosidad. En relación a la calidad de la sémola se evaluó la composición proteica y el contenido y pérdida de pigmentos amarillos. Se discute el efecto del genotipo y la aplicación de nitrógeno sobre las características observadas del grano y la sémola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones de crecimiento

El presente trabajo se realizó, en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam). Se evaluaron cuatro genotipos de trigo candeal (*Triticum durum* Desf.); dos de origen argentino, Buck Cristal, liberado en 1988, y Bonaerense INTA Cariló, liberado en el año 2004 y dos cultivares liberados en 2007 de origen italiano, Concadoro y Ciccio.

El diseño del experimento fue en bloques completos al azar con tres repeticiones. Las parcelas (1,53 m x 6 m) se sembraron a una densidad promedio de 280 plantas.m⁻². A la siembra se incorporaron 50 Kg.ha⁻¹ de P₂O₅ como superfosfato triple de calcio (0-46-0). En macollaje, Z24 (Zadoks et al 1974), se fertilizó con urea la mitad de las parcelas con una dosis de 100 Kg urea.ha⁻¹ y en floración, se aplicó urea foliar al 20 % en una dosis de 100 litros.ha⁻¹. A la madurez del cultivo se cosechó 0,2 m² de cada parcela para determinar el rendimiento en grano y sus componentes. Luego, las muestras de grano se sometieron a distintos análisis para

evaluar algunos atributos de calidad de trigo candeal.

IV y Concentración de nitrógeno en hoja

En emergencia de las espigas, al estado Z51 (Zadoks et al., 1974), en 10 hojas banderas de cada parcela se determinó el índice de verdor (IV) con un SPAD-502 y posteriormente las mismas fueron cosechadas para cuantificar el porcentaje de nitrógeno total por el método Kjeldahl. En floración, a los 15 días después de aplicar la fertilización foliar, aproximadamente en Z73, se repitieron las mediciones realizadas en Z51.

Peso de 1000 granos

Se tomaron al azar dos muestras de 200 granos por parcela y fueron llevadas a peso constante en estufa a 70 °C durante 48 h (Fernández, 2008). Previamente se removieron de la muestra los granos rotos y las materias extrañas. Se expresó en gramos (g).

Concentración de proteína en grano

La concentración de proteína en el grano se determinó por near-infrared scanning (NIR), sobre base 13,5 % humedad, en los laboratorios de la Estación Experimental INTA Anguil.

Porcentaje de vitreosidad

Se realizó a través de la inspección visual de 100 granos de trigo provenientes de una muestra libre de impurezas y de granos partidos. Para ello las semillas se colocaron sobre una superficie de vidrio transparente, iluminada desde abajo. El empleo del traspaso de luz se fundamenta en el hecho de que los rayos luminosos atraviesan las zonas compactas vitrificadas, pero no las harinosas. Los resultados se expresaron en porcentaje (%) (Miravalles, 2017).

Obtención de la sémola

Los granos fueron molidos en un molino Delver modelo MPD 1011 A, el resultado de la molienda fue tamizado con un tamiz de 105 micrones, considerando sémola a la molienda retenida en el tamiz.

Fraccionamiento y cuantificación de las proteínas de la sémola

En la sémola se cuantificaron las proteínas monoméricas (PM), la gluteninas solubles (GS) y la gluteninas insolubles (GI) respecto del total total de proteínas solubles (TPS) presentes en la harina. El fraccionamiento se realizó según la

técnica propuesta por Sapirstein & Fu (1998) y su cuantificación según Suchy et al. (2007).

Extracción y cuantificación de pigmento amarillo

Para cuantificar el total de pigmentos amarillos (TPA) se siguió la técnica propuesta por Fu et al. (2017). En un tubo de centrifuga conteniendo 200 mg de sémola y 1 ml de butanol saturado en agua (BSA), se mezcló y se mantuvo a temperatura ambiente durante 1 hora y centrifugó a 10.000 rpm durante 20 minutos. Se midió la absorbancia del sobrenadante a 449 nm usando un espectrofotómetro UV/visible. El contenido total de pigmentos amarillos fue calculado usando el coeficiente de absorción de la luteína ($A^{1\%} = 2474$). $TPA (ug.g^{-1}) = absorbancia \times 21,4$ (14 % humedad).

Pérdida de pigmentos en la masa de sémola

Se evaluó la pérdida de pigmentos en la sémola hidratada siguiendo la técnica de Fu et al. (2013). A 200 mg de sémola se le agregó 0,15 ml de agua, se mezcló y dejó a temperatura ambiente durante toda la noche. El pigmento residual de la masa de sémola fue extraído agregando 0,85 ml de 1-butanol, se homogeneizó y determinó según lo descrito en el párrafo anterior. La pérdida de pigmento en la masa es la diferencia entre el contenido de pigmentos en la sémola y la masa y expresado en valores de porcentaje del TPA de la sémola.

Actividad de la lipoxigenasa (LPO)

La actividad de la LPO se realizó siguiendo el protocolo propuesto por Anderson & Morris (2001). Se incubaron 3 granos con 1,5 ml de catecol 10 mM preparado en buffer MOPS 50 mM de pH 6,5. Se incubó con agitación a 25 °C durante dos horas. Posteriormente se centrifugó y midió la absorbancia del sobrenadante a 410 nm. Se consideró una unidad de LPO al cambio de 0,001 unidades de absorbancia.min⁻¹.g⁻¹.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizados, con tres repeticiones. El experimento, nos permitió investigar la respuesta de cuatro genotipos de trigo candeal a la variación en la disponibilidad de nitrógeno en macollaje y en floración. Los datos fueron analizados mediante un análisis de la varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos sobre cada variable y las medias de los tratamientos se compararon con el test

LSD con un nivel de significancia de 5 %, utilizando el software estadístico InfoStat versión 2008 (Di Rienzo et al., 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones de crecimiento del cultivo

El experimento se realizó en un suelo con textura franco arenosa (65 % arena, 20 % limo y 15 % arcilla), con escasa pendiente superficial y un manto de tosca en el subsuelo, a una profundidad que varió entre 1,0 y 1,2 m, con valores de materia orgánica del 1,8 % (Fernández et al., 2019). En la Tabla 1 se presentan los datos de temperatura y precipitaciones durante el año en que se realizó el experimento donde puede observarse que ocurrieron precipitaciones algo superior al valor medio de la serie histórica, destacándose por ser un invierno lluvioso y altas precipitaciones durante el mes de septiembre.

Atributos del grano

- Peso de 1000 granos

El peso de mil granos es usado para caracterizar el tamaño del grano. En general, los molineros requieren granos grandes ya que la proporción de las cubiertas exteriores disminuye a medida que el tamaño del grano aumenta (Seghezzo, 2015) y esto se encuentra íntimamente ligado al aumento en el rendimiento de sémola (Matsuo & Dexter, 1980; Seghezzo, 2015). En este experimento, el peso de los 1000 granos fue estadísticamente diferente ($p < 0,01$) entre los genotipos siendo el valor medio 41,03; 42,45; 44,76 y 50,27 gramos para Bonaerense INTA Cariló, Ciccio,

Concadoro y Buck Cristal respectivamente (Tabla 2). El mayor peso de granos de Buck Cristal, respecto del resto de las variedades coincide con lo informado previamente por Arreguy y Marzo (2014), quienes determinaron que este resultado se debe a un mayor ritmo de acumulación y no a diferencias en la duración del período de acumulación.

La fertilización en macollaje no afectó significativamente el peso de los 1000 granos, y la aplicación foliar de nitrógeno en floración lo disminuyó un 6 % ($p < 0,05$). Sin embargo, dado que la interacción genotipo x fertilización en floración fue significativa ($p < 0,05$), se observó que en Bonaerense INTA Cariló y Buck Cristal no hubo diferencias en el peso de los 1000 granos entre las plantas no fertilizadas y fertilizadas, mientras que en Ciccio y Concadoro el peso de los granos de las plantas fertilizadas en floración fue menor respecto de los no fertilizados (Tabla 2). Estos resultados son coincidentes con lo informado por Bergh et al. (2003) y Zamora et al. (2002), donde la fertilización nitrogenada con urea foliar en trigo candeal, incrementó levemente el rendimiento y la proteína, sin variaciones significativas del peso de mil granos y con lo informado por Fernández et al. (2019), donde la fertilización en trigo candeal produjo una pequeña reducción del peso de los granos, lo que podría explicarse por una mayor fecundación en posiciones distales de la espiga que generalmente son granos de menor tamaño.

Por otro lado, Fernández (2008) y Fernández et al. (2015) determinaron que los componentes espigas.m⁻² y número de granos.espiga⁻¹ fueron

los de mayor asociación con el rendimiento en grano en trigo en la Región semiárida pampeana (RSP). Arregui y Brendle (2018), en *Triticum aestivum* L., encontraron que el incremento en el rendimiento, en los tratamientos fertilizados estaba asociado a un incremento en el número de

Tabla 1. Precipitación mensual y temperatura media mensual en Santa Rosa, La Pampa.

Table 1. Monthly rainfall and monthly average temperature in Santa Rosa, La Pampa.

Meses	Precipitaciones (mm.mes ⁻¹)												Total anual (mm)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
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
Media histórica (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	740
Meses	Temperatura media mensual (°C)												Promedio (°C)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
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 histórica (1977-2017)	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

Tabla 2. Peso de 1000 granos (g) en genotipos de trigo candeal cultivados bajo diferente disponibilidad de nitrógeno.

Table 2. Thousand kernel weight (g) for genotypes candeal wheat grown under different nitrogen availability

Genotipo	Disponibilidad de nitrógeno			
	NF _m /NF _f	F _m /NF _f	NF _m /F _f	F _m /F _f
Buck Cristal	50,00 ef	51,93 f	49,77 df	49,37 ef
Concadoro	47,53 de	47,53 de	40,83 ab	43,13 bc
Bonaerense INTA Cariló	41,27 ab	41,50 abc	40,57 ab	40,80 ab
Ciccio	45,00 cd	43,90 bcd	38,13 ab	42,77 bc

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). La fertilización en macollaje fue de 100 Kg urea.ha⁻¹ y en floración la dosis fue de 100 litros. ha⁻¹ con urea al 20 %. NF_m: no fertilizado en macollaje, F_m: fertilizado en macollaje, NF_f: no fertilizado en floración, F_f: fertilizado en floración.

granos. En este sentido, Fernández et al. (2019) informaron en ensayos de trigo candeal evaluado a campo en la Región Semiárida Pampeana, un aumento del número de granos por efecto de la fertilización nitrogenada, debido principalmente al incremento de la cantidad de espigas.

En este experimento, la fertilización en macollaje promovió la fijación de mayor cantidad de espigas.m⁻², dado que hubo un incremento para este componente del 20, 44, 24 y 22 % para Bonaerense INTA Cariló, Concadoro, B. Cristal y Ciccio respectivamente, reflejándose en el número de granos por unidad de superficie. El incremento en el número de granos.m⁻² fue del 35, 38 y 40 % para Bonaerense INTA Cariló, Concadoro y B. Cristal, mientras que en Ciccio fue sólo del 4 % evidenciando la interacción significativa de genotipo x fertilización en macollaje para este componente (Anexo I, comunicación personal, Dr. Miguel Fernández). Esto se explica en parte, por las características climáticas del año en que se desarrolló nuestro experimento, 2017, donde las precipitaciones no fueron limitantes para el crecimiento del cultivo, favoreciendo el incremento en biomasa, más macollos fértiles y más espigas por planta. El efecto de la fertilización temprana sobre el rendimiento y la calidad es altamente variable y asociado principalmente a la disponibilidad hídrica para el cultivo (Bergh et al., 1999; Fernández et al., 2019). El genotipo Bonaerense INTA Cariló, expresó el mayor número de espigas y granos por metro cuadrado y el mayor rendimiento, sin embargo sus granos fueron los de menor

tamaño, siendo una desventaja para lo requerido por la industria molinera.

Concentración de proteína en grano

La concentración de proteína en el grano de trigo candeal, además de la importancia desde el punto de vista de la nutrición, junto con la calidad de la proteína y el color, es uno de los principales atributos que afectan las características tecnológicas de la pasta seca, dado que a medida que el contenido proteico aumenta, la pasta se torna más firme y menos pegajosa (Miravalles, 2017). La calidad del trigo candeal está relacionada con la composición y estructura del grano cosechado y depende del genotipo, del ambiente y de la interacción de éstos, siendo el contenido de proteína en grano uno de los atributos que es modificado por el ambiente (Seghezzo, 2015).

En esta experiencia, la concentración de proteína en grano aumentó en respuesta a la fertilización nitrogenada en todos los cultivares en estudio (Tabla 3) similar a lo observado por Ames et al. (2003) y Bergh et al. (2003). Los granos de los cultivos donde se aplicó en floración la fertilización foliar de nitrógeno, alcanzaron los mayores porcentajes de proteína al igual que lo observado por Blandino et al. (2015), Bergh et al. (2003) y Zamora et al. (2002) de manera que, la aplicación tardía de nitrógeno es esencial para alcanzar los parámetros de calidad requeridos por el mercado (Blandino et al., 2015).

No obstante, hubo diferencias entre los genotipos al igual que lo reportado por Gagliardi et al. (2020), dado que, los genotipos Buck Cristal y Bonaerense INTA Cariló no alcanzaron un valor medio del 11 % en el contenido de proteína en grano, mientras que en Concadoro y Ciccio fue de un 12 %. Los valores obtenidos, coinciden con lo informado por Molfese y Fritz (2020), quienes evaluaron el porcentaje de proteína en grano durante el quinquenio 2014-2018 para la subregión V sud y determinaron que este parámetro no tuvo una buena performance respecto a lo obtenido para la región V, pudiéndose asociar estos resultados con características más limitantes de los suelos.

Es importante destacar, que en el tratamiento fertilizado en macollaje y en floración se alcanzó la mayor concentración de proteína en grano,

Tabla 3. Concentración de proteína en grano (%) en genotipos de trigo candeal cultivados bajo diferente disponibilidad de nitrógeno.

Table 3. Grain protein concentration (%) for genotypes candeal wheat grown under different nitrogen availability

Genotipo	Disponibilidad de nitrógeno				media
	NF _m /NF _f	F _m /NF _f	NF _m /F _f	F _m /F _f	
Cristal	8,68	10,03	10,11	11,97	10,2
Concadoro	11,45	12,08	12,49	14,12	12,5
B. INTA Cariló	9,74	10,19	10,14	10,69	10,19
Ciccio	10,54	12,39	12,44	13,98	12,34

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). NF_m/NF_f: no fertilizado, F_m/NF_f: fertilizado en macollaje, NF_m/F_f: fertilizado en floración, F_m/F_f: fertilizado en macollaje y en floración.

destacando que en Concadoro y Ciccio, la concentración fue del 14 % (Tabla 3). En otros experimentos, llevados a cabo bajo las mismas condiciones de crecimiento, en *Triticum aestivum* L., aun trabajando con cultivares del grupo de calidad 1, no se obtuvieron valores mayores al 10 % de concentración de proteína en grano (Arreguy y Brendle, 2018). Al igual que lo observado por Alzogaray y Caraffini (2018), quienes trabajaron con *Triticum aestivum* L, con las mismas dosis y momentos de aplicación a lo realizado en este estudio, sin embargo, no encontraron respuesta de la concentración de proteína en grano a la aplicación de nitrógeno. De manera, que la respuesta a la fertilización nitrogenada en trigo candeal, fue mayor a la obtenida en trigo pan bajo similares condiciones experimentales.

El rendimiento y el contenido de proteína en grano generalmente presentan una relación inversa y están influenciados por el efecto del genotipo, temperatura, disponibilidad de agua y nitrógeno (Dupont et al., 2006; Donaire et al., 2017; Gagliardi, et al., 2020), mientras que Miravalles et al. (2016) informaron que esta relación varió significativamente entre ambientes, con coeficientes de correlación que oscilaron entre positivas y altamente significativas ($r=0,76$) y negativas y significativas ($r=0,75$). Esta relación inversa entre rendimiento y concentración de proteína también se observó en este experimento dado que, ante la fertilización nitrogenada, el genotipo Ciccio, presentó el menor incremento en el número de granos por metro cuadrado, menor

rendimiento (Anexo 1), disminución del peso de 1000 granos, y el mayor incremento en el porcentaje de proteína en grano. Mientras que el genotipo Bonaerense INTA Cariló expresó el mayor incremento en el número de granos.m⁻², mayor rendimiento (Anexo I), leve variación del peso de mil granos, y una menor respuesta a la fertilización en el contenido proteico en grano, y no alcanzó el valor base de % proteína (11 %) según la Norma de comercialización de trigo fideo en Argentina (Norma XXI, resolución de la ex Junta Nacional de Granos N° 31591).

Para la elaboración de pasta se requiere un contenido proteico en la sémola en el rango del 12 al 15 % (sobre base seca) (Miravalles, 2017). En este experimento, el genotipo Bonaerense INTA Cariló no alcanzó el 11 % de proteína en ninguno de los tratamientos, Buck Cristal, sólo lo alcanzó con la fertilización en ambos momentos fenológicos, Ciccio en todos los tratamientos fertilizados, y Concadoro en todos los tratamientos. Estos resultados pusieron en evidencia la variación genotípica en la respuesta a la fertilización nitrogenada y el requerimiento imprescindible de la aplicación de nitrógeno para obtener altos valores de proteína en grano, o sea para producir trigo candeal con alta calidad de grano en la provincia de La Pampa. Miravalles (2017), también expresa que no obstante, los límites antes mencionados, una sémola con niveles proteicos entre el 11,5 % y el 13 % puede ser procesada fácilmente, rindiendo un producto de características satisfactorias, de manera que los granos de los genotipos Ciccio y Concadoro se enmarcan en estos requerimientos.

Bergh et al. (2000), evaluaron en trigo candeal la relación entre el contenido de nitrógeno total en hoja y el IV y obtuvieron una correlación satisfactoria entre estas variables ($r^2=0,75$) cuando esta relación se establece para cada variedad. En nuestro experimento se observó un aumento del IV en respuesta a la fertilización nitrogenada, principalmente la aplicada en macollaje (Tabla 4) y diferencias en el valor medio del IV entre los genotipos, al igual que lo

Tabla 4. Índice de verdor (valores de SPAD en hoja bandera) en cuatro genotipos de trigo candeal.

Table 4. Greenness index (SPAD value of flag leaf) in four candeal wheat genotypes.

GENOTIPO	MOMENTO DE MUESTREO					
	Z51		Z73			
	DISPONIBILIDAD DE NITROGENO					
	NF _m	F _m	NF _m /NF _f	F _m /NF _f	NF _m /F _f	F _m /F _f
Buck Cristal	37,39 a	42,58 cd	31,51 abcd	33,47 cdef	29,35 ab	36,06 ef
Concadoro	39,78 ab	41,45 bcd	31,29 abcd	29,46 abc	33,33 bcde	32,21 abcde
Bonaerense INTA Cariló	39,45 ab	43,71 d	34,40 def	37,49 f	32,35 abcde	35,82 ef
Ciccio	38,19 a	39,95 abc	28,76 a	30,35 abcd	30,81 abcd	31,29 abcd

Las determinaciones se realizaron sobre hoja bandera en Z51 y en Z73. Medias con una letra común dentro de cada momento de muestreo, no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). La fertilización en macollaje fue de 100 Kg urea.ha⁻¹ y en floración la dosis fue de 100 litros. ha⁻¹ con urea al 20%. NF_m/NF_f: no fertilizado, F_m/NF_f: fertilizado en macollaje, NF_m/F_f: fertilizado en floración, F_m/F_f: fertilizado en macollaje y en floración.

observado por Alzogaray y Caraffini (2018). Es interesante destacar que los genotipos Ciccio y Concadoro que obtuvieron mayor concentración de proteína en grano, tuvieron los menores valores medios de IV estimados en Z73. La alta disponibilidad de nitrógeno retarda la senescencia y permite el mantenimiento del área fotosintéticamente activa por más tiempo, asegurando más carbohidratos a las raíces y consecuentemente la absorción de nitrógeno durante el período de llenado de grano (Bergh et al., 2003). También reduce la disminución del IV en función de la edad de la hoja según lo observado en este experimento (Tabla 4) y lo informado por otros autores en *Triticum aestivum* L (Del campo y Serra, 2017; Del campo et al., 2017; Alzogaray y Caraffini, 2018). Blandino et al. (2015) expresan que la fertilización foliar más que un efecto directo sobre la nutrición nitrogenada de la planta, tiene un efecto indirecto en mantener una elevada absorción de nitrógeno en post anthesis, no obstante en este experimento el hecho que Ciccio y Concadoro, expresen mayor concentración de proteína en grano y menor IV podría indicar una mayor capacidad de removilización de nitrógeno al grano. De manera que la variabilidad en la respuesta podría estar condicionada por la diferente capacidad de los genotipos evaluados de optimizar el uso del nitrógeno (Gagliardi et al., 2020).

Porcentaje de vitreosidad

Durante el proceso de molienda los granos vitreos rinden una alta proporción de sémolas, ya que por su mayor compactibilidad y dureza, tienden a pulverizarse menos durante la

molienda, lo cual se refleja en una alta producción de partículas gruesas, y menor liberación de partículas finas o harinas (Miravalles, 2017), por lo que la vitreosidad es uno de los atributos principales contemplados en la comercialización de este cereal (Miravalles et al., 2016). En este

trabajo, hubo diferencias entre los genotipos en el porcentaje de vitreosidad, donde los cultivares Concadoro y Ciccio expresaron mayor % de vitreosidad lo que puede asociarse a un mayor porcentaje de proteína en grano respecto de los otros dos cultivares. Los granos vitreos presentan una correlación positiva con el porcentaje de proteína, con el rendimiento en sémola y con la calidad de cocción de la pasta (Roncallo et al., 2009).

También se observó un incremento del porcentaje de vitreosidad ante la fertilización nitrogenada. Los datos promedios obtenidos fueron 28, 54, 41 y 40 % para Buck Cristal, Ciccio, Concadoro y Bonaerense INTA Cariló respectivamente en los granos de plantas no fertilizadas. Mientras que fue del 46, 64, 53 y 43 en el mismo orden para las plantas fertilizadas en macollaje. Incrementos del porcentaje de vitreosidad en respuesta a la fertilización nitrogenada también fueron informados por Makowska et al. (2008), alcanzando valores del 70 %, y Zamora et al. (2002), con valores superiores al 80 %. Miravalles et al. (2016), evaluaron 5 genotipos de candeal en 24 ambientes y la vitreosidad promedió un 90 %, con amplio rango de variación entre 39 % y 99 %.

De manera que los valores obtenidos en este experimento fueron bajos respecto de lo requerido como parámetro de calidad y de los valores promedios registrados para la subregión V sud durante el periodo 2014-2018 donde se informaron valores de vitreosidad entre 28 % y 64 % (Molfese y Fritz, 2020). Estos bajos % de vitreosidad pueden asociarse al lavado de granos

por la ocurrencia de precipitaciones previo a la cosecha (Molfese y Fritz, 2020), en esta experiencia llovieron 37 mm unos días antes de cosechar y a las altas precipitaciones ocurridas durante el año 2017, respecto de la media en la ciudad de Santa Rosa (Tabla 1), dado que las estaciones secas favorecen la expresión de la vitreosidad (Baum et al., 1995; Miravalles, 2017).

Atributos de la sémola

- Composición proteica de la sémola

La composición de proteínas del gluten es un factor decisivo en la determinación de la fuerza de las masas de trigo candeal y en su comportamiento durante el procesamiento de la pasta (Miravalles, 2017). En particular, las gliadinas y gluteninas dado que son el grupo de proteínas que ejerce mayor influencia sobre las propiedades elásticas, de viscosidad de la masa y fuerza del gluten (Shewry et al., 1999; Triboi et al., 2003).

La distribución según el peso molecular de las proteínas del gluten en trigo puede explicar en parte, las diferencias de la fuerza de la masa de los trigos. Esta propiedad puede variar de dos maneras: la cantidad relativa de las proteínas poliméricas (PP) respecto de las monoméricas o bien la distribución según el peso molecular dentro de las proteínas poliméricas, o sea la relación entre las gluteninas de alto y bajo peso molecular (Sissons et al., 2005). En este experimento se observaron diferencias entre los genotipos en el contenido de las fracciones monoméricas y poliméricas y también en la composición de la fracción polimérica (Tabla 5).

Los genotipos Concadoro y Bonaerense INTA Cariló expresaron mayor relación PP/PM. Además, al analizar la composición de la fracción de glutenina, Cristal y Bonaerense INTA Cariló expresaron mayor relación GI/GT, evidenciando una mayor proporción de gluteninas de alto peso molecular en la fracción de glutenina.

Edwards et al. (2007) sostienen que a medida que aumenta la proporción de

gluteninas de alto peso molecular la fuerza de la masa y el índice de gluten disminuyen, y consideran que en trigo duro la fuerza del gluten depende de una estructura de un tipo de polímero asociativo que involucra a las gluteninas de bajo peso molecular, donde cadenas de corta longitud constituyen una red y otorgan mayor fuerza. Sin embargo, otros autores sostienen que las proteínas poliméricas es un factor positivo para la calidad de la sémola (Ruiz et al., 1998).

Sissons et al (2005) reportaron que muestras de sémola de trigo duro con un índice de gluten mayor a 50 tuvieron mayor relación PP/PM respecto de aquellas que tuvieron un índice de gluten menor a 30, encontrando una relación significativa entre el índice de gluten y la mayor proporción de gluteninas de alto peso molecular en la fracción de gluteninas. Miravalles (2017) informó que la fracción insoluble de la proteína polimérica (GI/GT), correlacionó fuertemente con todos los parámetros del alveograma y del mixograma, y con el gluten index. De manera que, de acuerdo a la importancia de las proteínas poliméricas en la calidad industrial de la sémola del trigo candeal, y en base a la composición proteica del gluten, expresada bajo estas condiciones experimentales, puede esperarse que la sémola de Concadoro sea de buena calidad debido a la mayor relación PP/PM, en Cristal debido a la mayor fracción de glutenina insoluble y en Bonaerense INTA Cariló, debido a ambas propiedades. No obstante, en base a estudios del genoma de las proteínas de reserva, puede enunciarse que existe un efecto aditivo entre algunas gluteninas de alto molecular y

Tabla 5. Concentración y Composición proteica de la sémola en cuatro genotipos de trigo candeal.

Table 5. Concentration and composition of semolina proteins in four Candeal wheat genotypes

Genotipo	Composición proteica					
	PM	GS	GI	TG	GI/GT	PP/PM
Cristal	29,90 c	29,53 a	40,36 b	69,89 a	0,58 b	2,30 a
Concadoro	26,56 a	34,39 a	39,05 ab	73,44 c	0,53 ab	2,76 c
B. INTA Cariló	27,13 ab	32,27 a	40,60 b	72,87 c	0,56 ab	2,68 bc
Ciccio	29,78 bc	35,08 a	35,14 a	70,22 a	0,50 a	2,36 ab

PM: proteínas monoméricas (%), GS: glutenina soluble (%), GI: glutenina insoluble (%), TG: Total glutenina (%), GI/GT: fracción de glutenina insoluble respecto a la concentración de glutenina total, PP/PM: relación de concentración de las proteínas poliméricas respecto de las monoméricas, TG/TP: fracción de la concentración de glutenina total respecto a la concentración de proteína soluble total. Medias con una letra común dentro de cada momento de muestreo, no son significativamente diferentes (p>0,05).

gliadinas. En trigos duros italianos se encontró que los cultivares que tienen y-gliadina 45 y las subunidades 7+8 de gluteninas de alto peso molecular mostraron el mayor volumen de pan (Boggini & Pogna, 1989), mientras que Wallace et al. (2003) después de estudiar 115 genotipos de trigo candeal argentinos, destacaron a los alelos 7+8 y 6+8 de gluteninas de alto peso molecular-B1 y el patrón A de β -gli como marcadores para incrementar la calidad de pasta en programas de mejoramiento. Además reportaron que el 28 % del germoplasma presentó el alelo 20 de gluteninas de alto peso molecular asociado a mala calidad industrial.

Las sémolas obtenidas tuvieron alto contenido de gluteninas, lo que según algunos autores afecta negativamente la vitreosidad del endosperma, dado que un mayor contenido de proteínas monoméricas ha sido asociado con endospermas vítreos (Samson, et al., 2005; Fu et al., 2018). Esta relación se observó en el cultivar Ciccio, que expresó mayor vitreosidad, alto porcentaje de proteínas monoméricas y menor relación PP/PM en la sémola. Sin embargo, Cristal aunque tuvo alto contenido de PM, expresó una baja vitreosidad, quizás podría explicarse por el alto contenido de GI/GT (Tabla 5). Los valores de la relación GI/GT observados fueron similares a los obtenidos por Miravalles (2017). Sin embargo, la relación gliadinas /gluteninas, en este experimento fue baja, dado que el valor medio fue 0,4, Miravalles (2017) reportó un valor de 1, mientras que Samson et al. (2005), analizaron por separado, endospermas vítreos y almidonosos, para un mismo cultivar bajo las mismas condiciones de crecimiento, y expresan que en los granos vítreos la relación gliadinas /gluteninas es mayor a 0,85 y aumenta en función de la concentración de proteína en grano. Consideran que hay un cambio abrupto del endosperma amiláceo al vítreo con un 9,5 % de proteína y una relación gliadinas/gluteninas mayor a 0,85. Las proteínas monoméricas permiten una mejor adhesión de la matriz proteica a los gránulos de almidón durante la desecación del grano facilitando la formación del endosperma vítreo (Samson et al., 2005). Esta característica podría también explicar los bajos valores de vitreosidad obtenidos en este experimento. En otro experimento realizado en esta región se han obtenido harinas de trigo pan con alto contenido de la fracción polimérica (Giménez et al., 2020) lo que podría deberse a limitaciones de azufre en el suelo (Nacem et al., 2012), lo que en este experimento puede asociarse con un suelo

pobres en materia orgánica, menor al 2 % (Fernández et al., 2019).

Por otra parte, no hubo efecto de la fertilización nitrogenada sobre la composición proteica, de manera que las fracciones han sido estables frente a las condiciones experimentales impuestas en este trabajo y se deben a factores genéticos. En este sentido, Luo et al. (2000) y Triboi et al. (2000) han informado que la cantidad relativa de gliadinas y gluteninas no se vio afectada por la fertilización con nitrógeno; esta respuesta podría ser una consecuencia de las diferencias genotípicas en la asignación de nitrógeno a las subunidades de proteínas.

Contenido de pigmentos amarillos en la sémola y pérdida de pigmentos en la masa de sémola

Los carotenos son los pigmentos responsables del color amarillo de la sémola y la pasta, siendo uno de los principales factores que afectan la calidad del trigo y la elección por parte del consumidor (Dinelli et al., 2013). El contenido total de pigmentos amarillos fue significativamente diferente ($p < 0,05$) entre los genotipos siendo la variedad Bonaerense INTA Cariló el de mayor concentración (Tabla 6). La respuesta de esta variedad también fue informada por investigadores de la Chacra experimental INTA Barrow. La concentración de pigmentos amarillos, está determinada por factores genéticos (Borelli et al., 1999; Martini et al., 2015; Miravalles, 2017) y está asociada al ritmo y duración del proceso de acumulación de carotenos (Ramachandran et al., 2010). Por otra parte, los genotipos modernos generalmente tienen mayor contenido respecto de los cultivares más viejos (Martini et al., 2015). Esto es debido a que se ha avanzado en el mejoramiento de este carácter considerado de interés a nivel industrial. Sin embargo, en nuestro experimento, esta relación no pudo verse, dado que el genotipo Concadoro, un cultivar italiano liberado en el año 2007, presentó la menor concentración de pigmentos amarillos en la sémola.

Se observó que los granos de los genotipos de mayor peso, Buck Cristal y Concadoro, tuvieron menor contenido de pigmentos, coincidiendo con lo reportado por Digesù et al. (2009) lo que podría deberse a un efecto de dilución en la concentración de pigmentos al aumentar el peso de los granos, debido a un mayor contenido de almidón en grano (Schulthess et al., 2013; Digesù et al., 2009). Por otra parte, las concentraciones de pigmentos cuantificadas en las sémolas en estudio, son bajas respecto de lo informado por otros autores (Beleggia et al.,

2010; Ramachandran et al., 2010; Schulthess & Schwember, 2013; Fu et al., 2017), quienes estudiaron un amplio rango de genotipos, aunque son similares a los observados por Dinelli et al. (2013) trabajando con trigo durum en ambientes con un manejo agrícola de bajos insumos.

La fertilización nitrogenada, no modificó la concentración de pigmentos amarillos en los genotipos en estudio. Una respuesta similar fue observada por Makowska et al. (2008) y diferente por Giuliani et al. (2011) quienes informaron que el color amarillo en trigo candeal tuvo la misma tendencia que el contenido de proteína, es decir, un incremento por efecto de la fertilización. Sin embargo, Digesù et al. (2009), informó una relación negativa entre la concentración de proteínas y el contenido de pigmentos amarillos al igual que lo observado en este estudio donde la relación negativa entre ambas variables fue significativa ($R^2 = 0,40$). Esto podría asociarse a que la base genética de las correlaciones de rasgos puede incluir genes únicos con efectos pleiotrópicos o el estrecho vínculo de varios genes que controlan diferentes rasgos (Digesù et al., 2009).

Seghezzo (2015) expresó que los ambientes semiáridos son ideales para obtener sémolas de color amarillo más intenso. En este sentido, la provincia de La Pampa, ubicada en la subregión triguera V sur, reuniría las condiciones requeridas para la producción de trigo candeal con alta concentración de pigmentos amarillos. Sin embargo, esta característica no se evidenció en este experimento, desarrollado durante el año 2017, dado que ocurrieron abundantes precipitaciones, especialmente durante el invierno y en el mes de septiembre (Tabla 1). Molfese y Fritz (2020) realizaron un análisis de calidad de trigo candeal durante el quinquenio 2014-2018 y expresaron que la producción y la calidad de candeal presentaron oscilaciones entre años, asociadas a condiciones climáticas y de manejo, afectando negativamente la calidad del grano de trigo durum condiciones de alta humedad (Baum et al., 1995).

- Pérdida de pigmentos amarillos de la masa de sémola y actividad de la LOP

El color amarillo de la pasta depende del contenido de carotenos de la sémola, la degradación de los carotenos por la lipooxigenasa (LOP) y las condiciones de procesamiento de la pasta (Fu et al., 2013). Hubo diferencias entre los genotipos en el porcentaje de pérdida de pigmentos (Tabla 5) y los valores observados fueron elevados teniendo

en cuenta lo informado por Fu et al. (2013). Si es la misma cita se puede poner solo al final

La actividad de la lipoxigenasa fue similar entre los genotipos (Tabla 6) y los valores obtenidos fueron elevados respecto de lo informado por De Simone et al. (2010) y Borelli et al. (1999) lo que podría explicar el alto porcentaje de pérdida de pigmentos. Borelli et al. (1999) sostiene que el color amarillo de la pasta no siempre es producto del contenido de pigmentos del grano, siendo de mayor importancia el nivel de actividad de la LOP, que aunque puede ser modificada por el ambiente (Anderson & Morris, 2001), pone en evidencia la importancia de trabajar con genotipos caracterizados por la ausencia de la duplicación del gene de la LOX en el locus Lpx-B1.1, asociado a una importante reducción de la actividad de la lipoxigenasa en la sémola (Fu et al., 2011; Fu et al., 2013).

CONCLUSIONES

Este estudio muestra que la calidad del grano de trigo candeal, estimada por el peso del grano, el porcentaje de proteína y la vitreosidad, depende del genotipo, mientras que la fertilización nitrogenada permitió en algunos genotipos superar el umbral del 11 % de proteína en grano requerido para la comercialización. Aunque la vitreosidad fue mejorada por el agregado de nitrógeno los valores obtenidos estuvieron cercanos o por debajo de lo requerido en el estándar de comercialización (50 %). Con respecto a la calidad de la sémola, los genotipos estudiados se caracterizaron por tener alta concentración de proteínas poliméricas indicando que se trataría de sémolas con gluten fuerte, sin embargo el contenido de pigmentos amarillos fue bajo, y con alta actividad de la lipoxigenasa dado que fue elevada la pérdida de pigmentos al elaborar la masa de sémola, estas dos últimas propiedades determinadas principalmente por el genotipo pone en evidencia la importancia de la elección de cultivares.

Puede considerarse que la calidad obtenida es satisfactoria y responde a la información reportada para la región V sur (Molfese y Fritz, 2020). Por otra parte, teniendo en cuenta que dentro de las variedades de trigo candeal existen algunas que tienen mayor estabilidad de rendimiento en la Región Subhúmeda – Seca Pampeana, y otras por el contrario, menor estabilidad, debería analizarse cada genotipo en particular ya que la variabilidad genética y la interacción genotipo x ambiente son factores

Tabla 6. Contenido de pigmentos amarillos en la sémola, pérdida de pigmentos en la masa y actividad de la lipoxigenasa

Table 6. Total yellow pigment (TPA) content in semolina, pigment loss in semolina dough and lipoxigenase activity.

Genotipo	TPA	Pérdida de pigmentos	Actividad lipoxigenasa
	($\mu\text{g.g}^{-1}$)	(%)	UE
Buck Cristal	2,69 ab	74,02 b	29,13 a
Concadoro	1,86 a	52,55 a	25,37 a
Bonaherense INTA Cariló	3,40 b	68,43 ab	25,33 a
Ciccio	2,89 b	84,99 b	24,80 a

Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

importantes en zonas de alta variabilidad climática (Fernández, 2008; Fernández et al., 2019). Es necesario continuar generando información de la calidad industrial y evaluando la respuesta de otros cultivares de trigo candeal en la provincia de La Pampa.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Miguel Ángel Fernández (1963-2020), profesor adjunto de la Cátedra de Cereales de la Facultad de Agronomía, UNLPam, por su profesionalismo y compañerismo, destacando su disposición en permitir el acceso a sus experimentos para realizar en conjunto, numerosos Trabajos Finales de Graduación.

Este proyecto fue financiado por la Facultad de Agronomía, UNLPam

BIBLIOGRAFÍA

Alzogaray, L. 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).

Ames, N. P., Clarke, J. M., Dexter, J. E., Woods, S. M., Selles, F. & Marchylo, B. (2003). Effects of nitrogen fertilizer on protein quantity and gluten strength parameters in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) cultivars of variable gluten strength. *Cereal Chemistry*, 80, 203-211.

Anderson, J. V., & Morris, C. F. (2001). An Improved Whole-Seed Assay for Screening Wheat Germplasm for Polyphenol Oxidase Activity. *Crop Science*, 4, 1697-1705

Arreguy, M. M. y Marzo, L. N. (2014). Efecto del genotipo y la fertilidad sobre el llenado de los granos de los cereales invernales (Trabajo Final de Graduación para

obtener el grado de Ingeniero agrónomo, Facultad de Agronomía, UNLPam.).

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.).

Autran, J. C., Abecassis, J., & Feillet, P. (1986). Statistical evaluation of different technological and biochemical tests for quality assessment in durum wheats. *Cereal Chemistry*, 63(5), 390-394.

Baum, M., Impiglia, A., Ketata, H., & Nachit, M. (1995). Studies on some grain quality traits in durum wheat grown in Mediterranean environments. In N. di Fonzo, F. Kaan & M. Nachit (eds). Durum wheat quality in the Mediterranean region. Zaragoza: CIHEAM, 1995. (pp. 181-187). Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; nro. 22.

Beleggia, R., Platani, C., Nigro, F., & Cattivelli, L. (2010). A micro method for the determination of yellow pigment content in durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 52, 106-110.

Bergh, R., Zamora, M., Seghezzo, M. L. y Molfese E. (2003). Fertilización nitrogenada foliar en trigo en el Centro-Sur de la provincia de Buenos Aires. *Informaciones técnicas del Cono Sur*, 19, 22-30.

Blandino, M., Vaccino, P., & Reyneri, A. (2015). Late-season nitrogen increases improver common and durum wheat quality. *Agronomy Journal*, 107, 680-690.

Boggini, G. & Pogna, N. E. (1989). The Breadmaking Quality and Storage Protein Composition of Italian Durum Wheat. *Journal of Cereal Science*, 9, 131-138.

Borelli, G. M., Troccoli, A., di Fonzo, N., & Fares, C. (1999). Durum wheat lipoxigenase activity and qualitative parameters that affect pasta color. *Cereal Chemistry*, 76, 335-340.

Bozzini, A. (1988). Origin, distribution and production of durum wheat in the world. In: G. Fabriani & C. Lintas (Eds) Durum wheat: chemistry and technology. St. Paul Min. EEUU: Am Assoc. Cereal Chemist Inc.

Cantamutto, M. A., Agamennoni, R., & Möckel, F. E. (1994). Performance of durum wheat under the environmental condition of Valle Bonaerense del Rio Colorado. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía. <http://ri.agro.uba.ar/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=rfa&d=1993-994cantamuttoma> poner link correcto

Del Campo, N. y Serra, M. (2017). Composición proteica del grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) en función de la disponibilidad de agua y nitrógeno (Trabajo Final de Graduación para obtener el grado de Ingeniero agrónomo, Facultad de Agronomía, UNLPam.).

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(2), 3750.

D'Egidio, M. G., Mariani, B., Nardi, S., Novaro, P. & Cubbada, R. (1990). Chemical and technological variables and their relationships: a predictive equation for pasta

- cooking quality. *Cereal Chemistry*, 67, 275-281.
- Dennett, M. D. (1999). *Effects of sowing date and the determination of optimum sowing date*. In: E. H. Satorre & G. A. Slafer (Eds). *Wheat ecology and physiology of yield determination* (pp. 45-65). Food Products Press, New York, EEUU.
- De Simone, V., Menzo, V., De Leonardi, A. M., Ficco, D. B. M., Trono, D., Cattivelli, L., & De Vita, P. (2010). Different mechanisms control lipoxygenase activity in durum wheat kernels. *Journal of Cereal Science*, 52, 121-128.
- Dexter, J., Matsuo, R., Kosmolak, F., Lesle, D., & Marchilo, B. (1980). The suitability of the SDS test for assessing gluten strength in durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 60, 25-29.
- di Fonzo, N., De Vita, P., Gallo, A., Fares, C., Padalino, O., & Troccoli, A. (2000). *Crop management efficiency as a tool to improve durum wheat quality in Mediterranean areas*. In: J. Abecassis, P. Braun, P. Feuillet, P. Joudrier, B. Pascal & P. Roumet (Eds.). *Proceedings of the International Workshop on Durum Wheat, Semolina and Pasta Quality: Recent Achievements and New Trends* (pp. 44 – 59). INRA, Montpellier, France
- Dinelli, G., Marotti, I., Di Silvestro, R., Bosi, S., Bregola, V., Accorsi, M., Di Loreto, A., Benedettelli, S., Ghiselli, L., & Catizone, P. (2013). Agronomic, nutritional and nutraceutical aspects of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under low input agricultural management. *Italian Journal of Agronomy*, 8, 85-93.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2008). *InfoStat*, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Digesù, A. M., Platani, C. Cattivelli, L. Mangini, G., & Blanco, A. (2009). Genetic variability in yellow pigment components in cultivated and wild tetraploid wheats. *Journal of Cereal Science*, 50, 210-218.
- Dupont, F. M., Hurkman, W. J., Vensel, W. H., Tanaka, C., Kothari, K. M., Chung, O. K., & Altenbach, S. B. (2006). Protein accumulation and composition in wheat grains. Effects of mineral nutrients and high temperature. *European Journal of Agronomy*, 25, 96-107.
- Donaire, G., Bainotti, C., Alberione, E., Gómez, D., Fraschina, J., Salines, J., Salines, N., Conde, B., Reartes, F. y Larsen, A. (2017) Evaluación de cultivares de trigo candeal en la EEA Marcos Juárez durante la campaña 2017. Informe de Actualización técnica INTA EEA Marcos Juárez. Convenio MAIBA-INTA.
- Edwards, N. M., Gianibelli, M. C., McCaig, T. N., Clarke, J. M., Ames, N. P., Larroque, O. R., & Dexter, J. E. (2007). Relationships between dough strength, polymeric protein quantity and composition for diverse durum wheat genotypes. *Journal of Cereal Science*, 45, 140-149.
- Fernández, M. A. (2008). La estabilidad del rendimiento de trigo candeal (*Triticum durum* Desf.) en la región de las planicies con tosca de la provincia de La Pampa. *Revista de la Facultad de Agronomía*, UNLPam, 19, 41-62.
- 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 fideo (*Triticum durum* Desf.) y triticale (X *Triticosecale*, Wittmack). *Semiárida*, 23, 7-23.
- Fernández, M. A. y Zingaretti, O. (2015). El uso consuntivo en el período crítico para la predicción del rendimiento en grano de trigo pan, trigo candeal y triticales en la región semiárida pampeana. *Semiárida*, 25, 29-39.
- Fernández, M. A., Gaggioli, C. y Repollo R. (2019). El efecto de la época de siembra, el genotipo y la fertilidad sobre el rendimiento en grano de trigo candeal en la región subhúmeda seca pampeana. *Semiárida*, 29(2), 51-60.
- Ficco, D. B. M., Mastrangelo, A. M., Trono, D., Borrelli, G. M., De Vita, P., Fares, C., Beleggia, R., Platani, C., & Papa, R. (2014). The colours of durum wheat: a review. *Crop & Pasture Science*, 65, 1-15.
- Fu, B. X., Schlichting, L., Pozniak, C. J., & Singh, A.K. (2011). A Fast, Simple, and Reliable Method to Predict Pasta Yellowness. *Cereal Chemistry*, 88(3), 264-270.
- Fu, B.X., Schlichting, L., Pozniak, C. J., & Singh, A. K. (2013). Pigment loss from semolina to dough: rapid measurement and relationship with pasta colour. *Journal of Cereal Science*, 57, 560-566.
- Fu, B. X., Chiremba, C., Pozniak, C. J., Wang, K., & Nam, S. (2017). Total phenolic and yellow pigment contents and antioxidant activities of durum wheat milling fractions. *Antioxidants*, 6, 78-88.
- Fu, B. X., Wang, K., Dupuis, B., Taylor, D. & Nam, S. (2018). Kernel vitreousness and protein content: relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality. *Journal of Cereal Science*, 79, 201-217.
- Gagliardi, A., Carucci, F., Masci, S., Flagella, Z., Gatta, G., & Giuliani, M. (2020). Effects of genotype, growing season and nitrogen level on gluten protein assembly of durum wheat grown under Mediterranean conditions. *Agronomy*, 10 (755), 113-127.
- 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.
- Giuliani, M. M., Giuzio, L., De Caro, A., & Flagella, Z. (2011). Relationships between nitrogen utilization and grain technological quality in durum wheat: II. Grain yield and quality. *Agronomy Journal*, 103(6), 1668-1675.
- Lorda, H., Bellini Saibene, Y., Sipowicz, A. Colazo, R., Roberto, Z., Sarasola, J. y Lucchetti, P. (2001). Resultados de la encuesta agrícola 1999. I. Región pampeana del proyecto RADAR, en: EEA INTA-Anguil, *Boletín de divulgación Técnica*, N° E11/5. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires (Argentina).
- Luo, C., Branlard, G., Griffin, W. B., & McNeil, D. L. (2000). The effects of nitrogen and Sulphur fertilization and their interaction with cultivar on wheat glutenins and quality parameters. *Journal of Cereal Science*, 31, 185-194.
- Makowska, A., Obuchowski, W., Sulewska, H., Koziara, W., & Paschke, H. (2008). Effect of nitrogen fertilization of durum wheat varieties on some characteristics important for pasta production. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 7(1), 29-39.
- Martini, D., Taddei, F., Ciccoritti, R., Pasquini, M., Nicoletti, I.,

- Corradini, D., & DEgidio, M. G. (2015). Variation of total antioxidant activity and of phenolic acid, total phenolics and yellow coloured pigments in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) as a function of genotype, crop year and growing area. *Journal of Cereal Science*, 65, 175-175.
- Matsuo, R. R., & Dexter, J. E. (1980). Composition of experimentally milled durum wheat semolina to semolina produced by some Canadian commercial mills. *Cereal Chemistry*, 57, 117- 122.
- Miravalles, M. T, Molfese, E., Seghezzo, M. L., Astiz, V., Larsen, A. y Jensen C. (2016). Vitreosidad en trigo candeal (*Triticum durum* Desf.): Efectos del ambiente, el genotipo y las interacciones genotipo-ambiente. VIII Congreso Nacional de Trigo. VI Simposio de Cereales de siembra otoño-Invernal. II Reunión del Mercosur.
- Miravalles, M. T. (2017). Calidad industrial del trigo para fideos en el sur bonaerense: efectos del genotipo, el ambiente y sus interacciones (Tesis doctoral, Facultad de Agronomía, de la Universidad Nacional del Sur).
- Molfese, E. R, Astiz, V. y Seghezzo, M.L. (2017). Evaluación de la calidad del trigo candeal (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) en los programas de mejoramiento de Argentina. *RIA*, 43(3), 303-311.
- Molfese, E. R. y Fritz, N. (2020). Producción y calidad del trigo candeal (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) en Argentina: análisis del quinquenio 2014/2018. *RIA*, 46(3), 293-305.
- Naeem, H. A., Paulon, D., Irmak, S., & MacRitchie, F. (2012). Developmental and environmental effects on the assembly of glutenin polymers and the impact on grain quality of wheat. *Journal of Cereal Science*, 56(1), 51-57.
- Norma XXI. Estándar oficial para la comercialización de trigo fideo. <http://www.senasa.gov.ar/normativas/resolucion-1075-1994-sagpya-secretaria-de-agricultura-ganaderia-pesca-y-alimentos>
- Peña, R. J. (2003). Contribución de las gluteninas (alto y bajo peso molecular) y las gliadinas al mejoramiento de la calidad de trigo. En Kohli, M. M., Diaz, M., Castro, M., (eds.). Estrategias y Metodologías utilizadas en el Mejoramiento de Trigo. Seminario Internacional, La Estanzuela, Uruguay. CIMMYT-INIA.
- Ramachandran, A., Pozniak, C. J. Clarke, J. M., & Singh, A. K. (2010). Carotenoid accumulation during grain development in durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 52, 30-38.
- Roncallo, P., Garbus I., Picca, A., Echenique, V., Carrera, D.A. Cervigni, G.L. y Miranda, R. (2009). Análisis de las bases genéticas del color en trigo candeal. *Revista de la Facultad de Agronomía*, La Plata, 108, 9- 23.
- Ruiz, M., Vázquez, J. F. y Carrillo, J. M. (1998). Estudio de la variabilidad de gluteninas y gliadinas en variedades locales y cultivares primitivos españoles de trigo duro. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales*, 13, 291-305.
- Samson, M. F., Mabile, F., Chéret, R., Abécassis, J., & Morel, M. H. (2005). Mechanical and Physicochemical Characterization of Vitreous and Mealy Durum Wheat Endosperm. *Cereal Chemistry*, 82(1), 81-87.
- Sapirstein, H. D. & Fu, B. X. (1998). Intercultivar variation in the quantity of monomeric proteins soluble and insoluble glutenin and residue protein in wheat flour and relationships to breadmaking quality. *Cereal Chemistry*, 75, 500-507.
- Schulthess, A. & Schwember, A. R. (2013). Improving durum wheat (*Triticum turgidum* L. var *durum*) grain yellow pigment content through plant breeding. *Ciencia e Investigación Agraria*, 40, 475-490.
- Schulthess, A., Matus, I. & Schwember, A. R. (2013). Genotypic and environmental factors and their interactions determine semolina color of elite genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var *durum*) grown in different environments of Chile. *Field Crops Research*, 149, 234-244.
- Seghezzo, M. L. (2015). Calidad en trigo candeal. Ediciones: INTA.
- Shewry, P. R., Tatham, A. S., & Halford, N. G. (1999). The prolamins of the Triticaceae. In: P.R. Shewry and R. Casey (Eds), *Seed Proteins* (pp. 35- 78). Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.
- Sissons, M. J., Ames, N. P., Hare, R. A. & Clarke, J. M. (2005). Relationship between glutenin subunit composition and gluten strength measurements in durum wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 2445-2452.
- Suchy, J., Lukow, O. M., Brown, D., DePauw, R., Fox, S., & Humphreys, G. (2007). Rapid assessment of glutenin and gliadin in wheat by UV spectrophotometer. *Crop Science*, 47, 91-99.
- Taranto, F., Pasqualone, A., Mangini, G., Tripodi, P., Miazzi, M. M., Pavan, S., & Montemurro, C. (2017). Polyphenol oxidases in crops: biochemical, physiological and genetic aspects. *International Journal of Molecular Science*, 18, 377-393.
- Triboi, E., Abad, A., Michelena, A., Lloveras, J., Ollier, J. L., & Daniel C. (2000) Environmentally effects on the quality of wheat cultivars: I. quantitative and qualitative variation of storage proteins. *European Journal of Agronomy*, 13, 47-64.
- Triboi, E., Martre, P., & Triboi-Blondel, A. (2003). Environmentally-induced changes in protein composition in developing grains of wheat are related to changes in total protein content. *Journal of Experimental Botany*, 54, 1731-1742.
- Wallace, J. C., Bainotti, C., Nisi, M. M., Formica, B., Seghezzo, M. L., Molfese, E., Jensen, C., Nisi, J. y Helguera, M. (2003). Variabilidad genética de proteínas de reserva en trigos candeales argentinos y su interacción con la calidad industrial. *Agriscientia*, XX, 19- 27.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T. & Konzak, F. C. (1974). A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421
- Zamora, M., Bergh, R., Báez, A., Seghezzo, M. L. y Molfese, E. (2002). Fertilización nitrogenada tardía en cultivares de trigo pan y trigo candeal para calidad. Informe CEI Barrow. Convenio INTA - Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción – Provincia de Bs. As.