

## EFECTO DEL AMBIENTE, EL GENOTIPO Y LA FERTILIDAD SOBRE EL RENDIMIENTO EN GRANO DE TRIGO PAN Y SU CALIDAD EN LA REGIÓN SUBHÚMEDA-SECA PAMPEANA

### GENOTYPIC, FERTILITY, AND ENVIRONMENTAL EFFECTS ON GRAIN YIELD OF BREAD WHEAT AND ITS QUALITY IN THE DRY-SUBHUMID PAMPAS REGION

Fernández, Miguel Angel<sup>1\*</sup>, Osvaldo Zingaretti<sup>1</sup>  
& Mirta Castaño<sup>1</sup>

Recibido 21/03/2019  
Aceptado 25/06/2019

#### RESUMEN

El trigo pan es importante en la región sub-húmeda seca pampeana. El rendimiento en grano y su calidad muestran gran variabilidad interanual. El objetivo fue evaluar el rendimiento de grano, el peso hectolítrico y el contenido de proteína y su variación por el efecto del año, el genotipo, y la fertilidad. Los ensayos se realizaron en la Facultad de Agronomía de la UNLPam (36° 32' 49" S ; 64° 18' 20" W) durante 6 años, con 5 genotipos. Al tratamiento fertilizado se le agregó 100 kg.ha<sup>-1</sup> de urea al voleo en macollaje temprano. La campaña ejerció un gran efecto sobre el rendimiento. El peso hectolítrico (PH) también fue muy influenciado por el año y además por el genotipo. Sobre el porcentaje de proteína, en cambio, la fertilidad fue el factor más importante. No hubo una relación entre el grupo de calidad y el porcentaje de proteínas. El fertilizante nitrogenado en macollaje aumentó en los seis años el porcentaje de proteína, mientras que, al rendimiento solo en tres. El aumento del uso consuntivo durante el llenado de los granos provocó un aumento del PH y una disminución del contenido de proteínas en ambos tratamientos de fertilidad. El incremento de la temperatura durante el llenado disminuyó el PH y aumentó el porcentaje de proteína, solo en el tratamiento fertilizado.

**PALABRAS CLAVE:** *Triticum aestivum*; producción; peso hectolítrico; proteína

#### ABSTRACT

Bread wheat is important in the sub-humid dry Pampas region. It has great inter-annual variability in grain yield and quality. The objective was to evaluate the effect of the year, the genotype and the nitrogen fertilization in the grain yield and its quality. The tests were carried out in the Faculty of Agronomy of the UNLPam (36° 32' 49 "S; 64° 18' 20" W) for 6 years, with 5 genotypes. The fertilized treatment was added 100 kg.ha<sup>-1</sup> of broadcast urea in early tillering. The growth season exerted a great effect on grain yield. The test weight was very influenced by the growth season and also by the genotype. On the percentage of protein, instead, fertility was the most important factor. There was no relationship between quality group and protein percentage. The nitrogen fertilizer in tillering increased the six years the percentage of protein, whereas, the yield alone in three. Increased consumptive use during grain filling caused increased test weight and decreased protein content in both fertility treatments. The increase in temperature during the filling decreased the test weight and increased the percentage of protein, only in the fertilized treatment.

**KEY WORDS:** *Triticum aestivum*; production; test weight; protein

#### Cómo citar este trabajo:

Fernández, M. A., Zingaretti, O., y Castaño, M. (2019). Efecto del ambiente, el genotipo y la fertilidad sobre el rendimiento en grano de trigo pan y su calidad en la región subhúmeda-seca pampeana. *Semiárida*, 29(2), 11-24.

#### INTRODUCCIÓN

El trigo pan (*Triticum aestivum* L.) es el cultivo de invierno destinado a grano más importante en la producción agropecuaria de la región sub-húmeda seca pampeana, aunque los

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



rendimientos y la calidad del grano presentan gran variabilidad interanual.

Existen antecedentes en la región que indican que los factores climáticos (especialmente precipitaciones y temperaturas), son los más importantes en la definición del rendimiento de trigo, aportando el 56% de la variabilidad, mientras que el genotipo el 23% y el resto fue aportada por la interacción genotipo por año (Fernández, 2007).

Durante el llenado de los granos, el aumento de la disponibilidad de carbohidratos provoca una relación negativa entre rendimiento en grano y porcentaje de proteína (Oury & Godin, 2007; Maich et al., 2017). Esta caída de la proteína parece no estar ligada a efectos genéticos directos sino a un efecto de dilución debido a un aumento en la cantidad de carbohidratos (De Vita et al., 2007).

Ya desde la tolva de la cosechadora, se puede realizar una estimación rápida de la calidad del grano de trigo pan por medio de la valoración del Peso Hectolítrico (PH) y del contenido de proteína. El primero constituye un análisis de tipo físico y el segundo de tipo químico (Espitia et al., 2004), aunque se pueden estimar con sensores ubicados en la cosechadora.

El déficit de agua en el llenado de granos afecta de manera importante la conversión de sacarosa en almidón, mientras que tiene un menor efecto sobre la deposición de proteínas en el grano (Panozzo & Eagles, 1999). Como resultado, de esta combinación se generan granos pequeños y arrugados con alto contenido de proteínas y bajo rendimiento de harina (Guttieri et al., 2000; Shah & Paulsen, 2003; Guttieri et al., 2005; Zeleke & Nendel, 2016).

También el llenado de los granos se ve frecuentemente afectado por la temperatura (que a medida que aumenta acelera la senescencia del cultivo) (Gooding et al., 2003; Días & Lidon, 2009).

El PH y el porcentaje de proteína de un genotipo dependen además de la constitución genética y de la interacción de ésta con las condiciones ambientales (Fowler et al., 1990). La disponibilidad de agua y de nitrógeno son a menudo los factores más influyentes en la calidad del grano (Guttieri et al., 2005; Saint Pierre et al., 2008).

Terman (1979) demostró que la fertilización nitrogenada incide sobre el rendimiento de grano, el contenido proteico de los mismos y la calidad panadera del trigo. Además indicó que la incidencia de la fertilidad nitrogenada es variable según la disponibilidad de humedad edáfica, dosis de fertilizante aplicado, momentos de aplicación y genotipos investigados. En general, incrementos en el porcentaje de proteína ante el agregado de nutrientes están frecuentemente asociados a bajas respuestas en rendimientos. Por ello, el aumento en la disponibilidad de nitrógeno en períodos cercanos a la siembra del cultivo muestra resultados erráticos en términos de calidad y, en cambio, la mayor disponibilidad de nitrógeno en post-antesis puede contribuir a mejorar la calidad panadera de las harinas del cultivo de trigo (Dreccer et al., 2012).

El PH es el primer factor a tener en cuenta en la clasificación en grados dentro de la norma de comercialización del trigo (Norma XX de la Resolución SAGPyA N° 1262/2004). El PH es un requisito de los molinos harineros ya que indica indirectamente un mayor rendimiento de harina en la molienda. Los granos grandes y redondos, rinden más harina que los pequeños y arrugados (Shellenberger, 1980), pero la relación entre el PH y el rendimiento de harina disminuye a medida que el PH aumenta. Sobre todo esta relación se torna difusa a partir de un PH de 73 kg.hl<sup>-1</sup> (Zeleny, 1971).

El PH puede estar influenciado por factores intrínsecos (tamaño, forma, densidad, aspereza del pericarpio, humedad) y extrínsecos al grano (materias extrañas). En trigo pan se ha observado una relación inversa entre el PH y el contenido de proteínas, indicando que un PH bajo, considerado una propiedad no deseada, puede indicar un mayor nivel de proteínas (Tkachuk & Kuzina, 1979). Cuando se genera en el ambiente un déficit hídrico se produce un acortamiento marcado en la duración del llenado de los granos (Nicolas et al., 1985; Bhullar & Jenner, 1986). Del mismo modo, el aumento en la temperatura del aire durante el llenado efectivo de los granos produce reducción en el peso de grano asociado a un acortamiento en la duración del llenado (Sofield et al., 1977). Como resultado final, el incremento en la tasa de llenado de grano, por efecto de la alta

temperatura, no compensa la menor duración del llenado de grano (Sofield et al., 1977).

El PH puede ser un buen indicador para la selección de genotipos de trigo pan en ambientes hostiles en los que el rendimiento se ve reducido por factores ambientales (Maças et al., 2015). Dubois & Gaido (2006) encontraron una relación positiva entre rendimiento y PH, estudiando ocho genotipos de trigo pan. Por el contrario, Tkachuk & Kuzina (1979) y Li et al. (2011) encontraron una relación inversa entre las dos variables.

Los antecedentes muestran una relación negativa entre el rendimiento de grano y el contenido de proteína que ha sido conocida en trigo desde hace muchos años (Terman et al., 1969; Li et al., 2011). Recientemente, Dube et al. (2018) encontraron una relación positiva entre el PH y el rendimiento en grano, mientras que hubo una relación negativa entre la proteína y el rendimiento en grano dependiendo del ambiente de estudio. Yang et al. (2018) reportaron que la relación entre rendimiento y proteína dependió de la variedad, en una hubo relación inversa y en otra fue indiferente.

En el comercio internacional los trigos de calidad obtienen un precio superior. En Argentina se intenta clasificar en tres clases de trigo: Superior: lo integran variedades del Grupo 1 de Calidad, que deberían tener PH > 7,9 y proteína > 11% (entre otros atributos); Especial: lo integran variedades del Grupo 1 y 2 que logren PH > 7,6 y proteína > 10,5% y Standard: clase integrada por las variedades del Grupo 3 que deberían lograr un mínimo de PH > 7,3 y proteína > 10%. Las variedades de grupo 1 son correctoras y destinadas a la panificación industrial, las del grupo 2 a la panificación tradicional de más de 8 horas de fermentación y las de grupo 3 destinadas a la panificación directa de menos de 8 horas de fermentación. Conociendo el grupo al que pertenece la variedad y el contenido de proteína logrado en ese ambiente se está en condiciones de clasificar el trigo (Cuniberti, 2004).

Hipótesis:

- a) Los genotipos de grupo de calidad 1 tendrán en cualquier ambiente mayor porcentaje de proteínas.
- b) El agregado de fertilizante nitrogenado en

macollaje producirá un aumento en el porcentaje de proteína y del rendimiento en grano del trigo en la región subhúmeda-seca pampeana.

c) La disminución del uso consuntivo durante el llenado de los granos producirá una disminución del PH y un aumento del contenido de proteínas.

d) Al aumentar la temperatura durante el llenado disminuirá el PH y aumentará el porcentaje de proteína.

Objetivo:

Evaluar el rendimiento de grano ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), el PH y el contenido de proteína y su variación por el efecto del año, el genotipo, y la fertilidad, en la región subhúmeda seca pampeana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Descripción experimental y manejo agronómico*

Los ensayos fueron realizados en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la UNLPam., ubicado en  $36^{\circ} 32' 49''$  S y  $64^{\circ} 18' 20''$  W, a 210 msnm, en el período 2010-2016. La región se ha clasificado climáticamente como subhúmeda-seca para cultivos invernales, en base a la humedad disponible en el período crítico que es el mes alrededor de la espigazón (Pascale & Damario, 2004). En general, la región de estudio está en el límite entre la región templada sub-húmeda y fría sub-húmeda, de acuerdo a la clasificación climática desarrollada específicamente para la Región Pampeana por Díaz & Mormeneo (2002) y pertenece a la templada sub-húmeda en la propuesta realizada por Aliaga et al. (2017).

El suelo donde se realizaron los ensayos, se ha re-clasificado recientemente como Paleustol petrocálcico, debido a cambios generados por el Soil Survey Staff (2014). Las proporciones de arcilla, limo y arena son: 10, 25 y 65%, respectivamente, lo clasifican como franco arenoso, con escasa pendiente superficial y un manto de tosca en el subsuelo, a una profundidad que varió entre 0,8 y 1,2 metros. Las variedades que se utilizaron se describen en la Tabla 1. La fecha de siembra osciló entre el 29 de junio y 14 de julio, dependiendo de la posibilidad operativa de la misma. La densidad de

Tabla 1. Descripción de las características agronómicas de los genotipos utilizados  
Table 1. Description of the agronomic characteristics of the genotypes used

Genotipo	Criadero	Origen	Año Inscripción	Ciclo	PMG	Grupo de Calidad
Abate	PROSEME	Italia	2004	I-C	Bajo	desconocida
ACA 601	ACA	Argentina	2003	I	Alto	1 <sup>a</sup>
Buck Baqueano	BUCK	Argentina	2007	I-L	Medio	2 <sup>b</sup>
Buck Guaraní	BUCK	Argentina	1994	I-C	Medio	3 <sup>c</sup>
Baguette Premium 13	NIDERA	Holanda	2001	I	Alto	1 <sup>a</sup>

Referencias:

I: Intermedio. L: Largo. C: Corto

a: Grupo de calidad I por INASE (2014), panificación industrial

b: Grupo de calidad II por INASE (2010), panificación tradicional (+ de 8 horas de fermentación)

c: Grupo de calidad III por Cuniberti (2004), para panificación directa (- de 8 horas de fermentación)

siembra buscada fue de 250 semillas viables.m<sup>-2</sup>. La cama de siembra fue preparada en sistema convencional con barbecho previo generalmente iniciado a principios de marzo y luego mantenido con labores mecánicas de repaso. El cultivo antecesor siempre fue una pastura asociada entre alfalfa (*Medicago sativa* L.) y festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) o cebadilla criolla (*Bromus catharticus* Vahl.), según el año.

El diseño experimental estuvo realizado en bloques completamente aleatorizados, con tres réplicas de cada tratamiento en parcelas estándar de 6 metros de largo por 1,4 metros de ancho; con siete surcos separados a 0,20 metro entre ellos. La fertilidad del suelo fue modificada a la siembra con un “arracador” en todas las parcelas mediante el agregado de 70 kg.ha<sup>-1</sup> de superfosfato simple (N-P-K = 0-21-0). Al tratamiento denominado “fertilizado” se le agregó 100 kg.ha<sup>-1</sup> de urea al voleo en macollaje temprano (Z14-21 del código decimal de Zadoks et al., 1974). El control de las malezas fue realizado con una combinación de los herbicidas Metsulfurón Metil (6 g i.a. ha<sup>-1</sup>) y Dicamba (100 cm<sup>3</sup> i.a. ha<sup>-1</sup>), en el estado Z13 a Z14 de Zadoks et al. (1974).

### Mediciones en el cultivo

Rendimiento de grano: Se determinó trillando un metro cuadrado del cultivo (tres surcos x 1,67 m de largo). Las muestras de grano obtenidas

fueron llevadas a peso constante en estufa de circulación forzada a 60°C durante 48 h. El rendimiento se expresó en kg.ha<sup>-1</sup> a una humedad del grano de 13,5% BH.

Índices de calidad: a) Peso Hectolítrico, determinado por el método físico con balanza de Shöpper. b) Porcentaje de proteínas, determinado por el Micro Método de Kjeldhal modificado para ácido bórico (Método 46-12, AACC, 2000). Los valores de proteína se calcularon como N (nitrógeno) x 5,7 y ajustados a 13,5% de humedad.

### Mediciones en el suelo

Los parámetros del suelo promedio de todos los años evaluados al momento de la siembra fueron: materia orgánica; 1,25% ± 0,31; fósforo disponible (Bray I); 13,7 ppm ± 2,2 y nitrógeno de nitratos: de 0 a 30 cm de profundidad 11,8 ppm ± 4,8 y de 30 a 60 cm de prof. 4,9 ppm ± 2,7.

El agua útil se determinó por el método gravimétrico durante el periodo de llenado de los granos (entre Z59 y Z89, Zadoks et al., 1974). El uso consuntivo de agua (UC) en el período fue calculado de la siguiente manera:

$$UC = AUI - AUF + Lluvias \text{ (pluviómetro).}$$

Dónde: AUI = agua útil al inicio y AUF = agua útil al final

### Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con un

ANAVA de cada año. Primeramente se compararon las varianzas (cuadrado medio del error, CME) de cada año y así se determinó la posible heterogeneidad de las mismas. Se utilizó el criterio de Box citado por Pimentel Gomes (1978) quien mencionó que el cociente entre el CME mayor y el CME menor no debe ser superior a tres. Luego el análisis de grupo de experimentos se basó en un modelo donde el efecto del año (ambiente) se consideró aleatorio semejante al desarrollado por Petersen (1994).

Se realizaron regresiones lineales entre los factores temperatura y uso consuntivo durante el llenado de los granos y el rendimiento en grano y entre las variables PH, contenido de proteína y rendimiento. Todos los análisis se realizaron utilizando el software estadístico

INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2018).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se describen los años desde el punto de vista climático (temperatura y lluvias) en los que se estudió el rendimiento en grano, el peso hectolítrico y la proteína del grano de los distintos genotipos. En el período estudiado se registró una gran variabilidad en las precipitaciones mensuales y menor variabilidad en las temperaturas medias mensuales. El año 2010 tuvo una precipitación anual semejante al promedio histórico, con una buena recarga en otoño, un invierno seco y una primavera con un buen comienzo en septiembre, pero con estrés hacia el final. El año 2011 fue semejante al anterior con una pequeña diferencia hacia al

Tabla 2. Precipitación mensual, evapotranspiración potencial y temperatura media mensual en Santa Rosa, La Pampa, Argentina

Table 2. Monthly rainfall, potential evapotranspiration and monthly average temperature in Santa Rosa, La Pampa, Argentine

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total anual (mm)
Evapotranspiración Potencial (mm.mes <sup>-1</sup> )	135,1	107,2	88,6	51,5	30,6	16,1	15,3	25,1	39,1	66,8	93,7	127,2	796
Precipitación media mensual (mm.mes <sup>-1</sup> ) *	87,9	74,3	96,8	56,1	32,3	14,9	20,7	22,8	45,1	72,2	81,9	98,8	704
2010	66,9	143,3	231,6	4,5	1,2	6,6	2,8	0,0	133,6	59,6	36,0	12,7	699
2011	170,8	47,0	70,2	140,2	8,6	8,8	28,0	11,5	3,8	62,3	126,1	42,1	719
2012	88,1	178,8	69,3	61,0	1,0	1,1	0,0	144,3	18,9	192,5	82,3	86,1	923
2013	20,5	71,3	63,5	37,6	5,1	0,0	10,5	4,9	64,0	91,7	73,9	61,6	505
2015	99,2	92,0	105,2	112,8	25,2	1,4	11,5	10,6	62,7	88,4	73,6	145,7	828
2016	187,7	197,0	6,5	116,1	71,0	33,9	26,6	0,0	35,3	253,2	58,1	19,0	1004
													Promedio anual (°C)
Temperatura media mensual (°C) *	23,2	22,2	19,7	15,4	11,4	8,2	7,7	9,7	12,4	15,8	19,2	22,0	15,6
2010	24,4	21,6	20,6	13,9	11,6	9,3	6,5	8,9	12,5	15,3	19,0	23,1	15,6
2011	22,5	21,6	19,6	15,9	12,0	7,7	7,9	8,8	14,0	15,3	21,3	23,0	15,8
2012	25,6	22,1	20,0	14,9	12,7	8,6	6,9	9,9	12,9	15,8	19,8	21,3	15,9
2013	23,3	22,2	17,1	17,1	11,9	9,5	8,1	10,0	11,2	16,7	20,4	25,5	16,1
2015	23,8	22,2	21,8	17,0	13,4	9,6	9,0	11,2	11,4	12,6	18,5	22,5	16,1
2016	22,8	22,5	19,8	13,7	10,0	7,6	7,5	10,8	12,0	14,5	18,4	23,1	15,2

\* Observatorio meteorológico Ing. Arg. Juan C. Lasalle, Facultad de Agronomía de la UNLPam  
La evapotranspiración potencial para el lugar de estudio fue determinada por el método de Thornthwaite (1948)

final, una primavera moderadamente seca y noviembre con buena precipitación. En el año 2012 hubo más lluvia que el promedio, aunque con una escasa recarga en otoño, principio de invierno seco y luego lluvias suficientes para el cultivo. El año 2013 fue de precipitaciones menores al promedio con escasa recarga en otoño, invierno seco y una primavera con precipitaciones algo superior a lo normal que permitió en alguna medida la recuperación del cultivo. Los años 2015 y 2016 tuvieron precipitaciones algo superior a lo normal con una buena distribución para el desarrollo de los cultivos.

El ANAVA de cada uno de los años se muestra en la Tabla 3. El diseño en bloques estuvo justificado estadísticamente en los años 2010, 2011, 2012, 2013 y 2015. El factor “genotipo” mostró diferencias significativas en los años 2010, 2015 y 2016. El factor “fertilidad” fue significativo estadísticamente los años 2012, 2015 y 2016. La interacción “genotipo” por “fertilidad” fue significativa los años 2012 y 2016.

El efecto del ambiente sobre los genotipos se pudo valorar realizando un ANAVA de todos los años en un análisis conjunto. Para ello, tal como se describió en la metodología, se comparó el CME mayor obtenido en el año 2011, que fue 1,87 veces superior al CME menor del año 2015, cumpliendo con el criterio propuesto por Box (citado por Pimentel Gomes, 1978) quien propuso que el cociente entre el CM mayor y el CM menor no debe ser superior a tres.

En la Tabla 4 se vuelca el ANAVA conjunto de los experimentos analizado con el paquete estadístico INFOSTAT versión 2018 (Di Rienzo et al., 2018). Los factores “genotipo” y “fertilidad” fueron considerados como efectos fijos, en tanto que ambientes y los bloques, como efectos aleatorios. El efecto del año sobre el rendimiento en grano fue el que mayor proporción de la variabilidad aportó al ANAVA (67,7%), similar proporción a la encontrada por Aktaş (2016) (75,9%). De menor magnitud fue la variabilidad debida al genotipo (4,1%) y las interacciones sumadas explicaron el 25,7%, siendo la más importante la interacción año por variedad con 15,6%. El factor “fertilidad” fue el

de menor aporte a la variabilidad (2,5%) (Tabla 4). Farshadfar et al. (2011), utilizando el modelo AMMI, encontraron también que la mayor proporción de la variación fue explicada por el ambiente, seguido por la IGA y el genotipo (que fue 5 veces menor que la IGA).

El efecto del Año sobre el PH fue el que mayor proporción de la variabilidad aportó al ANAVA (50,7%). El genotipo fue el segundo factor en aportar variabilidad (24,7%) y las interacciones sumadas explicaron el 20,4%, siendo la más importante la interacción año por variedad con 12,8%. El factor “fertilidad” fue el de menor aporte a la variabilidad (4,8%) (Tabla 4).

En el análisis del porcentaje de proteína, el factor que mayor variabilidad aportó al ANAVA fue la fertilidad (50,0%). Luego le siguió el factor año (32,2%) y las interacciones sumadas explicaron el 16,8%, siendo la más importante la interacción año por variedad con 7,4%. El factor “genotipo” fue el de menor aporte a la variabilidad (1,0%) (Tabla 4).

En resumen, sobre el rendimiento en grano el año ejerció un efecto preponderante, tanto que dos tercios de la variabilidad fue aportada por este factor. El PH también fue muy influenciado por el Año, una mitad de la variabilidad total y el Genotipo es un factor a tener en cuenta porque explicó un cuarto de la variabilidad total. En la variable porcentaje de proteínas, en cambio, la fertilidad fue el factor más importante en aportar variabilidad (mitad), luego le siguió el año (un tercio). A pesar de que los genotipos pertenecen a distintos grupos de calidad (Tabla 1) y si bien existen diferencias significativas entre los mismos, tienen menor injerencia sobre el porcentaje de proteína que la fertilidad y el año.

En el período analizado el mayor el rendimiento en grano lo mostró la variedad Buck Guaraní con un promedio de 4.069 kg.ha<sup>-1</sup>, el genotipo más antiguo liberado al mercado (1994) (Tabla 5). Solamente en 3 de los 6 años hubo respuesta al agregado de fertilizante nitrogenado en macollaje.

El mayor PH promedio lo presentó el genotipo ACA 601 (81,2 kg.hl<sup>-1</sup>) (Tabla 5). Los dos genotipos de grupo de calidad 1, ACA 601 y Baguette Premium 13, siempre lograron

Tabla 3. Análisis de la varianza del rendimiento en grano, año por año de los distintos tratamientos

Table 3. Analysis of variance of grain yield year-by-year of the different treatments

Año	CV (%)	FV	Bloque	Genotipo	Fert.	Var. X Fert.	CM Error
2010	10,9	CM	2633840	1294695	39096	195396	184224
		F	14,3	7,03	0,21	1,045	
		Valor de P	<b>0,0002</b>	<b>0,0014</b>	0,6505	0,4044	
2011	18,8	CM	1193357	86777	71345	61988	264493
		F	4,51	0,33	0,27	0,23	
		Valor de P	<b>0,0258</b>	0,855	0,61	0,9153	
2012	7,9	CM	2459664	618935	5748314	850607	141267
		F	17,41	4,38	40,69	6,02	
		Valor de P	<b>0,0001</b>	0,12	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0029</b>	
2013	13,5	CM	1684513	264782	197154	241879	151417
		F	11,12	1,75	1,3	1,6	
		Valor de P	<b>0,0007</b>	0,1833	0,2687	0,2181	
2015	9,7	CM	2319385	594557	872789	289749	141175
		F	16,43	4,21	6,18	2,05	
		Valor de P	<b>0,0001</b>	<b>0,014</b>	<b>0,0229</b>	0,1298	
2016	9,3	CM	70,994	4840102	3610188	657616	178265
		F	0,39	27,15	20,25	3,69	
		Valor de P	0,6795	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,0231</b>	

CV= Coeficiente de variación; FV= Fuente de variación; CM= Cuadrado medio

Tabla 4. Análisis del efecto ambiental sobre el rendimiento en grano, peso hectolítrico y porcentaje de proteína, como grupo de experimentos

Table 4. Analysis of environmental effect on grain yield, test weigh and protein percentage as a group of experiments

Fuente de Variación	g.l.	Rendimiento en grano (kg ha <sup>-1</sup> )		Peso hectolítrico (kg hl <sup>-1</sup> )		Porcentaje de proteína (%)	
		p	% S.C.	p	% S.C.	p	% S.C.
Año	5	0,0002	67,7	<0,0001	50,72	<0,0001	32,19
Año>Bloque	12		Error 1		Error 1		Error 1
Genotipo	4	<0,0001	4,1	<0,0001	24,07	<0,0001	1,03
Fertilidad	1	<0,0001	2,5	<0,0001	4,78	<0,0001	49,99
AñoxGenotipo	20	<0,0001	15,6	<0,0001	12,76	<0,0001	7,35
AñoxFertilidad	5	<0,0001	4,2	<0,0001	4,09	<0,0001	4,46
GenotipoxFertilidad	4	0,1005	0,9	<0,0001	1,27	<0,0001	0,85
AñoxGenotipoxFertilidad	20	0,0052	5	0,0006	2,32	<0,0001	4,13
Error	108		Error 2		Error 2		Error 2
Total	179						

Tabla 5. Efecto del Año, el genotipo y la fertilidad sobre el rendimiento en grano (kg.ha<sup>-1</sup>), el peso hectolítrico (kg.hl<sup>-1</sup>) y el contenido de proteína (%)

Table 5. Effect of the year, genotype and fertility on grain yield (kg.ha<sup>-1</sup>), test weight (kg.hl<sup>-1</sup>) and protein content (%)

GENOTIPO	AÑO												Promedio	
	2010		2011		2012		2013		2015		2016			
	Fertilizado	Testigo												
Rendimiento en grano (kg.ha <sup>-1</sup> )														
Abate	4672	4220	2759	2779	4985	4310	2982	2888	3311	3503	3091	3128	3552	
ACA 601	4167	4624	2891	2652	5267	3824	3127	3195	4363	3727	5496	3866	3933	
Baguette P 13	3384	3386	2558	2586	4674	5017	2513	3202	4281	3902	5279	4217	3750	
Baqueano	3456	3821	2842	2928	5280	3796	2351	2796	4079	3201	4706	4445	3642	
Guaraní	3914	3902	2846	2462	5868	4740	3009	2710	4098	4093	5873	5320	4069	
Promedio	3919	3991	2779	2681	5215	4337	2796	2958	4026	3685	4889	4195		
DMS	736		882		1030		102		668		544		858 788	
Int. Gen. x Fert.	NS		NS		** P=0,0029				NS		NS		* P=0,0231	
Peso hectolítrico (kg.hl <sup>-1</sup> )														
Abate	78,5	80,3	77,5	79,3	79,3	78,8	76,1	74,9	77,0	76,0	77,0	76,2	77,6	
ACA 601	81,4	84,2	79,5	81,2	83,3	83,4	76,7	80,7	78,6	79,6	82,6	83,5	81,2	
Baguette P 13	79,1	83,4	78,8	77,0	83,3	84,9	76,5	78,7	79,5	78,0	82,4	83,6	80,4	
Baqueano	78,5	79,1	74,2	78,4	80,9	81,3	74,5	74,7	76,4	77,0	81,3	82,0	78,2	
Guaraní	79,3	82,5	78,3	80,0	82,1	82,8	73,8	77,8	77,5	76,6	84,1	84,1	79,9	
Promedio	79,4	81,9	77,7	79,2	81,8	82,2	75,5	77,4	77,8	74,4	81,5	84,1		
DMS	1,71		1,25		1,5		1,31		0,24		1,21		0,66 1,47	
Int. Gen. x Fert.	NS		NS		NS				** P<0,0001		** P=0,0012		NS	
Contenido de proteína (%)														
Abate	14,3	11,2	14,0	9,8	11,3	10,6	14,3	11,3	12,8	8,7	12,2	8,5	11,6	
ACA 601	12,4	11,0	14,3	11,2	12,0	9,5	16,6	11,9	12,9	10,6	11,4	10,2	12,0	
Baguette P 13	15,3	10,5	13,7	9,9	11,7	9,0	16,5	11,5	11,3	9,6	10,6	8,1	11,5	
Baqueano	14,0	12,1	14,5	11,3	12,3	9,6	15,8	11,7	11,9	10,2	10,5	9,5	11,9	
Guaraní	15,8	11,4	14,6	9,3	11,7	10,1	14,5	10,3	13,8	11,9	10,3	8,7	11,9	
Promedio	14,4	11,2	14,2	10,3	11,8	9,8	15,5	11,3	12,5	10,2	11,0	9,0		
DMS	1,09		0,9		1,0		0,73		1,2		0,74		1,05 0,84 0,83 0,95 0,93 0,79	
Int. Gen. x Fert.	** P<0,0001		** P=0,003		* P=0,0139				* P=0,0214		** P=0,0024		** P=0,0002	

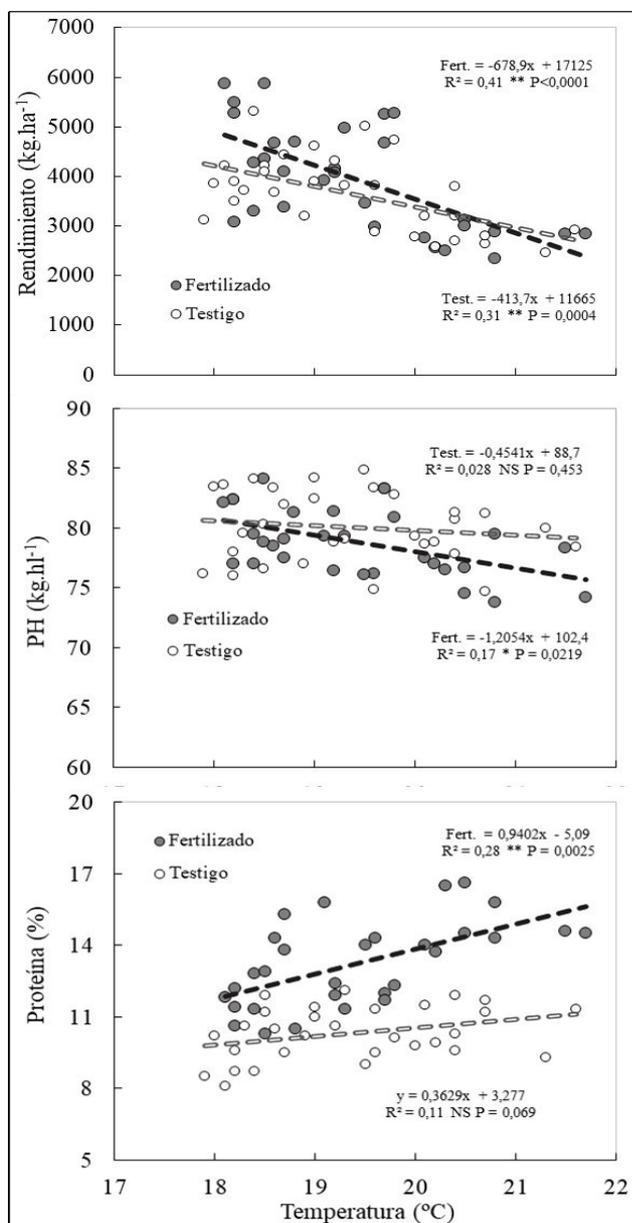


Figura 1. Relación entre el rendimiento en grano (a), el peso hectolítrico (b) y el porcentaje de proteína (c) del grano de trigo pan y la temperatura media durante el llenado del grano

Figure 1. Relationship between grain yield (a), test weight (b) and protein percentage (c) of wheat bread grain and the average temperature during grain filling

clasificar al menos en grado 2 de la norma XX. El agregado de fertilizante nitrogenado en macollaje generalmente fue contraproducente con el PH (excepto en el año 2015). Esto puede deberse a que con mayor fertilidad nitrogenada se fecundan granos distales de la espiga y en condiciones ambientales con limitaciones tienen un pobre llenado (Fernández, 2007). Coinciden con esto los resultados obtenidos por Saint Pierre et al. (2008). En cambio en ensayos realizados en Chile, con condiciones ambientales para altos rendimientos, a mayor fertilidad, mayor PH (Campillo et al., 2010).

El porcentaje de proteína promedio más alto lo presentó el genotipo ACA 601 (12,0%) de grupo de calidad 1 (Tabla 5), mientras que Baguette Premium 13, también del grupo de calidad 1, fue el de menor % promedio. En el caso de Buck Guaraní, del grupo de calidad 3, resultó segundo junto a Buck baqueano de grupo de calidad 2 (11,9%). En los 6 años analizados hubo respuesta del contenido de proteína al agregado de fertilizante nitrogenado en macollaje, siendo el aumento promedio 2,9%. Este aumento permite lograr bonificación por contenido de proteína. Estos resultados se corresponden con los obtenidos en un ambiente de alto rendimiento (Oregon, USA), en que la fertilización nitrogenada a principios de encañazón produjo un 2,7% de aumento en el contenido de proteína, según Saint Pierre et al. (2008).

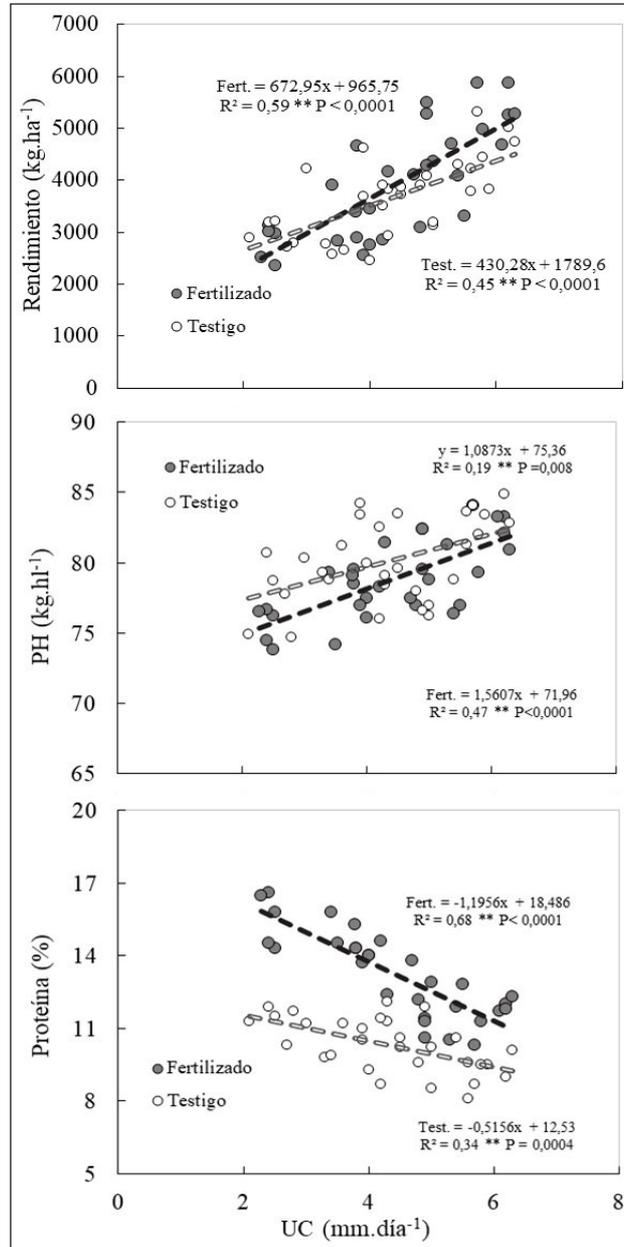


Figura 2. Relación entre el rendimiento en grano (a), el peso hectolítrico (b) y el porcentaje de proteína (c) del grano de trigo pan y el uso consuntivo durante el llenado del grano

Figure 2. Relationship between grain yield (a), test weight (b) and protein percentage (c) of wheat bread grain and the consumptive use during grain filling

Con el objetivo de explicar el efecto tan importante del año sobre el rendimiento, el PH y el contenido de proteína se realizaron regresiones lineales con la temperatura media y el uso consuntivo durante el llenado de los granos.

Si bien el óptimo de temperatura para el desarrollo del trigo entre anthesis y llenado de los granos oscila entre 12 y 22°C (Shewry, 2009), el aumento de la temperatura media durante el llenado de los granos disminuyó el rendimiento en grano, con una pendiente mayor en los tratamientos fertilizados (Figura 1a). El aumento de la temperatura media durante el llenado de los granos no influyó sobre el PH del tratamiento testigo, pero si su aumento provocó la disminución significativa en el tratamiento fertilizado (Figura 1b). Por último, el aumento de la temperatura media durante el llenado de los granos aumentó el porcentaje de proteína en el tratamiento fertilizado, semejante a lo reportado por Lizana & Calderini (2013), mientras que en el tratamiento testigo no alcanzó a ser estadísticamente significativo (Figura 1c).

El aumento del uso consuntivo durante el llenado de los granos aumentó significativamente el rendimiento en grano con una pendiente mayor en los tratamientos fertilizados (Figura 2a). También el aumento del uso consuntivo durante el llenado de los granos aumentó significativamente el PH de ambos tratamientos de fertilidad, coincidente con lo reportado por

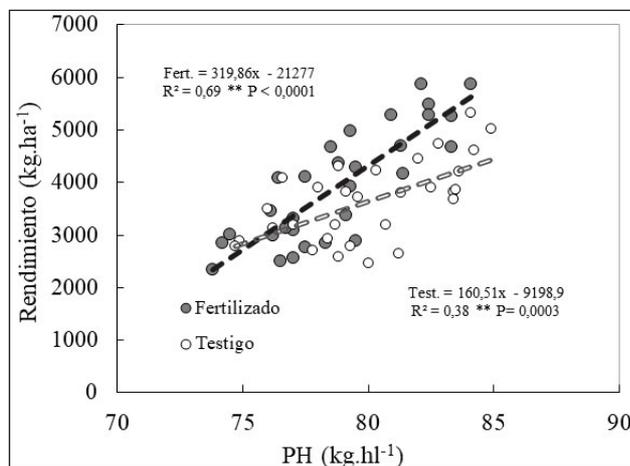


Figura 3. Relación entre el rendimiento en grano y el peso hectolítrico de trigo pan

Figure 3. Relationship between grain yield and the test weight of bread wheat

Yang et al. (2018) (Figura 2b). Por último, el aumento del uso consuntivo durante el llenado de los granos disminuyó el porcentaje de proteína en ambos tratamientos de fertilidad, aunque más marcadamente en el tratamiento fertilizado. Cuando el uso consuntivo fue menor a 4 mm.día<sup>-1</sup>, el porcentaje de proteína fue superior a 13% en el tratamiento fertilizado (Figura 2c). Esto coincide con Terman et al. (1969) quienes observaron que aumentar la concentración de proteína en el grano con fertilización nitrogenada ha sido más eficiente en áreas más secas y de bajo rendimiento ya que cuando los rendimientos son altos, se produce en el grano una dilución de la proporción de proteínas por un aumento en la producción de carbohidratos.

El PH de ambos tratamientos de fertilidad fue positivamente asociado al rendimiento en grano con una pendiente mayor en los tratamientos fertilizados (Figura 3). A semejante resultado arribaron Mohammadi et al. (2012) y Dube et al. (2018). Por el contrario, el porcentaje de proteína estuvo negativamente relacionado al rendimiento en grano en el tratamiento fertilizado, mientras que no se detectó una asociación en el tratamiento testigo (Figura 4a). Los antecedentes muestran una relación

negativa entre el rendimiento de grano y el contenido de proteína que ha sido descrita en trigo desde hace muchos años (Terman et al., 1969; Li et al., 2011).

El porcentaje de proteína estuvo inversamente relacionado al PH en el tratamiento fertilizado, mientras que no se detectó una asociación significativa en el tratamiento testigo (Figura 4b). Dubois & Gaido (2006) no encontraron una relación entre estas variables, estudiando ocho genotipos de trigo pan. Por el contrario, varios investigadores encontraron una relación inversa entre las dos variables (Tkachuk & Kuzina, 1979; Li et al., 2011; Yang et al., 2018).

Dube et al. (2018) en cuatro regiones de Sudáfrica encontraron una asociación positiva entre el rendimiento en grano y el PH y negativa con el contenido de proteína.

## CONCLUSIONES

Contrariamente a lo esperado no hubo una clara asociación entre el grupo de calidad del genotipo utilizado y el porcentaje de proteínas.

El agregado de fertilizante nitrogenado en macollaje aumenta el contenido de proteína (2,9% en promedio), siendo suficiente para obtener el 11% que requiere el trigo calidad superior. El rendimiento de grano solo aumentó en la mitad de los años con nitrógeno en macollaje, haciéndolo una práctica de errática respuesta.

El aumento del uso consuntivo durante el llenado de los granos provoca un aumento del PH y una disminución del contenido de proteínas en ambos tratamientos de fertilidad. Cuando existe estrés hídrico durante el llenado (UC menor a 4 mm.d<sup>-1</sup>) fue modificado en mayor medida el contenido de proteínas que el PH. El aumento de la temperatura durante el llenado disminuyó el PH y aumentó el contenido de proteína, solo en

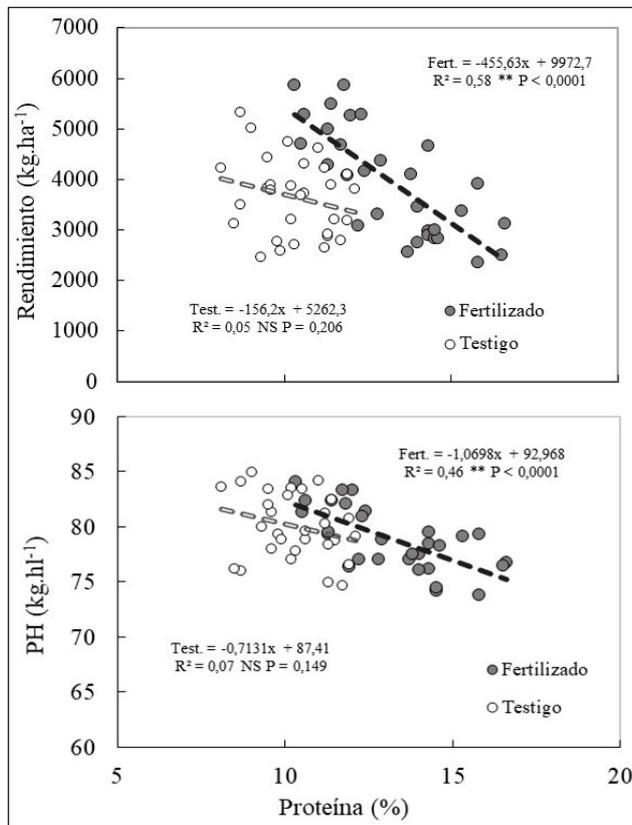


Figura 4. Relación entre el rendimiento en grano (a) y el peso hectolítrico de trigo pan con el porcentaje de proteína del grano.

Figure 4. Relationship between grain yield (a) and test weight (b) of bread wheat whit grain protein percentage.

el tratamiento fertilizado.

## BIBLIOGRAFÍA

- AACC International. (2000). *Approved methods of American Association of Cereal Chemists*, 10th Ed. Method 08-01, Method 30-25 and Method 46-13. The Association: St. Paul, MN.
- Aliaga, V. S., Ferrelli, F., & Piccolo, M. C. (2017). Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International Journal of Climatology*, 37, 1237-1247.
- Aktaş, H. (2016). Tracing highly adapted stable yielding bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for greatly variable South-Eastern Turkey. *Applied Ecology & Environmental Research*, 14, 159-176.
- Bhullar, S. S. & Jenner, C. F. (1986). Effects of a brief

episode of elevated temperature on grain filling in wheat ears cultured on solutions of sucrose. *Australian journal of plant physiology*, 13, 617-626.

Campillo, R., Jobet, C., & Undurraga, P. (2010). Effects of nitrogen on productivity, grain quality, and optimal nitrogen rates in winter wheat cv Kumpalnia in andisols of southern Chile. *Chilean journal of agricultural research*, 70, 122-131.

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

De Vita, P., Li Destri Nicosia, L., Nigro, F., Platani, C., Riefolo, C., Di Fonzo, N., & Cattivelli, L. (2007). Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. *European Journal of Agronomy*, 26, 39-53.

Dias, A. S., & Lidon, F. C. (2009). Evaluation of grain filling rate and duration in bread and durum wheat, under heat stress after anthesis. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195, 137-147.

Díaz, R. A., y Mormeneo, I. (2002). Zonificación del clima de la Región Pampeana mediante análisis de conglomerados con consenso. *Revista Argentina de Agrometeorología*, 2, 125-131.

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (2018). InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>

Dubois, M. E., y Gaido, Z. A. (2006). Calidad panadera de nuevos genotipos de trigo pan *Agriscientia*, 23, 105-108.

Dube, E., Kilian, W., Mwandzingeni, L., Sosibo, N. Z., Barnard, A., & Tsilo, T. J. (2018). Genetic progress of spring wheat grain yield in various production regions of South Africa. *South African Journal of Plant and Soil*, 36, 33-39.

Dreccer, M., Ruiz, R., Maddonni, G., y Satorre, E. (2012). Bases ecofisiológicas de la nutrición en los cultivos de grano. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Capítulo 18. Ed. Fac. Agronomía, UBA.

Espitia, E., Villaseñor, H., Peña, E., Roberto, J., Huerta

- J., y Limón, A. (2004). Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. II. Variabilidad genética y criterios de selección. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27, 41-47.
- Farshadfar, E., Mahmodi, N., & Yaghotipoor, A. (2011). AMMI stability value and simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 5, 1837-1844.
- Fernández, M. A. (2007). Estrategias para mejorar el rendimiento de cereales graníferos invernales en la Región Semiárida Pampeana Central. (Tesis Maestría) Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Fowler, D. B., Brydon, J., Darroch, B. A., Entz, M. H., & Johnston, A. M. (1990). Environment and genotype influence on grain protein concentration of wheat and rye. *Agronomy Journal*, 82, 666-664.
- Gooding, M. J., Ellis, R. H., Shewry, P. R., & Schofield, J. D. (2003). Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Science*, 37, 295-309.
- Guttieri, M. J., Ahmad, R., Stark, J. C., & Souza, E. (2000). End-use quality of six hard red spring wheat cultivars at different irrigation levels. *Crop Science*, 40, 631-635.
- Guttieri, M. J., McLean, R., Stark, J. C. & Souza, E. (2005). Managing irrigation and nitrogen fertility of hard spring wheat's for optimum bread and noodle quality. *Crop Science*, 45, 2049-2059.
- INASE. (2010). Calidad industrial de variedades de trigo pan grupos de calidad. Comité de Cereales de Invierno de la Comisión Nacional de Semillas – INASE. Recuperado de <http://www.marcosjuarez.com/Admin/Archivos/File/2010/TRIGO.pdf> f. Visitada marzo 2019.
- INASE. (2014). Calidad industrial de variedades de trigo pan grupos de calidad. Comité de Cereales de Invierno de la Comisión Nacional de Semillas – INASE. Recuperado de [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_gpos\\_calidad\\_trigopan\\_14.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_gpos_calidad_trigopan_14.pdf). Visitada marzo 2019.
- Li, P., Chen J. & Wu, P. (2011). Agronomic characteristics and grain yield of 30 spring wheat genotypes under drought stress and non-stress conditions. *Agronomy Journal*, 103, 1619-1628.
- Lizana, X. C., & Calderini D. F. (2013). Yield and grain quality of wheat in response to increased temperatures at key periods for grain number and grain weight determination: considerations for the climatic change scenarios of Chile. *Journal of Agricultural Science*, 151, 209-221.
- Maças, B., Coutinho, J., Almeida, A., Costa, R., Pinheiro, N., Gomes, C., Coco, J., Costa, A., Bagulho, A., & Jézequel, S. (2015). Designing wheat ideotype for Portugal understanding and reducing yield gap under Mediterranean climate. Conference paper. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/283642602>.
- Maich, R. H., Steffolani, M. E., Di Rienzo, J. A. & León, A. E. (2017). Association between grain yield, grain quality and morpho-physiological traits along ten cycles of recurrent selection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Research Communications*, 45, 146-153.
- Mohammadi, M., Sharifi, P., Karimizadeh, R., & Shefazadeh, M. K. (2012). Relationships between grain yield and yield components in bread wheat under different water availability (dryland and supplemental irrigation conditions). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40, 195-200.
- Nicolas, M., Lambers, H., Simpson, R. J., & Dalling, M. J. (1985). Effect of drought on metabolism and partitioning of carbon in two wheat varieties differing in drought-tolerance. *Annals Botany*, 55, 727-742.
- Oury, F. X., & Godin, C. (2007). Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favorable genotypes?. *Euphytica*, 157, 45-57.
- Panozzo, J. F., & Eagles, H. A. (1999). Rate and duration of grain filling and grain nitrogen accumulation of wheat cultivars grown in different environments. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50, 1007-1015.
- Petersen, R. G. (1994). *Agricultural field experiments. Design and analysis*. New York, EEUU: Marcel Dekker, Inc.
- Pimentel Gomes, F. (1978). *Curso de estadística experimental*. Buenos Aires, Argentina: Ed. Hemisferio Sur.
- Pascale, A. J., y Damarío, E. A. (2004). Clasificación por tipos agroclimáticos del cultivo de trigo. En: Bioclimatología agrícola y agroclimatología. (A. J. Pascale & E. A. Damarío Eds.). Fac. de Agron. Buenos Aires, Arg. p. 418-436.
- Saint Pierre, C., Peterson, C. J., Ross, A. S., Ohm, J. B., Verhoeven, M. C., Larson, M., & Hoefler, B. (2008). Winter wheat genotypes under different levels of nitrogen and water stress: Changes in grain protein composition. *Journal Of Food Science*, 47, 407-416.
- Shah, N. H., & Paulsen, G. M. (2003). Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. *Plant & Soil*, 257, 219-226.
- Shellenberger, J. A. (1980). Advances in milling technology. p. 227-270. En: *Advances in cereal science and technology* (Y. Pomeranz Ed.). St. Paul, Minn, EEUU. Am. Assoc. Cereal Chemists.
- Shewry, P. R. (2009). Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60, 1537-1553. doi:10.1093/jxb/erp058.
- Sofield, L., Evans, T., Cook, M. G., & Wardlaw, I. F. (1977). Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Australian journal of plant*

Fernández, M. A., Zingaretti, O., y Castaño, M.

- physiology*, 4, 785-797.
- Soil Survey Staff. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos. Cap. 12: Molisoles. Dpto. Agric. de USA-Serv. Conservación Rec. Nat. (12nd ed.), USDA, 400 pág.
- Terman, G. L. (1979). Yields and protein content of wheat grain as affected by cultivar, N, and environmental growth factors. *Agronomy Journal*, 71, 437-440.
- Terman, G. L., Ramig, R. E., Dreier, A. F., & Olson, R. A. (1969). Yield-protein relationships in wheat grain, as affected by nitrogen and water. *Agronomy Journal*, 61, 755-759.
- Tkachuk, R., & Kuzina, F. D. (1979). Wheat: relations between some physical and chemical properties. *Canadian Journal of Plant Science*, 59, 15-20.
- Yang, R., Liang, X., Torrion, J. A., Walsh, O. S., O'Brien, K., & Liu, Q. (2018). The influence of water and nitrogen availability on the expression of end-use quality parameters of spring wheat. *Agronomy*, 8, 1-15. doi:10.3390/agronomy8110257.
- Zadoks, J. C., Chang T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*. 14, 415-421.
- Zelege, K. T., & Nendel, C. (2016). Analysis of options for increasing wheat (*Triticum aestivum* L.) yield in south-eastern Australia: The role of irrigation, cultivar choice and time of sowing. *Agricultural Water Management*, 166, 139-148.
- Zeleny, L. (1971). Criteria of wheat quality. p. 19-49. En: Wheat chemistry and technology (Y. Pomeranz ed.). St Paul, Minn., EEUU: Am. Assoc. Cereal Chemists.