

EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE GENES DE ENANISMO SOBRE EL RENDIMIENTO DE TRIGO PAN EN LA REGIÓN SUBHÚMEDA SECA PAMPEANA

†Fernández, Miguel Angel¹@

¹ Universidad Nacional de La Pampa. Facultad de Agronomía
La versión final de este trabajo fue realizada por el Ing. Agr. Enzo Ferrari.
@ ferrarienzo@agro.unlpam.edu.ar

Recibido 15/06/2020
Aceptado 05/05/2021

RESUMEN. El cultivo de trigo pan es muy importante para la región subhúmeda seca pampeana, pero su rendimiento muestra inestabilidad interanual. El objetivo de este trabajo fue analizar en esta región el efecto del mejoramiento genético sobre la estabilidad del rendimiento y los componentes del rendimiento en cultivares anteriores (antiguos) y posteriores (modernos) a la incorporación de genes de enanismo. Los ensayos se realizaron en Santa Rosa, La Pampa, Argentina (36° 32' 49" S; 64° 18' 20" W) durante 7 años, con 4 genotipos y 2 condiciones de fertilidad edáfica (0 y 100 kg.ha⁻¹ de urea). El rendimiento de grano fue mayor en los cultivares modernos respecto a los antiguos aun en índices ambientales negativos; sin embargo, esta diferencia no provocó una disminución de la estabilidad; y la respuesta al nitrógeno fue semejante en cultivares modernos y antiguos. El número de granos.m⁻² explicó en mayor proporción la variación del rendimiento que el peso de mil granos; y dentro del primer componente se observó que el número de granos por espiga aumentó en mayor proporción que el número de espigas.m⁻². La biomasa aérea aumentó en los cultivares modernos con respecto a las antiguos, pero en menor proporción que el índice de cosecha y la altura de planta.

PALABRAS CLAVE: *Triticum aestivum*; estabilidad; genes de enanismo;

ABSTRACT. Effect of the incorporation of dwarf genes on the yield of pan wheat in the dry subhumid pampas region. Bread wheat cultivation is very important for the dry subhumid region, but its yield shows interannual instability. The objective of this work was to analyze in this region the effect of genetic improvement on yield stability and yield components in cultivars prior (old) and subsequent (modern) to the incorporation of dwarfism genes. The trials were carried out in Santa Rosa, La Pampa, Argentina (36° 32' 49" S; 64° 18' 20" W) for 7 years, with 4 genotypes and 2 soil fertility conditions (0 and 100 kg.ha⁻¹ of urea). The grain yield was higher in modern cultivars than to the old ones, even in negative environmental indices; however, this difference did not cause a decrease in stability; and the response to nitrogen was similar in modern and old cultivars. The number of grains.m⁻² explained in a greater proportion the variation in yield than the weight of a thousand grains; and within the first component it was observed that the number of grains per spike increased in a greater proportion than the number of spikes.m⁻². The aerial biomass increased in the modern cultivars with respect to the old ones, but in less proportion than the harvest index and the plant height.

KEY WORDS: *Triticum aestivum*; stability; dwarfism genes;

INTRODUCCIÓN

El trigo pan (*Triticum aestivum* L.) es el cultivo de invierno destinado a grano más importante en la producción agropecuaria de la región semiárida y subhúmeda pampeana. Durante el siglo XX el rendimiento promedio de trigo en Argentina aumentó desde 1 a 2,5 t.ha⁻¹;

pero la tasa de mejora del rendimiento fue baja hasta la década de 1960 (12 kg.ha⁻¹.año⁻¹), con la incorporación de los genes de enanismo la tasa se incrementó a 34 kg.ha⁻¹.año⁻¹ (Miralles y González, 2010).

El rendimiento de trigo a nivel mundial incrementó desde 1950 debido a dos factores principales: el mejoramiento genético y las prácticas de manejo (Simmons, 1987; Slafer et al., 1993; Austin, 1999). El avance genético produjo un aumento del potencial de

Cómo citar este trabajo:

Fernández, M. A. (2021). Efecto de la incorporación de genes de enanismo sobre el rendimiento de trigo pan en la región subhúmeda seca pampeana. *Semiárida*, 31(2), 45-56.



rendimiento y tolerancia al estrés (Simmons, 1987; Slafer et al., 1993); este progreso estuvo fuertemente asociado al incremento del número de granos.m⁻² (Slafer & Andrade, 1993). El número de granos.m⁻² es un componente de orden mayor que se puede dividir en dos subcomponentes: las espigas fértiles.m⁻² y el número de granos.espiga⁻¹. Existen propuestas variadas en cuanto a la participación de cada uno de ellos; según Waddington et al. (1986) y Slafer & Andrade (1993) el avance estuvo dado en mayor parte por el aumento en el número de granos.espiga⁻¹ que por el de espigas.m⁻²; para Calderini, et al. (1995), Maydup (2013) y Lo Valvo et al., (2018), los cultivares modernos aumentaron el número de granos.espiga⁻¹ sin cambios importantes en las espigas.m⁻²; y por el contrario, Rivas et al. (1996) determinaron mayor participación en el progreso debido al aumento en el número de espigas fértiles.planta⁻¹.

En la bibliografía, el peso de mil granos se reporta como un carácter poco variable (Aggarwal & Sinha, 1987; Frederick & Bauer, 1999). En Argentina, en un estudio con trigos liberados entre 1920 y 1990 se determinó que los cultivares modernos no presentaron un incremento significativo en el peso del grano (Calderini, et al., 1995); no obstante, Slafer & Andrade (1989) observaron menor peso de grano en cultivares modernos con respecto a los antiguos. La reducción del peso puede explicarse por una mayor cantidad de granos cuajados en posiciones distales de la espiga con menor peso potencial respecto a los ubicados en el centro (Miralles & Slafer, 2007). Slafer et al. (2014) propusieron que en el llenado del grano pueden darse pequeños ajustes en el rendimiento (alrededor del 10 %), mientras que las grandes variaciones (hasta 200 %) están asociadas al número de granos.m⁻².

El mejoramiento genético del rendimiento de trigo durante el siglo XX en ambientes cálidos (Brasil) logró mayor asociación con el aumento de biomasa que con el índice de cosecha (IC), que resultó muy poco alterado (Rodrigues et al., 2002). En Argentina, el IC se incrementó con cultivares modernos, pero este aumento fue contrarrestado por una disminución en la biomasa aérea (Lo Valvo et al., 2018). En ambientes con estrés hídrico, el efecto primario

es la reducción de la biomasa aérea total (Aggarwal & Sinha, 1987; Clarke et al., 1990); así la producción de biomasa puede ser utilizada como criterio de selección tanto en ambientes de buena como de reducida disponibilidad hídrica (Aggarwal & Sinha, 1987).

El incremento en el rendimiento de grano en trigo se atribuye al acortamiento de los tallos y consiguiente aumento del IC (Slafer & Andrade, 1989), y a la mayor fertilidad de las espiguillas (Fischer & Stockman, 1986). Así, se logró aumentar el número de granos.m⁻² sin que se modifique sustancialmente el peso de los mismos, ni la producción de biomasa (Fernández, 2007). Austin et al. (1980), señalan que en los cultivares modernos la producción de biomasa total es levemente superior a la de cultivares antiguos; en tanto que Walsh (1984), al comparar cultivares antiguos y modernos, demostró que la capacidad fotosintética de las hojas individuales y del cultivo no fue alterada de forma significativa por el mejoramiento. La causa de un aumento en el número de granos en cultivares enanos se debe a una menor competencia por fotoasimilados entre el crecimiento del tallo y de la espiga (Fischer & Stockman, 1986); sin embargo, la reducción en biomasa de tallo y el aumento en el número de granos podría tener penalidades en condiciones de estrés hídrico y térmico. En ambientes de bajos rendimientos el efecto de los alelos de enanismo parece ser nulo o incluso negativo sobre la producción de granos (Chapman et al., 2007; Mathews et al., 2006).

La utilización de los cultivares semienanos permitió evitar las pérdidas por vuelco e incrementar el uso de fertilizantes. El agregado de fertilizante nitrogenado, cuando el nitrógeno es deficiente en el suelo, produce entre otros efectos un aumento del número de macollos fértiles en trigo pan (Simons, 1982).

La estabilidad del rendimiento (variación del rendimiento ante diferentes condiciones ambientales) es ampliamente aceptada como el mejor indicador de respuesta genética al estrés (Fischer & Maurer 1978; Blum et al., 1989; Simane et al., 1993). Existen evidencias que los cultivares modernos con mayores rendimientos responden a las mejoras en las condiciones ambientales; sin embargo, poseen menor

estabilidad que los cultivares antiguos (Siddique et al., 1989; Loss & Siddique, 1994; Acreche et al., 2008).

El objetivo de este trabajo propone proveer de información valiosa para los programas de mejoramiento de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana, en que las precipitaciones son escasas y con alta variabilidad, mediante el análisis sobre el rendimiento y los componentes del rendimiento, en cultivares obtenidos antes y después de la incorporación de genes de enanismo; y su efecto sobre la estabilidad del rendimiento y la respuesta a la fertilidad nitrogenada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción experimental y manejo agronómico

Los ensayos fueron realizados en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la UNLPam., Santa Rosa, La Pampa, Argentina, ubicado en 36° 32' 49" S y 64° 18' 20" W, a 210 m snm, en el período 2011-2018. El clima en la región de estudio está en el límite entre la región templada subhúmeda y fría subhúmeda, de acuerdo a la clasificación desarrollada para la Región Pampeana por Díaz & Mormeneo (2002) y pertenece a la templada subhúmeda en la propuesta realizada por Aliaga et al. (2017). En el uso de cultivos invernales se clasifica como subhúmeda seca, en base a la humedad disponible en el período próximo a la espigazón (Pascale & Damario, 2004).

El suelo en que se realizaron los ensayos se clasificó como Paleustol petrocálcico, (Soil Survey Staff, 2014), posee escasa pendiente superficial y un manto de tosca en el subsuelo, a una profundidad que varió entre 0.8 y 1.2 m; y

proporciones de 10 % de arcilla, 25 % de limo y 65 % de arena, que clasifican al suelo como textura franco arenoso.

El suelo para la siembra se preparó con rastra mecánica para generar barbecho a principio del mes de marzo y laboreos mecánicos de repaso para mantener la superficie libre de malezas. El cultivo antecesor fue una pastura asociada entre alfalfa (*Medicago sativa* L.) y festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) o cebadilla criolla (*Bromus catharticus* Vahl.).

Los cultivares utilizados se describen en la Tabla 1. El cultivar Blackhull proviene de Sedgwick (Kansas, USA) ingresó a Argentina en un año desconocido y se registró en 1937; con una máxima difusión del 10 % de la superficie total sembrada en 1939 (Rath et al., 1964). El cultivar Bahiense F.C.S. se obtuvo en el campo experimental Bordenave (Argentina) y registró en 1944, alcanzó su máxima difusión en 1950 con el 2,2 % de la superficie sembrada (Rath et al., 1964). El cultivar Buck Baqueano se inscribió el año 2007 y Baguette Premium 13 el 2011, ambos tienen genes de enanismo y se caracterizan por presentar alto potencial de rendimiento. En este estudio, los cultivares Blackhull y Bahiense F.C.S. se consideran antiguos y los cultivares Buck Baqueano y Baguette Premium 13 como modernos.

La fecha de siembra osciló entre el 25 de junio y 10 de julio, y la densidad de siembra fue de 250 semillas viables.m⁻². El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones de cada tratamiento, en parcelas de 7 surcos de 6 m de largo separados a 0,20 m. La fertilidad del suelo fue modificada a la siembra con un “arrancador” todos los años mediante el agregado de 70 kg. ha⁻¹ de superfosfato simple

(N-P-K = 0-21-0), este tratamiento se denominó “testigo”; mientras que al tratamiento denominado “fertilizado” se le agregó 100 kg .ha⁻¹ de urea al voleo en el estado de macollaje temprano Z14-21 (Zadoks et al., 1974). El control de las malezas se realizó con una combinación de los herbicidas Metsulfurón Metil (6

Tabla 1. Propiedad, origen, año de inscripción, ciclo y peso de mil granos (PMG) de cultivares de trigo utilizados en este estudio.

Table 1. Property, origin, year of registration, cycle and weight of one thousand grains (PMG) of wheat cultivars used in this study.

Genotipo	Criadero	Origen	Año	Ciclo*	PMG
Blackhull	Desconocido	USA	1937	I	Medio
Bahiense F.C.S.	Bordenave	Argentina	1944	I	Medio-Alto
Buck Baqueano	Buck	Argentina	2007	I-L	Medio
Baguette Premium 13	Nidera	Holanda	2001	I	Medio

* I: Intermedio. L: Largo.; PMG: peso de mil granos.

g i.a.ha⁻¹) y Dicamba (100 cm³ i.a. ha⁻¹) en el estado Z13-14.

Mediciones en el cultivo

El rendimiento de grano y el número de espigas se valoraron sobre una superficie de 1 m², tal como lo recomiendan Bell & Fischer (1994). Las parcelas se cosecharon en estado de madurez fisiológica y el rendimiento se expresó como kg.ha⁻¹. El número de espigas se obtuvo como el recuento total de espigas fértiles a cosecha. El número de granos.espiga⁻¹ se midió sobre una muestra al azar de 10 espigas que se trillaron de forma manual. El número de granos .m² se calculó a partir del rendimiento y el peso de mil granos (PMG). El PMG se midió sobre dos muestras de 200 granos por parcela y se convirtió a peso de 1000 granos.

La biomasa aérea se determinó a madurez fisiológica al cortar la planta a nivel del suelo sobre una superficie de 1 m². El índice de cosecha (IC) se calculó como el cociente entre el rendimiento de grano y la biomasa aérea. La altura de planta se midió desde el suelo hasta el ápice de la espiga del tallo principal. La biomasa área, el rendimiento de grano y el PMG se expresaron sobre una humedad de grano del 14 % cuando las muestras alcanzaron peso constante en estufa de circulación forzada a 60 °C durante 48 h.

Evaluación de tratamientos

Los parámetros del suelo evaluados todos los años al momento de la siembra fueron en promedio: materia orgánica, 1,24 ± 0,22 %; fósforo disponible (Bray I), 11,0 ± 2,1 ppm; y nitrógeno de nitratos: de 0 a 30 cm de profundidad 9,5 ± 3,2 ppm y de 30 a 60 cm de profundidad 4,5 ± 1,5 ppm.

Análisis estadístico

Los caracteres se evaluaron mediante ANAVA combinado entre genotipos, años y niveles de fertilidad; además, y se compararon las varianzas (cuadrado medio del error) de cada año para determinar si fueron homogéneas; las comparaciones entre y dentro de los cultivares modernos y antiguos se realizó mediante contrastes ortogonales. Un análisis combinado entre años se realizó mediante componentes principales que se graficó en un biplot con los

dos primeros componentes principales. Entre los componentes de rendimiento y el rendimiento en grano se realizaron regresiones lineales y determinó el coeficiente de correlación de Pearson (r) con el promedio de todos los tratamientos.

El análisis de la estabilidad de los genotipos en los distintos ambientes se realizó con un análisis de regresión lineal entre el comportamiento de cada cultivar (rendimiento individual) respecto a un Índice Ambiental (IA). El IA se calculó como la diferencia entre el rendimiento promedio de los cuatro genotipos en cada ambiente y el promedio general de los cuatro genotipos en todos los ambientes (Finlay & Wilkinson, 1963). El coeficiente de regresión obtenido (b), en cada caso, es una medida de la estabilidad de los genotipos a lo largo de los ambientes analizados y el mejor cultivar es aquel que presenta el mayor rendimiento medio (promedio del genotipo en todos los ambientes evaluados) y la mayor estabilidad aquel que presenta un coeficiente de regresión b≈1. (Finlay & Wilkinson, 1963). Todos los análisis se realizaron con el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el período de estudio se registró una mayor variabilidad en las precipitaciones anuales (desde un mínimo de 505 mm hasta un máximo de 1150 mm) que en las temperaturas medias mensuales (Tabla 2). La temperatura media mensual fue menor que la media los años 2015 y 2016. En el período de crecimiento del cultivo (julio-noviembre) se destacaron dos años más lluviosos que el resto (2012 y 2016). El año 2011 registró una precipitación anual semejante al promedio histórico, con una buena recarga en otoño, un invierno seco, una primavera moderadamente seca, pero con un noviembre de buena precipitación. En el año 2012 las precipitaciones superaron el promedio histórico, aunque con una escasa recarga en otoño, principio de invierno seco y luego suficientes precipitaciones para el cultivo. El año 2013 fue de precipitaciones menor al promedio, con escasa recarga en otoño, invierno seco, pero con una primavera superior al promedio que permitió la recuperación del cultivo. El año 2015

Efecto de la incorporación de genes de enanismo sobre el rendimiento de trigo pan en la región subhúmeda seca pampeana

Tabla 2. Precipitación media mensual (PMM), evapotranspiración potencial (ETP) y temperatura media mensual (TMM) en Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

Table 2. Average monthly precipitation (PMM), potential evapotranspiration (ETP) and average monthly temperature (TMM) in Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Jul-Nov	Anual
	mm.mes ⁻¹													mm
ETP ¹	135.1	107.2	88.6	51.5	30.6	16.1	15.3	25.1	39.1	66.8	93.7	127.2	240	796
PMM ¹	87,7	83,3	94,6	62,6	34,5	16,7	20,1	25,3	46,7	80,6	85	96,6	258	737
2011	170,8	47	70,2	140,2	8,6	8,8	28	11,5	3,8	62,3	126,1	42,1	232	719
2012	88,1	178,8	69,3	61	1	1,1	0	144,3	18,9	192,5	82,3	86,1	438	923
2013	20,5	71,3	63,5	37,6	5,1	0	10,5	4,9	64	91,7	73,9	61,6	245	505
2015	99,2	92	105,2	112,8	25,2	1,4	11,5	10,6	62,7	88,4	73,6	145,7	247	828
2016	187,7	197	6,5	116,1	71	33,9	26,6	0	35,3	253,2	58,1	19	373	1.004
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	270	1.150
2018	16,6	42	18,1	24,7	35,5	10,5	60	13,3	63,6	52,2	96,5	133,6	286	567
	°C													Media
TMM ¹	23,2	22,2	19,7	15,4	11,4	8,2	7,7	9,7	12,4	15,8	19,2	22	13	15,6
2011	22,5	21,6	19,6	15,9	12	7,7	7,9	8,8	14	15,3	21,3	23	13,5	15,8
2012	25,6	22,1	20	14,9	12,7	8,6	6,9	9,9	12,9	15,8	19,8	21,3	13,1	15,9
2013	23,3	22,2	17,1	17,1	11,9	9,5	8,1	10	11,2	16,7	20,4	25,5	13,3	16,1
2015	23,8	22,2	21,8	17	13,4	9,6	9	11,2	11,4	12,6	18,5	22,5	12,5	16,1
2016	22,8	22,5	19,8	13,7	10	7,6	7,5	10,8	12	14,5	18,4	23,1	12,6	15,2
2017	24,8	23,7	19,9	15,3	11,9	9,2	9,8	10,7	12,3	15	17,7	22,4	13,1	16,1
2018	24,2	24,3	19,9	18,6	12,5	7,1	7,2	9,6	14	15,8	18,9	21,9	13,1	16,2

Fuente: Observatorio meteorológico Ing. Arg. Juan C. Lasalle, Facultad de Agronomía de la UNLPam.

ETP = evapotranspiración potencial promedio, determinada por el método de Thornthwaite (1948).

¹ Los datos corresponden al promedio histórico 1975-2018 del observatorio.

mostró un otoño con buena recarga del perfil y una primavera aceptable para el trigo. Los años 2016 y 2017 tuvieron precipitaciones superiores al promedio con una buena distribución para el desarrollo de los cultivos, aunque en el 2016 llovió más en el período crítico (octubre). El año 2018 fue más seco que el promedio durante el período crítico, pero las lluvias de julio, septiembre y noviembre le permitieron al trigo un crecimiento aceptable para la zona.

Rendimiento

El rendimiento de grano presentó diferencias entre cultivares (DMS = 182,3; $p < 0,001$), años (DMS = 343,9; $p < 0,001$) y fertilidad (DMS = 98,3; $p < 0,001$); las interacciones cultivar x año, fertilidad x año y cultivar x fertilidad x año fueron significativas ($p < 0,01$), a diferencia de la interacción cultivar x fertilidad que resultó no significativa ($p = 0,25$). El coeficiente de variación fue de 11,4 % y resultó muy aceptable al considerar ensayos sometidos a variaciones

climáticas.

En la Tabla 3 se presenta la partición y el análisis de los datos de rendimiento de grano de cada año bajo los dos niveles de fertilización. Los cultivares reportaron diferencias en cada uno de los años ($p \leq 0,05$). Los niveles de fertilización se diferenciaron cinco de los siete años de análisis (2012, 2013, 2015, 2016 y 2017); y la interacción cultivar x fertilidad resultó significativa los años 2012, 2016 y 2017. El rendimiento promedio de los dos cultivares modernos (Buck Baqueano y Baguette Premium 13) fue de 3801 kg.ha⁻¹ y se diferenció en todos los años de los 2778 kg.ha⁻¹ promedio de los cultivares antiguos (Blackhull y Bahiense F.C.S.), con una brecha de 1023 kg.ha⁻¹ ($p < 0,001$); las menores diferencias se registraron los dos años más secos, el año 2013 (608 kg.ha⁻¹) y el año 2011 (717 kg.ha⁻¹). En todos los años los cultivares modernos entre sí y los antiguos entre

Tabla 3. Efecto del cultivar (C), el nivel de fertilidad (Fert, F: 100; T: 0, kg.ha⁻¹ urea) y el año sobre el rendimiento en grano.**Table 3.** Effect of the cultivar (C), the fertility level (Fert, F: 100; T: 0, kg.ha⁻¹ urea) and the year on grain yield.

Cultivar	2011		2012		2013		2015		2016		2017		2018	
	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T
Baqueano	2842 a	2953 a	5280 a	3796 ab	2351 ab	2796 ab	4081 a	3774 a	4705 a	4445 a	4248 a	3105 a	4464 a	4381 a
Baguette 13	2561 a	2536 a	4674 ab	5017 a	2512 a	3202 a	4176 a	3202 b	5278 a	4216 a	4189 a	3427 a	4192 a	4024 a
Bahiense	1995 b	2007 b	3698 b	3149 b	2162 b	2146 b	2916 b	2743 b	3669 b	3462 b	3359 b	2570 b	2724 b	2514 b
Blackhull	2007 b	2016 b	3776 b	3271 b	1950 b	2170 b	3097 b	3109 b	3959 b	3105 b	2921 b	2446 b	2566 b	2285 b
Promedio	2351 A	2378 A	4357 A	3808 B	2244 B	2579 A	3567 A	3207 B	4403 A	3807 B	3679 A	2887 B	3486 A	3301 A
DMS C	458		1163	1271	256	702	537	502	615	532	509	431		463
DMS Fert	-		390		307		283		474		299			-
C	P<0,0001		P<0,0001		P=0,0120		P<0,0001		P<0,0001		P<0,0001		P<0,0001	
Fert	NS		P=0,0081		P=0,0341		P=0,0152		P=0,0001		P<0,0001		NS	
C x Fert	NS		P=0,0223		NS		NS		P=0,0451		P=0,0428		NS	
CME	107996		282248		174670		148562		114686		146080		110425	
CV(%)	13.9		13.1		17.3		11.4		8.3		16.6		9.8	

DMS C: diferencia mínima significativa entre cultivares para un mismo año.

DMS Fert: diferencia mínima significativa entre niveles de fertilización para un mismo año.

C x Fert: interacción cultivar x fertilidad.

CME: cuadrado medio del error.

CV: Coeficiente de variación.

Valores seguidos por letras minúsculas iguales en la misma columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \geq 0,05$). Valores seguidos por letras mayúsculas iguales en la misma fila dentro de cada año no difieren estadísticamente (Tukey, $p \geq 0,05$).

NS: ($p \geq 0,05$)

sí no mostraron diferencias significativas ($p > 0,01$).

El rendimiento tuvo una respuesta positiva a la fertilización en los años con mayores precipitaciones anuales (2012, 2015, 2016 y 2017); mientras que resultó nula los años más secos (2018 y 2011), a excepción del año 2013 en que la respuesta fue significativa y negativa. Las lluvias durante el ciclo del cultivo 2013 fueron un total de 245 mm, pero se registraron en mayor proporción al fin del invierno y principio de la primavera (septiembre), lo que afectó el número de granos por espiga y el PMG (datos no presentados). La respuesta a la fertilidad nitrogenada se diferenció entre cultivares modernos y antiguos ($p < 0,001$), excepto en el año seco 2013 ($p = 0,08$) en el que ambas redujeron su rendimiento, pero en mayor medida en los cultivares modernos.

El rendimiento de los cultivares modernos y antiguos tuvo un efecto positivo en relación al índice ambiental (Figura 1). Los cultivares modernos presentaron mayor adaptabilidad, con pendiente de la recta de regresión superior a “1”

en los cultivares modernos y menor a “1” en los antiguos; la menor brecha entre los cultivares modernos y antiguos fue de 690 kg.ha⁻¹ en un índice ambiental de -1000 kg.ha⁻¹ y aumentó a 1355 kg.ha⁻¹ en un índice ambiental de +1000 kg.ha⁻¹. Los cultivares modernos superaron el rendimiento de los antiguos aun con índice ambiental negativo, los resultados indican una similar estabilidad entre cultivares modernos y antiguos, a diferencia de lo propuesto por Siddique et al. (1989); Loss & Siddique (1994) y Acreche et al. (2008) que atribuyen mayor estabilidad a cultivares antiguos.

Componentes de rendimiento

Todos los componentes de rendimiento presentaron diferencias entre cultivares, años e interacción cultivar x año; el IC y el número de granos.espiga⁻¹ fueron los únicos caracteres que no se diferenciaron por el nivel de fertilización (Tabla 4). La interacción cultivar x fertilidad no fue significativa en ninguno de los componentes. La interacción fertilidad x año fue significativa para biomasa, número de espigas.m⁻², peso de

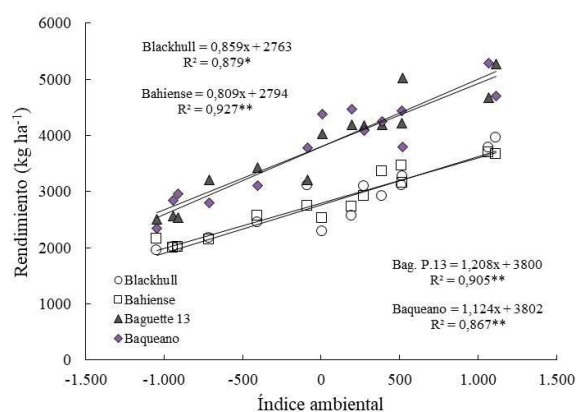


Figura 1. Efecto del índice ambiental sobre el rendimiento en grano de cultivares antiguos y modernos de trigo pan.

Figure 1. Effect of the environmental index on the grain yield of old and modern bread wheat cultivars.

Tabla 4. Significancia estadística de los componentes de rendimiento en cuatro cultivares (C) de trigo, durante 7 años (A) y dos niveles de fertilización (Fert).

Table 4. Statistical significance of the yield components in four cultivars (C) of wheat, during 7 years (A) and two levels of fertilization (Fert).

	Biomasa (kg ha ⁻¹)	Altura (cm)	Espm ²	PMG (g)	IC (%)	NGm ²	NGE
C	**	**	**	**	**	**	**
A	**	**	**	**	**	**	**
Fert	**	**	**	**	ns	**	ns
C*Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C*A	**	**	**	**	**	**	**
F*A	**	ns	**	**	ns	**	ns
C*A*F	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns
CV	10.8	5.30	11.2	5.16	6.26	11.3	10.4

Biomasa: biomasa aérea; Altura: altura de planta; Espm²: número de espigas.m⁻²; PMG: peso de mil granos; IC: índice de cosecha; NGm²: número de granos.m⁻²; NGE: número de granos.espigas⁻¹.

CV: coeficiente de variación.

ns (p ≥ 0,05); ** (p < 0,01)

mil granos y número de granos.m⁻². La interacción cultivar x año x fertilidad solo fue significativa para número de granos.m⁻². Los coeficientes de variación (CV) resultaron aceptables para trabajos de campo sujetos a variaciones climáticas.

En la Tabla 5 se vuelca el resumen los componentes del rendimiento de los cuatro cultivares promedio de los siete años. La biomasa fue mayor en los cultivares modernos respecto de los cultivares antiguos (p < 0,001) y

los máximos se registraron en los años de mayores precipitaciones durante el ciclo del cultivo y bajo la condición de mayor fertilidad (2012 y 2016), el aumento de biomasa de los cultivares modernos se asoció positivamente con el rendimiento (Figura 2a), coincidente con los resultados observados por Austin et al. (1980) y Rodríguez et al. 2002, y contradictorio con Lo Valgo et al. (2018) que reportaron una disminución de biomasa en cultivares modernos. Los cultivares de mayor altura fueron Bahiense F.C.S. (101 cm) seguido por Blackhull (90 cm), en la mayoría de los años y se diferenciaron de los cultivares modernos (p < 0,001) que resultaron los más bajos con Baguette Premium 13 (78 cm) y Buck Baqueano (72 cm); la ausencia de genes de enanismo en los cultivares antiguos presentó una relación inversa con el rendimiento (Figura 2b), similares resultados fueron reportados por Slafer & Andrade (1989). El IC fue superior en los cultivares modernos (p < 0,001), y el efecto de fertilización no logró cambios respecto de la condición testigo; se destacó el cultivar Baguette Premium 13 con un máximo de 32,7 % el año 2012, mientras que el menor valor lo obtuvo Bahiense el año 2011 con 19,3 %; el aumento de IC en cultivares modernos generó una relación positiva con el rendimiento (Figura 2c), semejante a otros autores (Aggarwal & Sinha, 1987; Slafer & Andrade, 1989; Clarke et al., 1990; Lo Valgo et al., 2018).

Los cultivares modernos se destacaron por mayor número de espigas.m⁻² respecto de los antiguos (8,5 %; p < 0,001), y la condición fertilizada generó 10,3 % más de espigas.m⁻² que la testigo; los cultivares Baguette Premium 13 y Buck Baqueano superaron las 400 espigas.m⁻² los años de mayores precipitaciones durante el ciclo del cultivo (2012, 2016, 2018), y el cultivar antiguo Blackhull se destacó el año 2016 con 454,5 espigas.m⁻². El número de granos por espiga presentó un incremento del 18,8 % en los cultivares modernos respecto de los antiguos (p < 0,001), este resultado coincide con los propuestos por Waddington et al. (1986) y Slafer & Andrade (1993), y se diferenciaron de los obtenidos por Rivas et al. (1996) quienes evidenciaron similar número de granos por

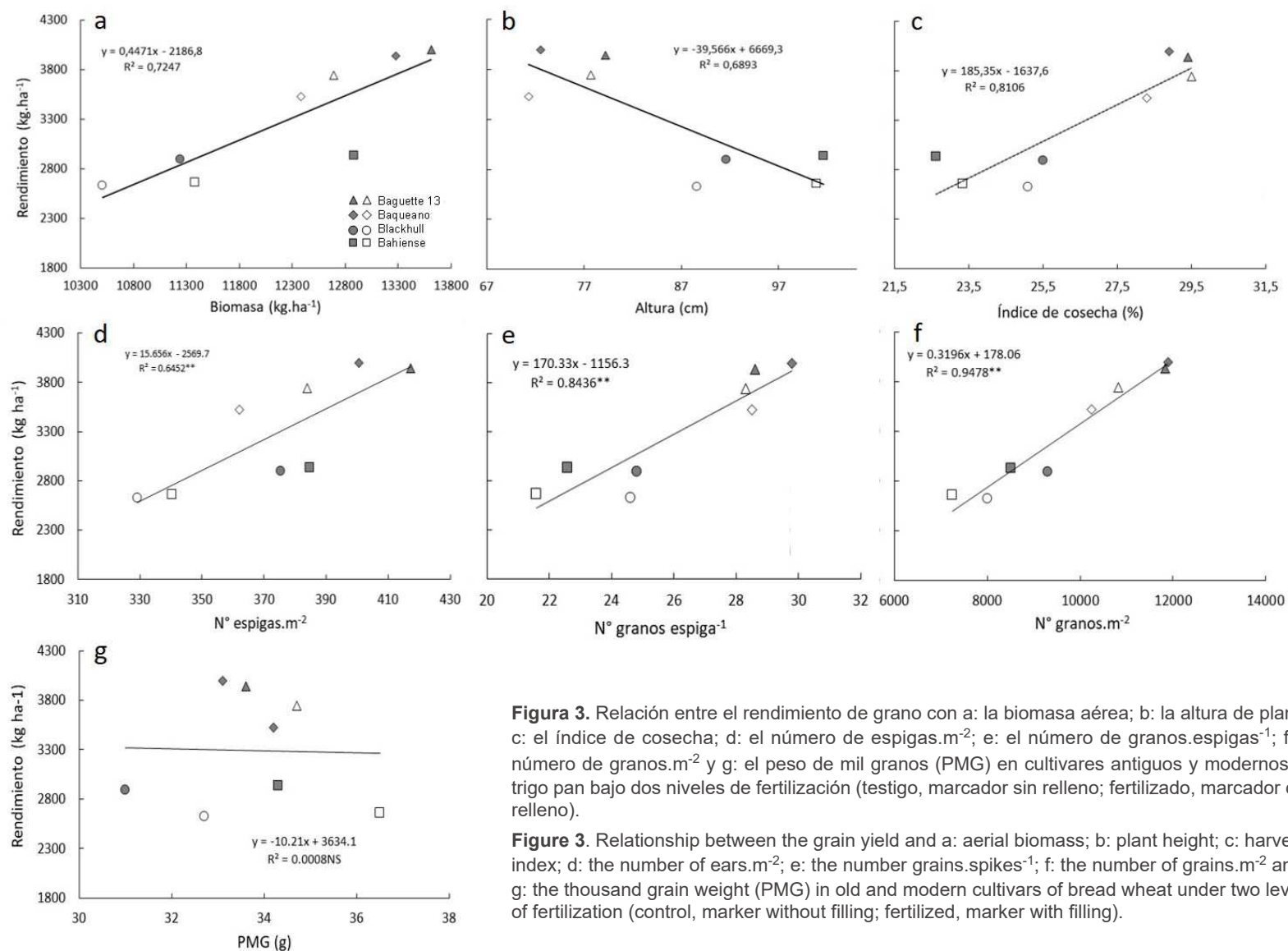


Figura 3. Relación entre el rendimiento de grano con a: la biomasa aérea; b: la altura de planta; c: el índice de cosecha; d: el número de espigas.m⁻²; e: el número de granos.espigas⁻¹; f: el número de granos.m⁻² y g: el peso de mil granos (PMG) en cultivares antiguos y modernos de trigo pan bajo dos niveles de fertilización (testigo, marcador sin relleno; fertilizado, marcador con relleno).

Figure 3. Relationship between the grain yield and a: aerial biomass; b: plant height; c: harvest index; d: the number of ears.m⁻²; e: the number grains.spikes⁻¹; f: the number of grains.m⁻² and g: the thousand grain weight (PMG) in old and modern cultivars of bread wheat under two levels of fertilization (control, marker without filling; fertilized, marker with filling).

Tabla 5. Resumen de los componentes de rendimientos promedio de cuatro cultivares de trigo, bajo dos niveles de fertilización (Fert: 100, Test: 0; Kg.ha⁻¹ urea).

Table 5. Summary of the components of average yields of four wheat cultivars, under two levels of fertilization (Fert: 100, Test: 0; Kg.ha⁻¹ urea).

Genotipo	Nivel	Biomasa (kg ha ⁻¹)	Altura (cm)	IC (%)	Espm ²	NGE	NGm ²	PMG (g)
Baguette Premium 13	Fert	13279	79.2	29,4 c	417.2	28.6	11.833	33.6
	Test	12693	77.7	29,5 c	383.9	28.3	10.819	34.7
Buck Baqueano	Fert	13613	72.5	28,9 c	400.6	29.8	11.901	33.1
	Test	12380	71.3	28,3 c	362.1	28.5	10.245	34.2
Blackhull	Fert	11239	91.6	25,5 b	375.4	24.8	9.299	31.0
	Test	10507	88.6	25,1 b	329.2	24.6	8.007	32.7
Bahiese F.C.S.	Fert	12888	101.6	22,6 a	384.9	22.6	8.513	34.3
	Test	11382	100.9	23,3 a	340.5	21.6	7.251	36.5
PROMEDIO		12248	85.4	26.6	374.2	26.1	9.734	33,8

espiga en cultivares modernos y antiguos; a pesar del mayor incremento porcentual del número de granos por espiga con respecto al número de espigas.m² en cultivares modernos, el rendimiento tuvo mayor asociación con el número de espigas.m² (r = 0,76; p<0,001), que con el número de granos por espiga (r = 0,47, p<0,001). La incorporación de genes de enanismo en los cultivares modernos generó una

mayor respuesta en el rendimiento por el aumento del número de granos de granos por espiga que por el número de espigas.m² (Figura 2d y e).

El número de granos.m² fue superior en los dos cultivares modernos con respecto a los antiguos en 26,2 % (p<0,001), los mayores valores se obtuvieron los años de mayor precipitación y bajo la condición fertilizada; tanto en el tratamiento fertilizado como en el testigo existió relación positiva por con rendimiento (Figura 2f), con una correlación de r = 0,93 (p<0,001) y concuerda con lo reportado por Slafer et al. (2014).

El cultivar de mayor PMG fue Bahiese F.C.S y el agregado de fertilizante nitrogenado en macollaje redujo el PMG en los cuatro cultivares. El PMG no se diferenció entre los cultivares modernos y antiguos (p = 0,28) y se no asoció al rendimiento (Figura 2g), similar a los resultados obtenidos por Calderini, et al. (1995) y Rivas et al. (1996), y diferente a los de Slafer & Andrade (1989) quienes reportaron una disminución del PMG en cultivares modernos.

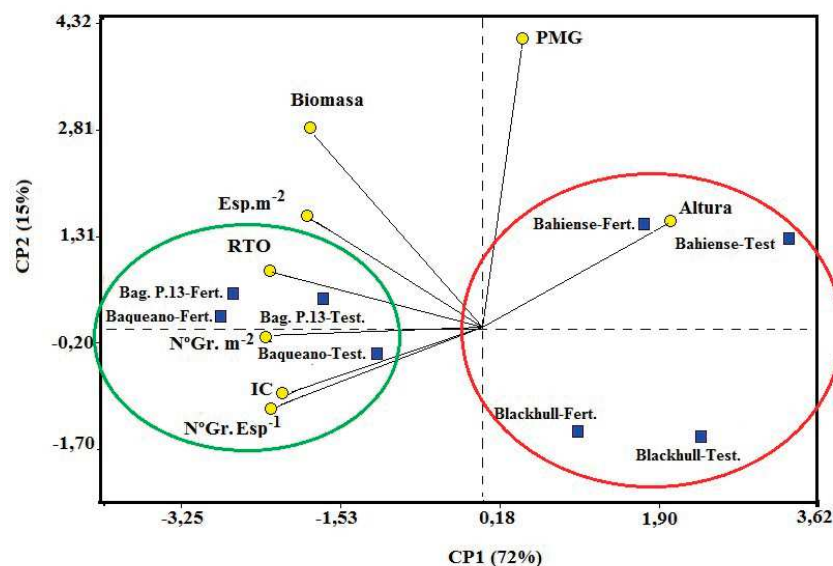


Figura 3. Análisis de Componentes Principales de los componentes del rendimiento y el rendimiento en grano de cuatro cultivares trigo pan bajo dos condiciones de fertilización nitrogenada.

Figure 3. Principal Component Analysis of the components yield and grain yield of old and modern varieties of bread wheat.

En la Figura 3 se presenta el análisis de componentes principales del rendimiento y sus componentes de cultivares antiguos y modernos de trigo pan. El componente principal 1 explicó una gran proporción de la variabilidad (72 %), que sumado al componente principal 2 (15 %) se logró el 87 %, considerado un valor elevado para un biplot (Di Rienzo et al., 2018). El rendimiento estuvo estrechamente asociado al número de granos.m², número de espigas.m² y

en menor medida por el número de granos. espiga⁻¹. La biomasa y el IC presentaron menor influencia respecto al rendimiento al tener un ángulo más cercano al recto. El PMG tuvo una mínima asociación con el rendimiento, mientras que la altura de la planta se asoció de manera negativa. Los cultivares modernos bajo los dos niveles de fertilización se caracterizaron por presentar mayor rendimiento, IC y número de granos.m⁻²; mientras que el cultivar antiguo Blackhull no presentó asociación con ningún carácter y Bahiense solo lo hizo con altura de planta.

CONCLUSIONES

El mejoramiento genético, a partir de la incorporación de genes de enanismo, logró producir un aumento en el rendimiento en grano en la región subhúmeda seca pampeana. En este estudio, el incremento del rendimiento fue mayor a medida que mejoró el Índice Ambiental y desde el punto de vista del rendimiento y su estabilidad existió una mejora con los cultivares modernos para la región subhúmeda seca pampeana. La respuesta a la fertilidad nitrogenada fue semejante en cultivares modernos y antiguos, excepto en los años secos (2011 y 2013), en el que ambas redujeron su rendimiento y en mayor medida en los cultivares modernos.

La biomasa aérea y el IC aumentó en los cultivares modernos con respecto a los antiguos, aunque en una proporción menor que la disminución de la altura de la planta.

El componente del rendimiento número de granos.m⁻² fue el que más explicó el incremento del rendimiento, mientras que el peso de los granos no varió. Desagregando el número de granos.m⁻² se observó que el número de granos espiga⁻¹ aumentó en mayor proporción que el número de espigas.m⁻²; sin embargo, éste último mostró mayor correlación con el rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Aggarwal, P. K. & Sinha, S. K. (1987). Performance of wheat and triticale varieties in a variable soil water environment. IV. Yield components and their association with grain yield. *Field Crops Research*, 17, 45-53.
- Acreche, M. M., Briceño-Félix, G., Sánchez, J. A. & Slafer, M. A. (2007). Estrategias para mejorar el rendimiento de cereales graníferos invernales en la Región Semiárida Pampeana Central. [Tesis de Maestría Universidad Nacional del Sur] Bahía Blanca, Argentina.

- G. A. (2008). Physiological bases of genetic gains in Mediterranean bread wheat yield in Spain. *European Journal of Agronomy*, 28, 162-170. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.07.001>
- Aliaga, V. S., Ferrelli, F. & Piccolo, M. C. (2017). Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International Journal of Climatology*, 37, 1237-1247.
- Austin, R. B. (1999). Yield of wheat in the United Kingdom: Recent advances and prospects. *Crop Science*, 39, 1604-1610.
- Austin, R. B., Bingham, J., Blackwell, R. D., Evans, L. T., Ford, M. A., Morgan, C. L. & Taylor, M. (1980). Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *The Journal of Agricultural Science*, 94, 675-689.
- Bell, M. A. & Fischer, R. A. (1994). Guide to plant and crop sampling: measurements and observations for agronomic and physiological research in small grain cereals. Wheat Special Report 32. CIMMYT, D. F., México.
- Blum, A., Sphiler, L., Golan, G. & Mayer, J. (1989). Yield stability and canopy temperature of wheat genotypes under drought stress. *Field Crops Research*, 22, 289-296.
- Calderini, D. F., Dreccer, M. F. & Slafer, G. A. (1995). Genetic improvement in wheat yield and associated traits: a re-examination of previous results and the latest trends. *Plant Breeding*, 114, 108-112.
- Chapman, S. C., Mathews, K. L., Trethowan, R. M. & Singh, R. (2007). Relationships between height and yield in near-isogenic spring wheats that contrast for major reduced height genes. *Euphytica*, 157, 391-397.
- Clarke, J. M., Campbell, C. A., Cutforth, H. W., DePauw, R. M. & Wilkleman, G. E. (1990). Nitrogen and phosphorus uptake, translocation, and utilization efficiency of wheat in relation to environment and cultivar yield and protein levels. *Canadian Journal of Plant Science*, 70, 965-977.
- Díaz, R. A. & 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. & Robledo, C. W. (2018). InfoStat versión (2018). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Finlay, K. W. & Wilkinson, G. N. (1963). The analysis of adaptation in plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14, 742-754.

- Fischer, R. A. & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912.
- Fischer, R. A. & Stockman, Y. M. (1986). Increased kernel number in Norin 10-derived dwarf wheat: Evaluation of a cause. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13, 767-784.
- Frederick, J. R. & Bauer, P. (1999). *Physiological and numerical components of wheat yield*. In E. H. Satorre & G. A. Slafer (Eds.). *Wheat ecology and physiology of yield determination* (pp. 45-65). Food Products Press.
- Lo Valvo, P. J., Miralles, D. J. & Serrago, R. A. (2018). Genetic progress in Argentine bread wheat varieties released between 1918 and 2011: Changes in physiological and numerical yield components. *Field Crops Research*, 221, 314-321.
- Loss, S. P. & Siddique, K. H. M. (1994). Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. *Advances in Agronomy*, 52, 229-276.
- Miralles, D. J. & González, F. G. (2010). El trigo en Argentina: Perspectivas ecofisiológicas del pasado, presente y futuro para aumentar el rendimiento. XVII Congreso de AAPRESID. Rosario, Santa fe, Argentina.
- MAGYP. (2019). Estimaciones agrícolas. <http://datosestimaciones.magyp.gob.r/reportes.php?reporte=Estimaciones>.
- Mathews, K. L., Chapman, S. C., Trethowan, R., Singh, R. P., Crossa, J., Pfeiffer, W., van Ginkel, M. & Delacy, I. H. (2006). Global adaptation of spring bread and durum wheat lines near-isogenic for major reduced height genes. *Crop Science*, 46, 603-613.
- Maydup, M. L. (2013). Contribución de la fotosíntesis de la espiga al rendimiento de trigo pan (*Triticum aestivum*) en condiciones limitadas por la disponibilidad de asimilados post-antesis. [Tesis doctoral, Fac. de Cs. Naturales, Universidad Nacional de La Plata]. Buenos Aires, Argentina.
- Miralles, D. J. & Slafer, G. A. (2007). Sink limitations to yield in wheat: how could it be reduced?. *The Journal of Agricultural Science*, 145, 139-149.
- Pascale, A. J. y Damarío, E. A. (eds). (2004). *Clasificación por tipos agroclimáticos del cultivo de trigo*. En *Bioclimatología agrícola y agroclimatología* (pp. 418-436). Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.
- Rath, J., Conta, H. C., Tombetta, E. E., Kugler, W. F. y Moro, M. S. (1964). *Descripción de las variedades de trigo cultivadas en la Argentina*. Colección Agropecuaria del INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Rivas, C., Maturano, M., Camaño, A. & Caldiz, D. O. (1996). Determinantes fisiológicos del rendimiento, en condiciones de baja densidad de siembra, en cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) obtenidos en la Argentina en el período 1942-1992. *Revista de la facultad de Agronomía de La Plata*, 101, 81-89.
- Rodríguez, O., Didonet, A. D., Lhamby, J. C. B., Teixeira, M. C. C. & Del Duca, L. J. (2002). Características fisiológicas asociadas ao avanço no potencial de rendimento de grãos de trigo. Bol. Pesquisa Desemvolvimento Online 6. Passo Fundo, Embrapa Trigo. http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_bp06.html
- Siddique, K. H. M., Belford, R. K., Perry, M. W. & Tennant, D. (1989). Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, 40, 473-487.
- Simane, B., Struik, P. C., Nachi, M. M. & Peacock, J. M. (1993). Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water-limited environments. *Euphytica*, 71, 211-219.
- Simmons, S. R. (1987). Growth, development, and physiology. En: E. G. Heyne (Ed.), *Wheat and wheat improvement. Agronomy* (2a edición, pp. 77-113). American Society of Agronomy ed.
- Simons, R. G. (1982). Tiller and ear production of winter wheat. *Field Crops Abs*, 35, 857-870.
- Slafer, G. A. & Andrade, F. H. (1989). Genetic improvement in bread wheat (*Triticum aestivum*) yield in Argentina. *Field Crops Research*, 21, 289-296.
- Slafer, G. A. & Andrade, F. H. (1993). Physiological attributes related to the generation of grain yield in bread wheat cultivars released at different eras. *Field Crops Research*, 31, 351-367.
- Slafer, G. A., Satorre, E. H. & Andrade, F. H. (1993). Increases in grain yield bread wheat from breeding and associated physiological changes. En: G. A. Slafer (ed.), *Genetic improvement of field crops* (pp. 1-68). Marcel Dekker, Inc., New York.
- Slafer, G., Savin, R. & V.O.Sadras. (2014). Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research*, 157, 1-83.
- Soil Survey Staff. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos*. Cap. 12: Molisoles. Dpto. Agric. de USA-Serv. Conservación Rec. Nat. (12nd ed.), USDA.
- Waddington, S. R., Ransom, J. K., Osmanzai, M. & Saunders, D. A. (1986). Improvement in the yield potential of bread wheat adapted to northwest Mexico. *Crop Science*, 26, 698-703.
- Walsh, E. J. (1984) Developing yield potential of cereals. En E. J. Gallager (Ed.). *Cereal Production* (pp. 69-93). Butterworths, London.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T. & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421.