

**“RENDIMIENTO Y EFICIENCIA EN EL USO DE NITRÓGENO (EUN) EN EL CULTIVO DE TRIGO PAN (*Triticum aestivum* L.): EFECTO DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO”**

Trabajo Final de Grado  
del alumno

**JOSÉ FRANCISCO BRAMANTI**

Director: Mg. Ignacio I. Terrile

Co-Director: Dra. Fernanda G. González

Este trabajo ha sido presentado como requisito  
para la obtención del título de

**Ingeniero Agrónomo**

*Reforma Universitaria*  
15 Junio 1918  
Carrera

**Ingeniería Agronómica**

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.  
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.**

Pergamino, 12 noviembre 2018

**“EFICIENCIA EN EL USO DE NITRÓGENO (EUN) EN EL CULTIVO DE TRIGO PAN  
(*Triticum aestivum* L.): EFECTO DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO”**

Trabajo Final de Grado  
del alumno

**JOSÉ FRANCISCO BRAMANTI**

Aprobada por el Tribunal Evaluador de Tesina

(Ing. Agr. Mg. Ignacio Terrile)  
Director

(Ing. Agr. Fernanda González)  
Co-director

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.  
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.**

Pergamino, 12 noviembre de 2018

## Agradecimientos

- En primer lugar, a mi familia, por el apoyo de cada día y por la confianza que me transmiten siempre. A mis padres, Gabriel y Josefina, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por los sacrificios que realizaron día a día para que nunca me faltara nada, por la educación brindada, tanto académica, como de la vida, por sus consejos y principalmente por los valores inculcados que hoy me permiten ser una persona de bien.

- A mis hermanos Belén, Juan Pablo y Lujan, por ser ejemplos de que con perseverancia y constancia siempre se puede salir adelante, por ser parte más que importante de esta hermosa etapa que hoy finaliza y me permite poder lograr uno de mis objetivos de la vida.

- A mis amigos que me acompañaron durante todo este trayecto y que formaron parte de este crecimiento. En especial a mi amigo y compañero de Tesina y viajes, Ricardo Fernandez.

- A mis directores, Ing. Ignacio Terrile y Dra. Fernanda Gonzalez primero por aceptar realizar este Trabajo Final de Grado, y segundo, tanto o más importante aún, por ayudarme, guiarme, seguirme enseñando y por su predisposición durante todo este tiempo, haciendo una mención especial en todo esto a Facundo Curin.

- A la Universidad Nacional del Noroeste de Buenos Aires (UNNOBA) por darme la posibilidad de tener una excelente educación y formarme como profesional.

- Al grupo de Ecofisiología de Trigo del INTA Pergamino, por confiar y permitir tener el placer de realizar mis estudios en parte de sus experimentos. Además de transmitirme su entusiasmo y conocimiento sobre el cultivo.

- Al Programa de Mejoramiento de Trigo de INTA Pergamino por facilitar el uso del material vegetal.

- Al grupo de compañeros de campo, Nicole Prettini, Luis Blanco, Pablo, Nadia y Gonzalo que me acompañaron en esta experiencia.

- Por último, agradezco a todas esas personas que fueron parte importante en esta etapa de mi vida y hoy no están presentes.

*“Pobre del que tiene miedo de correr riesgos. Porque ése quizá no se decepcione nunca, ni tenga desilusiones, ni sufra como los que persiguen un sueño.”*  
Paulo Coelho

## Tabla de contenidos

<b>Resumen</b> .....	5
<b>1. Introducción</b> .....	6
<b>2. Hipotesis y Objetivos</b> .....	11
<b>3. Materiales y métodos</b> .....	13
3.1. Material vegetal.....	14
3.2. Ubicación del experimento.....	14
3.3. Condiciones de cultivo.....	15
3.4. Diseño experimental.....	15
3.5. Caracteres evaluados.....	16
<b>4. Resultados y discusión</b> .....	17
4.1. Condiciones climáticas.....	18
4.2. Progreso genético: Rendimiento en grano, componentes numéricos y determinantes fisiológicos.....	19
4.3. Progreso genético: Eficiencia agronómica en el uso del nitrógeno.....	22
<b>5. Conclusiones</b> .....	23
<b>6. Referencias bibliográficas</b> .....	25

## **RESUMEN**

La demanda de trigo se incrementará en el futuro. Para satisfacer dicha demanda la producción deberá incrementarse de manera sustentable. Una vía para lograrlo consiste en obtener cultivares de mayor rendimiento potencial asociado a una mayor eficiencia en el uso de nutrientes. El objetivo general del trabajo fue evaluar el progreso genético de (i) el rendimiento en grano (RG) y sus componentes numéricos (número –NG- y peso de granos –PG-, número de espigas por m<sup>2</sup> –NE- y número de granos por espiga NGE<sup>-1</sup>) y determinantes ecofisiológicos (biomasa total –BT- e índice de cosecha –IC-), y (ii) la eficiencia agronómica en el uso de nitrógeno (EUN<sub>ag</sub>) en el cultivo de trigo en los últimos 30 años. Bajo dos condiciones de disponibilidad de nitrógeno (N), sin fertilización (Ni, varió entre 20 y 33 kgN ha<sup>-1</sup>), y con fertilización llevando la disponibilidad de N a 220 kg ha<sup>-1</sup> (N220), 10 genotipos (G) de trigo pan liberados al mercado entre 1980 y 2011 (5 de ciclo intermedio-largo y otros 5 de ciclo corto) fueron testeados para el análisis de progreso genético. La EUN<sub>ag</sub> se determinó como el cociente entre la diferencia de RG entre N220 y Ni, y la diferencia entre N220 y Ni. Las variables que presentaron efecto N x Genotipo significativo fueron: RG, NG, NE, BT y NGE<sup>-1</sup>. El PG sólo tuvo efectos principales significativos (N y G) y el IC solo presentó efecto G. En términos de progreso genético, las tasas de ganancia relativas fueron positivamente significativas sólo bajo N220, oscilando entre 0,9% para RG y 1,8% para NGE<sup>-1</sup>. La EUN<sub>ag</sub> aumentó significativamente con el año de liberación de los genotipos utilizados. Estos resultados refuerzan la idea de que los genotipos modernos responden mejor al agregado de fertilizante provocando un mejor uso del mismo.

# **INTRODUCCIÓN**

Los cereales, especialmente el trigo y el arroz, proveen el 50% de las calorías en la dieta humana (Tweeten y Thompson, 2008) y aproximadamente el 73% de la producción mundial de trigo es utilizada como alimento directo por el hombre (FAO STAT 2016 <http://www.faostat.fao.org>). Por esta razón, la producción de trigo es vital para alcanzar estándares razonables de seguridad alimentaria en el futuro (Chand, 2009). Según la FAO (FAO, 2002) la demanda mundial de trigo alcanzará las 815 Mt (millones de toneladas) para el 2030. Ello implica un aumento de la producción de trigo de aproximadamente en un 50% en las próximas décadas (Borlaug, 2007; Chand, 2009).

Argentina produce alrededor de 13 Mt de trigo (2004-2014, FAO 2016), cerca del 2% de la producción mundial, de los cuales aproximadamente la mitad es consumo interno y el resto saldo exportable. Actualmente, el cultivo incrementó su superficie cosechada a 5,5 Mha durante la última campaña, llevando la producción nacional a 18,3 Mt, siendo el incremento interanual del 56.3% respecto a la cosecha 2015/16, con un rinde promedio nacional de 3,0 t ha<sup>-1</sup> (Agroindustria Argentina 2018 <http://www.agroindustria.gob.ar>). La zona triguera central (centro y sur de Santa Fe, norte y centro de Buenos Aires y sur-oeste de Córdoba) ocupa el 30% de dicha superficie. El incremento en la demanda a nivel mundial implica una gran oportunidad para un país exportador como la Argentina. Dado que el área cultivada con trigo podría incrementarse sólo marginalmente, los aumentos en producción necesarios para cubrir la demanda deberán sostenerse con aumentos del rendimiento (Reynolds *et al.*, 2009).

El rendimiento en grano (RG) es una característica cuantitativa compleja (*i.e.* determinada por muchos genes) con una alta interacción ambiental, pero que puede desagregarse en rasgos menores relevantes en su determinación, asociados a la captura y uso de recursos (ecuación -ec- 1 y 2)

$$BT = \text{Oferta del recurso} \times \text{Captura del recurso} \times \text{Eficiencia de uso del recurso} \quad (1)$$

$$RG = BT \times IC \quad (2)$$

En esta aproximación, la producción de biomasa total al final del ciclo (BT) y el índice de cosecha (IC: proporción de la BT que es particionada a los granos) son los principales rasgos determinantes del RG, que pueden a su vez ser desagregados en componentes menores dentro de un modelo de procesos eco-fisiológicos que ocurren a lo largo del ciclo de un cultivo. Desde el punto de vista numérico, el rendimiento depende del número de granos generados por unidad de superficie (NG) y del peso medio de los mismos (PG). En general, el NG es más variable y explica en mayor proporción la variación en el RG (Calderini *et al.*, 1999). El NG a su vez dependerá del número de espigas establecidas por unidad de área (NE) y del número de granos por espiga ( $NGE^{-1}$ ).

La tasa de progreso genético del rendimiento, bajo condiciones potenciales, ha sido cercana al 1% (Abbate *et al.*, 1998; Ortiz-Monasterio *et al.*, 1997; Sayre *et al.*, 1997; Shearman *et al.*, 2005), pero durante los últimos años se han reportado valores inferiores. Por ejemplo, Fischer y Edmeades (2010) reportaron ganancias de 0,3-0,6% por año durante los últimos 20 o 30 años en el Valle de Yaqui (Méjico). En Argentina, desde el final de 1990 a 2011 la tasa de ganancia genética reportada se redujo drásticamente, alcanzando valores de 0,18% año<sup>-1</sup> (Lo Valvo *et al.*, 2018). Dichas tasas de progreso estuvieron asociadas durante la revolución verde a la introducción de genes de enanismo (Rth) lo que produjo un aumento de la partición de biomasa a espiga lo cual incrementó el número de granos por espiga y el IC (Fischer, 1984; Siddique *et al.*, 1989). Luego de la revolución verde, en cultivares liberados a partir de mitad de la década de 1980, en países como Méjico, Reino Unido y Australia se observó que la mejora del RG estuvo más asociada a aumentos en la BT que en el IC (Reynolds *et al.*, 1999; Donmez *et al.*, 2001; Shearman *et al.* 2005; Sadras y Lawson, 2013). Sin embargo, en los cultivares liberados en Argentina hasta 2011 la ganancia en RG siguió asociada a mejoras en el IC, sin grandes variaciones en la BT (Lo Valvo *et al.*, 2018). Austin (1980) determinó los límites biológicos teóricos para el IC a partir de la extrapolación de los valores medios del

IC, considerando que era posible alcanzar valores cercanos al 60%. A pesar de este valor teórico propuesto en la literatura, los trigos élite en el mundo no superan valores cercanos al 50%, sugiriendo que el mismo es el valor máximo alcanzable (Reynolds *et al.*, 2005; Shearman *et al.*, 2005). En Argentina, los cultivares modernos exploran valores cercanos al 40% (González *et al.*, 2011, Lo Valvo *et al.*, 2018), indicando que aún se podría mejorar dicho índice para aumentar el rendimiento potencial.

Si bien el rendimiento promedio de trigo en Argentina como su ganancia son cercanos a los valores a nivel mundial, la productividad potencial es mucho mayor a la real (Aramburu Merlos *et al.*, 2015). Entre los principales factores determinantes de esta brecha se puede mencionar a los déficits nutricionales (*e.g.* N) (Aramburu Merlos *et al.*, 2015). Si bien este aspecto puede ser atendido mediante la fertilización, genera un fuerte impacto en la rentabilidad económica (García, 2008; Ortiz-Monasterio *et al.*, 2012) y, a futuro, en la sustentabilidad ambiental (García *et al.*, 2013; Ortiz-Monasterio *et al.*, 2012). Por eso, desarrollar cultivares de alta eficiencia agronómica en el uso del nitrógeno (EUN), *i.e.* que logren alta producción por unidad de nitrógeno disponible, ayudaría a disminuir dicha brecha y a reducir los impactos ambientales.

Durante la revolución verde con la incorporación de los cultivares semi-enanos la EUN se incrementó notablemente, casi duplicando el rendimiento obtenido para igual disponibilidad de nitrógeno (Ortiz-Monasterio *et al.*, 2012). Ortiz-Monasterio *et al.* (1997) determinaron que la ganancia en rendimiento de los cultivares liberados entre 1950 y 1985 promedió 1,1%, incrementando en igual magnitud la mejora en la EUN, la cual osciló entre 29 y 38 kg grano/kg N (aplicado por fertilizante). Recientemente, Cormier *et al.* (2013) cuantificando el impacto del mejoramiento en cultivares liberados entre 1985 y 2010 en Francia, observó un incremento solo del 0,37% (ca. 0,13 kg grano/ kilogramo de N) logrando valores máximos de ca. 43Kg grano/kg N. En la Argentina, no hay estudios publicados que caractericen el efecto del mejoramiento genético reciente sobre la

eficiencia del uso del nitrógeno en el cultivo de trigo. Sin embargo, al comparar trabajos de respuesta a la fertilización realizados en la década del '80 con aquellos más actuales se puede observar que la EUN ha ido aumentando, pasando de valores de 2 a 5 kg de respuesta de RG al pasar de 0 a 100 kg de N aplicado para principios y mediados de los '80 (Falotico *et al.*, 1999; Barbieris *et al.*, 1983) a valores actuales de 30 a 40 kg de respuesta de RG por kg de N aplicado (Ferrari *et al.*, 2010).

# **HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

## **2.1. Hipótesis de trabajo**

H1) El RG ha progresado durante los últimos 30 años tanto en condiciones potenciales como con limitantes de N, asociado a un aumento en el NG y el IC, sin cambio en el PG y en la BT

H2) La EUN ha sido mejorada indirectamente a través del progreso en RG de los cultivares.

## **2.2. Objetivo general**

Analizar y evaluar el progreso genético del rendimiento bajo condiciones contrastantes de N y de la eficiencia agronómica en el uso de nitrógeno en distintas etapas del mejoramiento reciente (últimos 30 años) de trigo.

## **2.3. Objetivos específicos**

Analizar en distintos genotipos liberados al mercado durante los últimos 30 años

- a) El progreso genético del RG y sus componentes numéricos (NG, PG, NE y  $NGE^{-1}$ ) y determinantes fisiológicos (BT e IC) bajo dos ambientes contrastantes de disponibilidad de N:
- b) El progreso genético de la eficiencia agronómica en el uso del N (EUN)

# **MATERIALES Y MÉTODOS**

### 3.1. Material Vegetal

A través de encuestas personales a diversos profesionales que trabajan en el cultivo de trigo, se eligieron 10 genotipos de gran difusión en el área norte de la provincia de Buenos Aires. Del total, 5 son de ciclo intermedio-largo y otros 5 de ciclo corto (Tabla 1), representado de esta manera la diversidad de materiales disponibles en el mercado para cubrir el período de siembra del cultivo en la región.

Tabla 1. Años de liberación de los cultivares de trigo utilizados

Cultivares ciclo intermedio-largo

IDENTIFICACIÓN	AÑO DE LIBERACION
BUCK PUCARA (BP)	1980
KLEIN CACIQUE (KC)	1991
KLEIN PEGASO (KP)	1997
BAGUETTE 11 PREMIUM (B11)	2004
BAGUETTE 601 (B601)	2011

Cultivares ciclo corto

IDENTIFICACIÓN	AÑO DE LIBERACION
MARCOS JUAREZ INTA (MJI)	1980
PROINTA FEDERAL (PIF)	1990
PROINTA GAUCHO (PIG)	2000
DM CRONOX (ACR)	2005
BUCK SY 300 (BSY)	2010

### 3.2. Ubicación del experimento

El experimento se realizó en el campo experimental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-Centro Regional Buenos Aires Norte- Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. El mismo se encuentra ubicado en la ruta provincial N°32 a 3,2 kilómetros del cruce con ruta nacional N°188 y a 7,6 kilómetros del centro de la ciudad de Pergamino. (Latitud: 33°56'47.23"S, Longitud: 60°33'40.77"O, Elevación 70 m) (Figura 1).



Figura 1. Imagen obtenida a través de Google Earth. Fecha de la imagen: 18 de septiembre de 2015.

### 3.3 Condiciones de cultivo

El experimento fue realizado sobre un suelo *Argiudol típico* con la presencia de un horizonte b textural entre los 60 y 90 cm, el contenido de materia orgánica (MO) fue de 2.5 % mientras que el N varió entre 20 y 33 kgN ha<sup>-1</sup> para ciclo largo y corto, respectivamente, dichas diferencias pueden ser explicadas por una mayor mineralización en la siembra de los cortos realizada 30 días posteriores. En cuanto al fósforo (P) el mismo se encontró en niveles mayores de 20 ppm, por encima del nivel crítico (García 2018), por lo que no se realizó fertilización fosforada. El mismo fue conducido sin limitación hídrica y libre de malezas, plagas y enfermedades. Se establecieron dos condiciones de N, una sin fertilizar y otra con el agregado de N en forma de UREA de manera de llegar a una disponibilidad de 220 KgN ha<sup>-1</sup> en ambos ciclos. Para ello la fertilización se dividió en dos momentos, inicio de macollaje e inicio de encañazón. La densidad y fecha de siembra fueron del 2 de Junio con 220 pl m<sup>-2</sup> para los ciclos largos y del 8 de julio con 320 pl m<sup>-2</sup> para los ciclos cortos. La unidad experimental consistió en parcelas de 7 surcos de 5 metros de largo y distanciadas a 0,2 metros entre ellos.

### 3.4. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de parcelas divididas en bloques, con tres repeticiones, donde la parcela principal fue el N y la sub-parcela los cultivares. Los resultados fueron analizados mediante el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2016).

El modelo estadístico empleado fue:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \gamma_k + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (e)_{ijk}$$

$y_{ijk}$ : es el valor observado de la parcela en el  $i$  bloque, en el  $j$  nivel de nitrógeno y en el  $k$  genotipo;  $\mu$ : la media general del ensayo;  $\tau_i$ : el efecto del bloque  $i$ ;  $\beta_j$ : el efecto del  $j$  nivel de nitrógeno;  $(\tau\beta)_{ij}$ : el efecto de la interacción del  $i$  bloque y el  $j$  nivel de nitrógeno;  $\gamma_k$ : el efecto del  $k$  genotipo;  $(\tau\gamma)_{ik}$ : el efecto interacción del  $i$  bloque y el  $k$  genotipo;  $(\beta\gamma)_{jk}$ : el efecto interacción del  $j$  nitrógeno y el  $k$  genotipo;  $(e)_{ijk}$ : el error experimental de la parcela con  $i$  nivel de nitrógeno, en el  $j$  bloque, con  $k$  genotipo.

### 3.5. Caracteres evaluados

A madurez fisiológica se tomo una muestra de 1 m lineal por parcela de un surco central. Se contaron las espigas y se separaron del resto de la biomasa, previo a su ingreso a estufa a 65°C donde se dejaron secar hasta peso constante. Las espigas fueron trilladas a mano y se pesó el total de granos de la muestra para determinar: (i) rendimiento (RG), y (ii) la proporción del peso del grano del total de la biomasa recolectada, es decir el IC. El número de granos presentes en una muestra de 2g tomada al azar se contó de manera automatizada (contado Pffeuffer), calculándose el PG como el cociente entre el NG y el peso de dicha submuestra. El  $NGm^{-2}$  se estableció como el cociente entre RG y el PG. El  $NGE^{-1}$  se determinó dividiendo el  $NGm^{-2}$  por el  $NEm^{-2}$

La EUN se calculó como la relación de la diferencia de rendimiento entre N220-Ni y la diferencia de N disponible entre las dos condiciones (ec 3).

$$EUN \text{ (Kg grano/kg N disponible)} = (RG_{N220} - RG_{Ni}) / (N220 - Ni) \quad (\text{ec 3})$$

Para determinar el progreso genético sobre dichos caracteres se realizaron regresiones lineales entre ellos y el año de liberación de los materiales. Para la comparación de tratamientos (Ni vs N220), los valores para cada carácter se estandarizaron calculando los desvíos relativos (DR) al índice ambiental (IA: promedio de los 10 cultivares) de cada condición de crecimiento.

$$DESUDIO RELATIVO = \frac{(\text{PROMEDIO CULTIVAR} - IA)}{IA}$$

Se realizaron regresiones lineales para establecer las tasas relativas de cada carácter y test de pendiente para establecer diferencias significativas entre las mismas a través del programa GRAPHPRISM.

# **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### 4.1. Condiciones climáticas

Durante el periodo en el que se realizaron los ensayos (junio a diciembre del año 2015) la amplitud térmica promedio prácticamente fue la misma respecto a la media histórica. Sin embargo, se pueden evidenciar tres etapas bien marcadas, la primera de junio a agosto con una mayor temperatura promedio del aire, la segunda correspondiente al mes de septiembre casi sin diferencias, y una tercera etapa octubre-diciembre, donde las temperaturas medias del aire fueron inferiores a la media histórica. (Figura 2)

Respecto a las precipitaciones, el acumulado para el período durante el que se llevó a cabo el experimento fue aproximadamente 300mm mayor al de la media histórica (1910-2014), debido principalmente a las lluvias de fin de julio-principio de agosto y todo el mes de noviembre. (Figura 3)

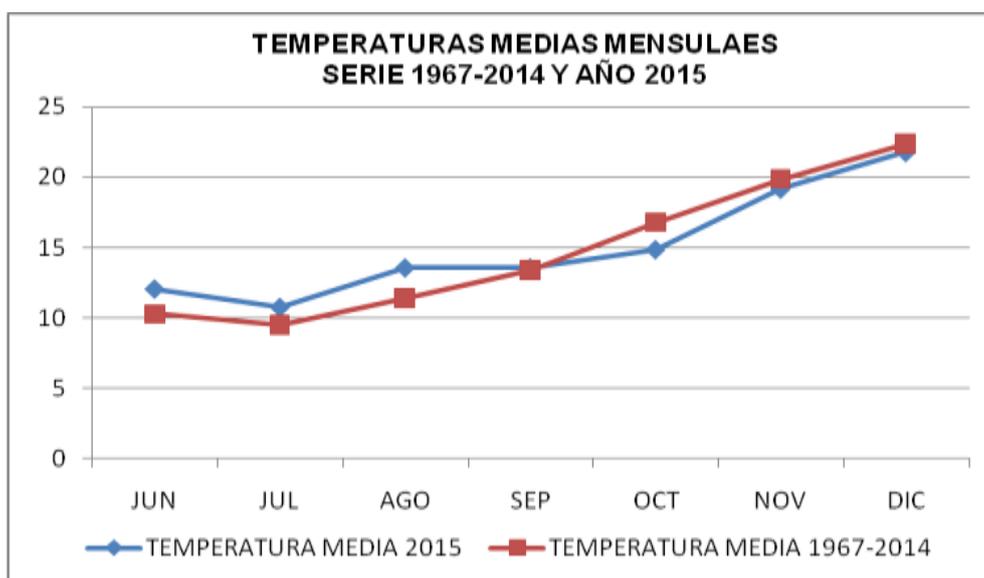


Figura 2. Medias mensuales de las temperaturas durante el ciclo del cultivo. Fuente: Sector Agrometeorología INTA EEA Pergamino

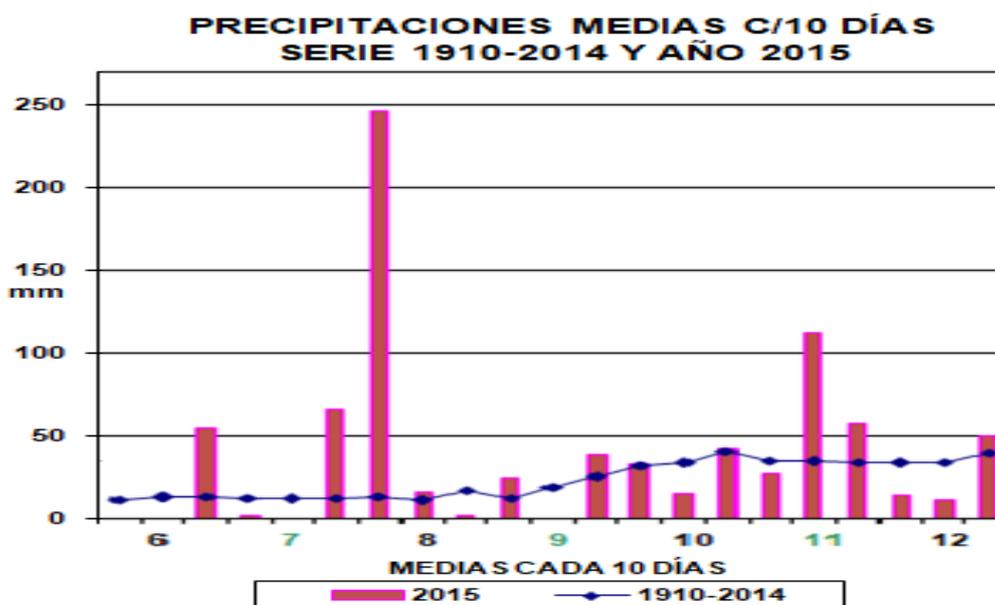


Figura 3. Precipitaciones medias decádicas durante el período de crecimiento del cultivo. Los números indican los meses del año. Fuente: Sector Agrometeorología INTA EEA Pergamino

#### 4.2. Progreso genético: Rendimiento en grano, componentes numéricos y determinantes fisiológicos

En general las variables presentaron interacción N x genotipo (G) (RG, NG, NE, BT, NGE<sup>-1</sup>) excepto el PG que solo tuvo efectos principales significativos (N y G) e IC que solo presentó efecto G ( $p < 0,05$ ), corroborándose que en trigo un estrés nitrogenado provoca una disminución en la producción de biomasa sin afectar la partición de la misma (Fischer 1993). Se observó una respuesta promedio en el RG de 67% al agregado de N y de un 66% para BT y NG, mientras que para el IC y el PG fue 6% y 3% respectivamente (Tabla 2). En general para todas las variables analizadas los cultivares modernos presentaron mejores respuestas al agregado de N.

La ganancia de rendimiento en términos reales fue de 5,15 g m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> bajo N220 y nula para Ni (Figura 4).

Tabla 2. Media de RG, determinantes fisiológicos (BT: biomasa total, IC: índice de cosecha) y componentes numéricos para cada combinación de N x G. \*\*, \* Indican niveles de significancia menores a 0,01 y 0,05 respectivamente para las distintas fuentes de variación de los distintos caracteres evaluados. DSM: diferencia de mínima significativa dada por la prueba de comparaciones múltiples TUKEY con un  $\alpha$  0,05.

Nitrógeno	Genotipo	RG gm <sup>-2</sup>	BT gm <sup>-2</sup>	IC	NG n°m <sup>-2</sup>	PG* g	NE n°m <sup>-2</sup>	NG E <sup>-1</sup> n°E <sup>-1</sup>
<b>N220</b>	<b>MJI</b>	540	1517	0,36	17512	31	843	21
	<b>PIF</b>	469	1206	0,39	11765	40	505	23
	<b>PIG</b>	391	1107	0,35	13436	32	473	28
	<b>ACR</b>	580	1470	0,4	17584	33	773	23
	<b>BSY</b>	482	1381	0,35	15276	32	505	30
	<b>BP</b>	370	1388	0,27	12417	30	605	21
	<b>KC</b>	532	1624	0,33	14053	37	468	30
	<b>KP</b>	505	1703	0,3	15105	33	535	28
	<b>B11</b>	711	1652	0,43	21073	34	475	44
	<b>B601</b>	701	1778	0,39	22130	32	522	42
<b>Ni</b>	<b>MJI</b>	202	550	0,37	6119	33	313	20
	<b>PIF</b>	160	464	0,35	4161	38	278	15
	<b>PIG</b>	180	520	0,35	5483	33	244	22
	<b>ACR</b>	184	480	0,38	5669	32	333	17
	<b>BSY</b>	158	469	0,34	5534	29	211	26
	<b>BP</b>	163	525	0,31	5180	31	368	14
	<b>KC</b>	168	531	0,32	4546	37	287	16
	<b>KP</b>	199	707	0,29	6235	32	308	20
	<b>B11</b>	153	408	0,38	5028	31	269	19
	<b>B601</b>	171	457	0,37	6111	28	256	24
Nitrógeno		**	**		**		**	*
Genotipo		**	**	**	**	**	**	**
N x G		**	**		**		**	**
DMS Tukey 0,05								
N								
G								
N x G		144	332	0,05	5221	4	161	11

\* expresado como peso de mil granos

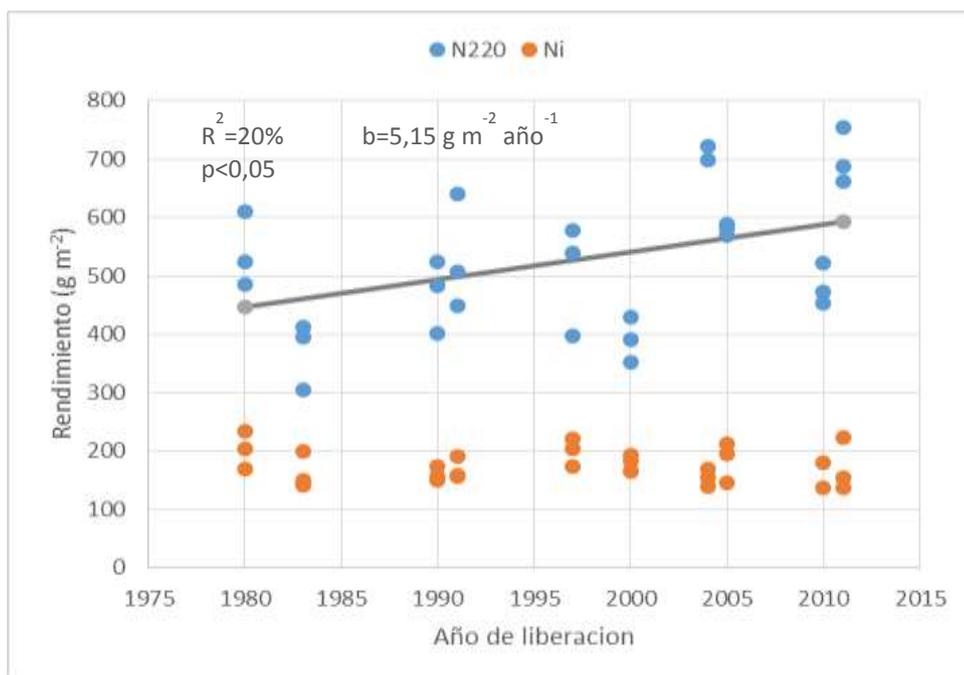


Figura 4: Rendimiento en función del año de liberación para los tratamientos N220 y Ni. Todos los cultivares.

Dada esta respuesta, el cálculo del progreso genético en términos relativos se realizó sólo para N220 (Tabla 3).

Tabla 3: Tasa de ganancia relativa (en porcentaje), R<sup>2</sup> y significancia para las distintas características evaluadas bajo N220.

	Ganancia (%)	R <sup>2</sup>	p-value
RG	0,9	19	0,0171
BT	NS	NS	NS
IC	0,6	19	0,0165
NG	1,0	21	0,0114
PG	NS	NS	NS
NE	-0,8	13	0,0529
NG E <sup>-1</sup>	1,8	41	0,0002

Las tasas de ganancia relativas fueron significativas y positivas para la mayoría de las variables medidas (RG, NG, NGE<sup>-1</sup> e IC) como los encontrados por otros autores con un conjunto de genotipos más antiguo (Calderini *et al.*, 1999, Slafer y Andrade 1989, Lo Valvo *et al.*, 2018), mientras que fue negativa y significativa para NE. No hubo efecto significativo para los caracteres PG y BT. Dichos resultados indican que la mejora genética ha sido el aumento de los destinos reproductivo, NG, sin caídas en el PG

coincidiendo con Calderini *et al.* (1999). Dicho resultado fue posible gracias a un aumento en la partición de biomasa a granos sin necesidad de aumentar la fuente para cubrir dicho aumento en la demanda. En términos porcentuales la ganancia de RG fue de 0,9% valor por encima del reportado por Lo Valvo *et al.* (2018) para el mismo período analizado.

#### 4.3. Progreso genético: Eficiencia agronómica en el uso del nitrógeno

La variable  $EUN_{ag}$  tuvo un efecto genotipo significativo dado por el ANOVA (Tabla 4), y un efecto significativo positivo de progreso genético del 1,6% dando en términos absolutos una mejora de  $0,31 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}^{-1}$  por año (Figura 5). Los valores de EUN se encuentran por encima de los reportados en los cultivares más viejos (Falotico *et al.*, 1999; Barbieris *et al.*, 1983) y por debajo en los más modernos (Ferrari *et al.*, 2010). En relación a la ganancia los valores son superiores a los de Ortiz-Monasterio (1997), quién cálculo la EUN como el rendimiento obtenido por unidad de N aplicado.

Tabla 4. Valores de  $EUN_{ag}$  ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ N}^{-1}$ ) para los diferentes genotipos estudiados. \*\*, \* Indican niveles de significancia menores a 0,01 y 0,05 respectivamente para las distintas fuentes de variación de los distintos caracteres evaluados. DSM: diferencia de mínima significativa dada por la prueba de comparaciones múltiples TUKEY con un  $\alpha=0,05$ .

Genotipo	$EUN_{ag}$
MJI	14,43
BP	10,02
KC	20,33
PIF	26,11
KP	19,02
PIG	14,97
BP11	20,41
ACR	23,71
B601	20,98
BSY	24,16
Genotipo	**
DMS Tukey 0,05	1,42

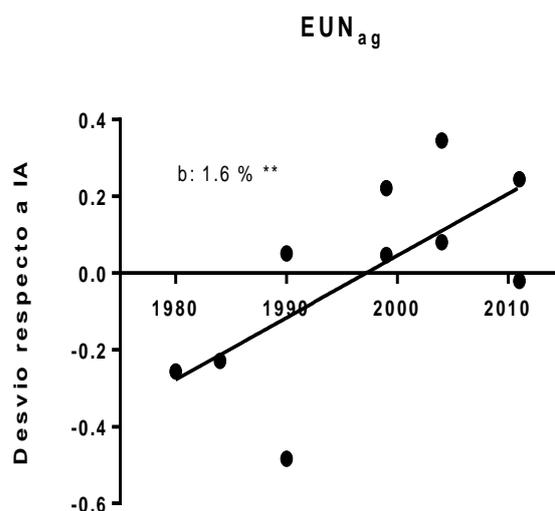


Figura 5. Desvíos relativos al IA para los distintos caracteres estudiados. Donde “b” es la pendiente. \*\* indica un nivel de significancia menor al 0,05

# **CONCLUSIONES**

En base a este trabajo se puede concluir que:

- El RG potencial ha sido mejorado en los últimos 30 años a una tasa de 0,9% por año en condiciones sin limitaciones de N.
- La BT no fue modificada en los últimos 30 años, pero sí se incrementaron el IC y NG.
- El NG fue el principal componente en determinar el progreso genético del RG sin caídas en el PG, por lo cual, el aumento de los destinos estuvo acompañado por una mayor partición de asimilados a granos sin necesidad de un aumento de la fuente.
- Bajo Ni no se observó ganancia de rendimiento.
- La  $EUN_{ag}$  aumentó con el mejoramiento del rendimiento potencial, lo que resulta en un mayor aprovechamiento en el uso de fertilizante.

## Referencias bibliográficas

- Abbate PE, Andrade FH, Lazaro L, Bariffi JH, Berardocco HG, Inza VH, Marturano F (1998) “*Grain yield increase in recent Argentine wheat cultivars*”. *Crop Science* 38: 1203-1209.
- Agroindustria Argentina (2018) URL <http://www.agroindustria.gob.ar> (Resumen descriptivo de elaboración propia en base a información del organismo)
- Aramburu Merlos, F., Monzon, J., Mercau, J., Taboada, M., Andrade, F., Hall, A., Jobbagy, E., Cassman, K., Grassini, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research* 184: 145–154.
- Austin, R., 1980. Physiological limitations to cereals yields and ways of reducing them by breeding. En: Hurd, R.G., Biscoe, P.V., Dennis, C. (Eds.), *Opportunities for increasing crop yields*. Association of Applied Biology, Pitman, Boston, USA.
- Barbieris, L., Nervi, A., Sfeir, A., Daniel, P., Urrucariet, S., Vázquez, M., Zourarakis, D. Analisis de la respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada en la pampa arenosa y su predicción. 1983. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, 23-28 de octubre de 1983
- Borlaug, N. (2007). “*Sixty-two years of fighting hunger: personal recollections*”. *Euphytica* 157: 287-297
- Calderini, D., Reynolds, M., Slafer, G. 1999. Genetic gains in wheat yield and main physiological changes associated with them during the 20th century. En: *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. pp. 351–377. Satorre, E.H., and Slafer, G.A. Eds., Food Product Press, New York.
- Chand, R. (2009) “*Challenges to ensuring food security through wheat*” CAB Reviews: Perspectives in agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural
- Cormier, F.; Faure, S.; Dubreuil, P.; Heumez, H.; Beauchêne, K.; Lafarge, S.; Praud, S. and Le Gouis, J. (2013) “*A multi-environmental study of recent breeding progress on nitrogen use efficiency in wheat (Triticum aestivum L.)*”. *Theoretical and Applied Genetics*. 126: 3035-3048.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; González, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W. (2016). InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

- Donmez, E., Sears, R., Shrover, J., Paulsen, G. 2001. Genetic gain in yield attributes of winter wheat in the Great Plains. *Crop Science* 41: 1412-1419
- Falotico, J., Studdert, G., Echeverría, H. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. 1999. *Ciencia del suelo* 17: 9-20
- FAO (2002). “*World Agriculture: Towards 2015/2030. An FAO perspective*” Rome, Italy Chapter 11. Table 11.1.
- FAOStat (2016) URL <http://www.faostat.fao.org> (Resumen descriptivo de elaboración propia en base a información del organismo)
- Ferrari M.; Castellarín, J.M.; Sainz Rozas, H. R.; Vivas, H. S.; Melchiori, R. J. M. y Gudelj, V. J.2010. Evaluación de métodos de diagnóstico de fertilidad nitrogenada para el cultivo de trigo en la región pampeana. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentina 2010.
- Fischer 1993. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. Grain yield and protein content. *Field Crops Research* 33.
- Fischer, R. 1984. Wheat. En: W. Smith and S. Banta, ed. *Potential Productivity of Field Crops under Different Environments*. IRRI, Los Bafios, Philippines.
- Fischer, R.A., Edmeades, G.O. 2010. Breeding and cereal yield progress. *Crop Science* 50: 85-98.
- García, F. 2008. Rentabilidad de la fertilización: Algunos aspectos a considerar. IPNI CONO SUR  
[www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/081491F7C43959A705256A150059F5BB/\\$file/Rentabilidad+de+la+Fe+rtilizaci%C3%B3n.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/081491F7C43959A705256A150059F5BB/$file/Rentabilidad+de+la+Fe+rtilizaci%C3%B3n.pdf)
- García, G., Taboada, M., González Sanjuan, M., Picone, L. 2013 El nitrógeno en la agricultura argentina. Alternativas para incrementar la eficiencia de uso en los cultivos de granos y mitigar las emisiones de óxido nitroso. URL <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1210>.
- García, F. 2018. Diagnóstico y necesidades de fertilización de los principales cultivos de grano de la Región Pampeana Argentina.
- González, F., Miralles, D., Slafer, G. 2011. Wheat floret survival as related to pre-anthesis spike growth. *Journal of Experimental Botany* 62: 4889-4901
- Lo Valvo, P., Miralles, D., Serrago, R. 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

- Ortiz-Monasterio, J. I.; Sayre, K. D.; Rajaram, S. and McMahon, M. (1997) "*Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four N rates*". *Crop Science* 37 (3): 898-904.
- Ortiz-Monasterio, J. I.; G. Manske and Maarten van Ginkel. (2012) "*Nitrogen and phosphorus use efficiency*" en "Physiological Breeding I: Interdisciplinary Approaches to Improve Crop Adaptation" Reynolds, MP; Pask, AJD and Mullan DM (eds) Mexico, DF: CIMMYT
- Reynolds, M.P.; Foulkes, J.M.; Slafer, G.A.; Berry, P.; Parry, M.A.J.; Snape, J.; Angus, W.J. (2009) "*Raising yield potential in wheat*". *Journal of Experimental Botany* 60:1899-1918.
- Reynolds, M., Pellegrineschi, A., Skovmand, B. 2005. Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat. *Annals of Applied Biology* 146: 39–49.
- Reynolds, M., Sayre, K., Rajaram, S. 1999. Physiological and genetic changes in irrigated wheat in the post Green Revolution period and approaches for meeting projected global demand. *Crop Science*. 39: 1611–1621.
- Sadras, V., Lawson, C. 2013. Nitrogen and water-use efficiency of Australian wheat varieties released between 1958 and 2007. *European Journal Agronomy* 46: 34-41.
- Sayre, K., Rajaram, S., Fischer, R. 1997. Yield potential progress in short bread wheat in Northwest Mexico. *Crop Science* 37: 36-42.
- Shearman, V., Sylvester-Bradley, R., Scott, R., Foulkes, M. 2005. Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Crop Science* 45: 175-185.
- Siddique, K., Kirby, E., Perry, M. 1989. Ear:stem ratio in old and modern wheat varieties; relationship with improvement in number of grains per ear and yield. *Field Crops Research* 21: 59-78.
- Slafer, G., Andrade, F. 1989. Genetic improvement in bread wheat (*Triticum aestivum*) yield in Argentina. *Field Crops Research* 21: 289-296.
- Tweeten, L. y Thompson, S. R. (2008). "*Long-term agricultural output supply-demand balance and real farm and food prices*". Working paper AEDE-WP 0044-08, Ohio State University, Columbus, OH.