

**GENERACIÓN DE RENDIMIENTO POTENCIAL EN TRIGO (*TRITICUM AESTIVUM L.*):
ESTUDIO DE SUS BASES ECOFISIOLÓGICAS EN CULTIVARES ELITE ADAPTADOS
AL NORTE DE BUENOS AIRES**

Trabajo Final de Grado
del alumno



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

Pergamino, 13 diciembre 2016

**GENERACIÓN DE RENDIMIENTO POTENCIAL EN TRIGO (*TRITICUM AESTIVUM L.*):
ESTUDIO DE SUS BASES ECOFISIOLÓGICAS EN CULTIVARES ELITE ADAPTADOS
AL NORTE DE BUENOS AIRES**

Trabajo Final de Grado
del alumno

ANDRÉS CARP

Aprobada por el Tribunal Evaluador

(Nombre y Apellido)
Evaluador

(Nombre y Apellido)
Evaluador

(Nombre y Apellido)
Evaluador

(Nombre y Apellido)
Director

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

Pergamino, 15 mayo 2017

Generación de rendimiento potencial en trigo (*Triticum aestivum* L.): Estudio de sus bases ecofisiológicas en cultivares elite adaptados al norte de Buenos Aires

1. Introducción

1.1. Importancia del cultivo

El trigo (*Triticum aestivum* L) es el cereal más extensamente cultivado en el mundo y sus productos son muy importantes en la nutrición humana. Desde el comienzo del siglo XX, la producción de trigo ha crecido sustancialmente, debido al aumento conjunto de dos factores:

- (i) la superficie cultivada, pasando de 90 a más de 230 millones de hectáreas, con mayor aporte durante la primera mitad del siglo, y
- (ii) el rendimiento en grano, ha aumentado su promedio de 0,9 a más de 2,6 toneladas (t) ha⁻¹, principalmente durante la segunda mitad del siglo (Slafer et al. 1994).

El rendimiento promedio en Argentina durante los últimos años (2004-2014) fue cercano a 2,7 t ha⁻¹, ubicándose por debajo del promedio mundial (3,0 t ha⁻¹) (FAO 2016). La producción Argentina se encuentra en el puesto número 12, con una media de 12 millones de t, que ha variado muchísimo entre años, entre más de 16 a casi 8 millones de toneladas durante los últimos 10 años (FAO 2016). En el mismo período, la superficie de siembra en el país ha variado entre 6,1 y 3,3 millones de ha (FAO 2016)

- Las principales subregiones productoras son la IV (Sudeste de la Provincia de Buenos Aires) con el 32 % de la producción y un rinde de 3,5 t ha⁻¹. Le sigue la II Sur (Centro Norte de la Provincia de Buenos Aires) con el 17 % de la producción y un rinde de 3,7 t ha⁻¹ y la II Norte (incluye al norte de Buenos Aires, Sur de Santa Fé y Sureste de Córdoba) con el 14 % y 3,4 t ha⁻¹. La V Sur (Oeste de la Provincia de Buenos Aires y Este de la de La Pampa) que tiene la mayor área sembrada, de 1,4 millones de ha, tiene un rendimiento de apenas 1,5 t ha⁻¹ (www.agromercado.com.ar).

Se estima que ajustando las principales prácticas de producción, el rendimiento promedio del país podría ascender a $3,1 \text{ t ha}^{-1}$, alcanzando una producción de 21 millones de toneladas si la superficie sembrada fuera de 6.5 millones de ha. Ajustados estos factores, los futuros aumentos en producción tanto a nivel nacional como mundial, dependerán principalmente de mejoras en el rendimiento potencial del cultivo, puesto que el incremento de la superficie dedicada al mismo será de poca importancia (Hall & Richards 2013). Estudiar las bases ecofisiológicas de la generación del rendimiento potencial (i.e. rendimiento sin limitaciones hídricas ni nutricionales, ni estreses bióticos), en cultivares elite adaptados al ambiente objetivo de mejora, brindará información útil para diseñar estrategias viables que permitan seguir incrementando el rendimiento potencial de este cereal.

1.2. Ciclo y fases de desarrollo

Durante el ciclo del cultivo de trigo se producen cambios tanto en la morfología externa de las plantas como en la actividad del ápice meristemático encargado de la generación de primordios de órganos (vegetativos y reproductivos). La siguiente figura describe esquemáticamente los cambios morfológicos externos, en el tipo de órganos producidos en el ápice y los períodos de generación de los componentes numéricos del rendimiento en función del tiempo.

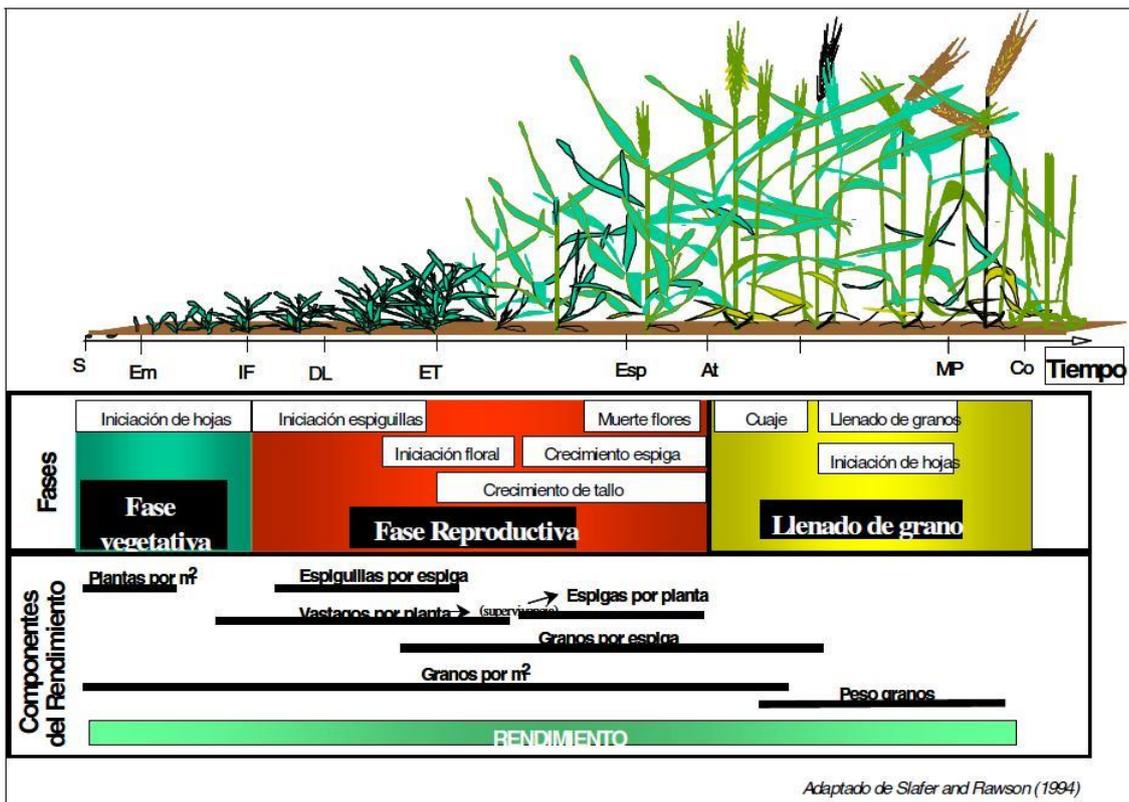


Figura 1. Esquema del ciclo ontogénico de un cultivo de trigo (Slafer & Rawson 1994).

El trigo es una planta de día largo (acelera su tasa de desarrollo bajo fotoperíodo largo), y todas las etapas comprendidas entre la emergencia del cultivo y la antesis son sensibles a fotoperíodo. Algunas evidencias indicarían que dicha sensibilidad podría ser parcialmente independiente permitiendo la posibilidad de modificar la sensibilidad de una fase sin afectar en forma importante a las otras (Slafer & Rawson 1994). El período reproductivo usualmente se divide para su estudio en dos: la etapa reproductiva temprana, desde el doble lomo (DL) hasta la aparición de la espiguilla terminal (ET) (en el cual se produce la formación de espiguillas) y la etapa reproductiva tardía, desde la formación de la ET hasta antesis (Slafer & Whitechurch 2001). Durante esta última etapa la espiga está en activo crecimiento, acumulando más del 95% de su peso seco sin grano. Debido a ello, esta etapa suele también nombrarse como período de crecimiento de la espiga (PCE). Este período inmediatamente previo a la antesis ha sido identificado como “crítico” para la definición del rendimiento, pues cualquier reducción en la disponibilidad de

recursos para el cultivo en dicha etapa se traducirá en una reducción importante en el peso seco de las espigas en antesis y, concomitantemente, en el número de granos por m^2 y en el rendimiento (Fischer 1985). Finalmente, durante el período post-antesis ocurre el llenado de grano.

1.3. Generación del rendimiento

El rendimiento puede desglosarse en sus dos componentes numéricos más importantes: número de granos por unidad de área (NG) y peso medio de los granos (PG). Si bien ambos componentes son importantes en la determinación del rendimiento, varios estudios han mostrado, para distintos ambientes y cultivares, que el rendimiento estaría más estrechamente asociado al NG que al PG (Fischer 1985; Slafer & Andrade 1989; Savin & Slafer 1991; Magrin et al. 1993; Slafer et al. 1994). El número de granos se define principalmente en el período previo a antesis (Fischer 1975; 1985), durante el período de crecimiento de las espigas (PCE). Durante este período se diferencian entre 6 y 12 primordios florales por espiguilla (Sibony & Pinthus 1988; Youssefian et al. 1992) dentro de las espigas. Sin embargo, en el corto período entre el estado de vaina engrosada y espigazón/antesis, muchas de las flores iniciadas abortan (denominado como “mortalidad floral” o “degeneración floral”), reduciéndose a unas pocas las que alcanzan el estado de flor fértil en antesis (Langer & Hanif 1973; Kirby 1988; Siddique et al. 1989a). La competencia por asimilados que se genera entre el tallo y la espiga en crecimiento sería la causa de la mortalidad floral en este período (Fischer 1975; 1985; Kirby 1988), explicando la relación positiva frecuentemente encontrada entre el peso de las espigas por m^{-2} en antesis (PSE) y el número de flores fértiles y granos m^{-2} (Fischer & Stockman 1980; Stockman et al. 1983; Thorne & Wood 1987; Slafer et al. 1990; Savin & Slafer 1991; Abbate et al. 1997; Demotes-Mainard et al. 1999). Basado en este modelo

ecofisiológico, Fischer (1984) propuso comprender el número de granos como el resultado del peso de las espigas en antesis y el coeficiente de fertilidad de las mismas (CFE- número de granos logrados por unidad de peso de espiga en antesis o cosecha-, ver ecuación 1). A su vez, el peso de las espigas en antesis depende del período de crecimiento de las espigas (PCE) y de la tasa de crecimiento de las mismas (TCE), siendo ésta última función de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y de la partición de biomasa a las espigas (PBE) durante la etapa pre-antesis (ec. 2).

$$NG = PSE \times CFE \quad (\text{ec. 1})$$

$$NG = PCE \times TCC \times PBE \times CFE \quad (\text{ec. 2})$$

Mediante el uso de estas aproximaciones y a partir del estudio de la generación del número de granos podrían encontrarse atributos relativamente independientes, y de esta forma tratar de manipularlos con el fin de aumentar el rendimiento potencial del cultivo de trigo. El gran adelanto que se produjo en el rendimiento potencial del cultivo durante el siglo pasado por los programas de mejoramiento genético, residió en el incremento del número de granos en la espiga, a través del aumento del índice de cosecha (IC), sin modificar la biomasa total producida (Austin et al. 1980; Siddique et al. 1989b; Slafer & Andrade 1991). Al seleccionar cultivares de menor altura se aumentó indirectamente la PBE y de esta forma el IC (Siddique et al. 1989a; Slafer et al. 1990; Slafer & Andrade 1993). Si bien varias alternativas se han planteado para incrementar el rendimiento potencial (Reynolds et al. 1996, Foulkes et al. 2011), esta tesis abordará el estudio de la variabilidad disponible en el PCE y CFE en germoplasma de trigo elite adaptado al norte de Buenos Aires.

Considerando la posibilidad de manipular en forma más o menos independiente la sensibilidad al fotoperíodo de las distintas etapas (Slafer & Rawson 1994), se ha planteado que aumentar el PCE, sin modificación de la fecha de antesis a expensas de las etapas previas, como estrategia para incrementar el número de granos (Slafer et al. 1996, 2001). Una mayor duración del PCE reduciría la competencia que se genera entre la espiga y el tallo por los recursos producidos, incrementándose la cantidad de materia seca acumulada en la espiga a antesis, el número de flores fértiles, y el número de granos del cultivo (Slafer et al. 1996, 2001). Hay trabajos que muestran muy poca variación en la duración de dicha etapa entre distintos cultivares (Abbate et al. 1998, Fischer 2001) contrastando con otros estudios que indican lo contrario (Whitechurch et al. 2007, Gonzalez et al. 2011).

Con relación al CFE, los pocos trabajos que han estudiado su impacto en el rendimiento indicarían que el aumento en el número de granos en los cultivares argentinos liberados al mercado previo a la década del 90 (Abbate et al. 1998) y posterior al año 2000 (2000-2008) (Gonzalez et al. 2011) estaría asociada con esta característica.

2. Objetivo

El objetivo general del presente proyecto es estudiar la generación de rendimiento potencial en cultivares elite de trigo adaptados al norte de Buenos Aires, prestando especial atención a la variabilidad en el PCE y el CFE.

2.1. Objetivos particulares

En forma particular el proyecto pretende determinar en los cultivares elite adaptados al norte de Buenos Aires:

- 1) La duración del ciclo a antesis y del PCE
- 2) El PSE en antesis y su relación con la TCE y el PCE

3) El CFE y su relación con el NG

3. Hipótesis

1) Existe variabilidad entre los cultivares en la duración del PCE, independiente del ciclo a antesis,

2) Existe variabilidad entre cultivares en el PSE en antesis, asociada a variación en sus dos determinantes: TCE y PCE

3) Existe variabilidad entre cultivares en el CFE asociada al NG

4. Materiales y métodos

4.1. Material Vegetal

Se utilizaron 16 cultivares de trigo (8 de ciclo largo y 8 de ciclo corto), algunos de los cuales son variedades comerciales y otros líneas avanzadas del programa de mejoramiento del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA (Tabla 1). La selección de los cultivares se basó en el alto rendimiento alcanzado en condiciones de producción de alta tecnología en el norte de Buenos Aires.

Tabla 1. Lista de cultivares seleccionados de ciclo largo (CL) y ciclo corto (CC)

CL	CC
Aca Cipres	DM Arex
DM Lenox	BSY 300
BioINTA 3005	Klein León
BioINTA 3007	Klein Roble
Buck SY110	T226
T203	J11023
P5156	P5794
B16208	P5757

4.2. Condiciones generales del ensayo

El ensayo se llevó a cabo en el campo de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino, bajo condiciones de crecimiento potencial (alta fertilidad y riego por aspersión para suplementar la lluvia, libre de estreses bióticos – excepto fusariosis de la espiga, ver párrafo siguiente - mediante aplicaciones de fungicidas e insecticidas preventivos y libres de malezas). Durante la siembra se aplicó una mezcla de fertilizante como arrancador con 6%N- 40%P- 5%S- 8%Ca. Inmediatamente en post-siembra y en inicio de encañazón se aplicó urea al voleo llevando el nivel de N en el suelo a 200 Kg ha⁻¹. En todos los casos la dosis se determinó en función de los análisis de suelo pre-siembra. Las parcelas fueron de 7 surcos de 5 m de largo distanciados a 0.2 m. Los cultivares de CL se sembraron los primeros días de Junio y los de CC un mes más tarde. La densidad de siembra fue de 250 plantas m⁻² y de 300 plantas m⁻² en los CL y CC, respectivamente. Cada grupo de cultivares (CL y CC) constituyeron un ensayo particular, y las parcelas se arreglaron en un diseño en bloques completamente aleatorizado con tres repeticiones.

Tal como se mencionó en el párrafo anterior, mediante aplicación de fungicidas se pudieron controlar la mayoría de las enfermedades, salvo la fusariosis de la espiga. Durante el año 2012, cuando se realizó el experimento de esta tesis, hubo condiciones predisponentes y el cultivo de trigo se vio altamente afectado por dicha enfermedad. En la Fig. 2 se puede observar que tanto la temperatura mínima como la máxima mensual del año 2012 fueron levemente superiores a la media histórica de Pergamino durante el ciclo del cultivo. Durante junio y julio, hubo escasa precipitación permitiendo la siembra del cultivo sin grandes inconvenientes, mientras que en agosto y octubre llovió 7 y 3 veces más que la media histórica (Fig. 3a). Las precipitaciones de octubre, coincidentes con la antesis del cultivo, estuvo acompañada con valores de humedad relativa superiores a 80% la mayor parte del mes (Fig. 3b), facilitando la infección de las espigas con Fusarium, a pesar de las aplicaciones de fungicidas. Por esta razón los datos de rendimiento, NG y

PG, si bien se tomaron y se muestran en esta tesis no permiten cubrir el objetivo 3 y la hipótesis 3, que se han dejado marcado en gris en la presente tesis.

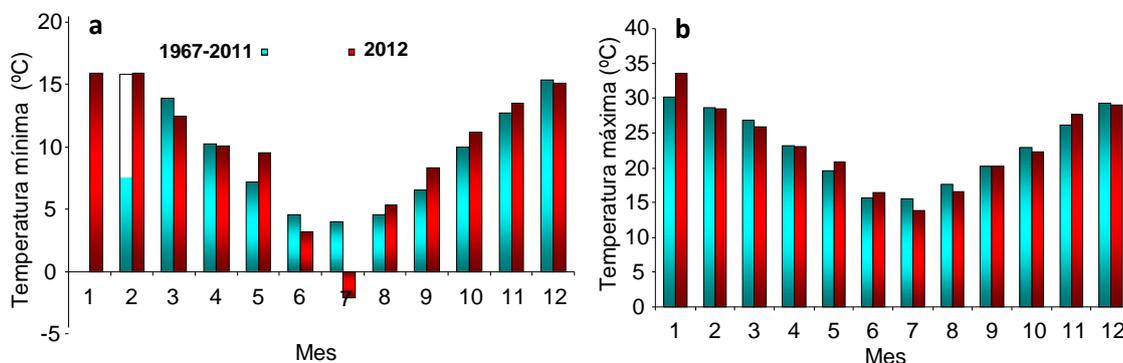


Figura 2. Temperaturas. a) Temperatura mínima y b) Temperatura máxima del año 2012 vs. la media histórica.

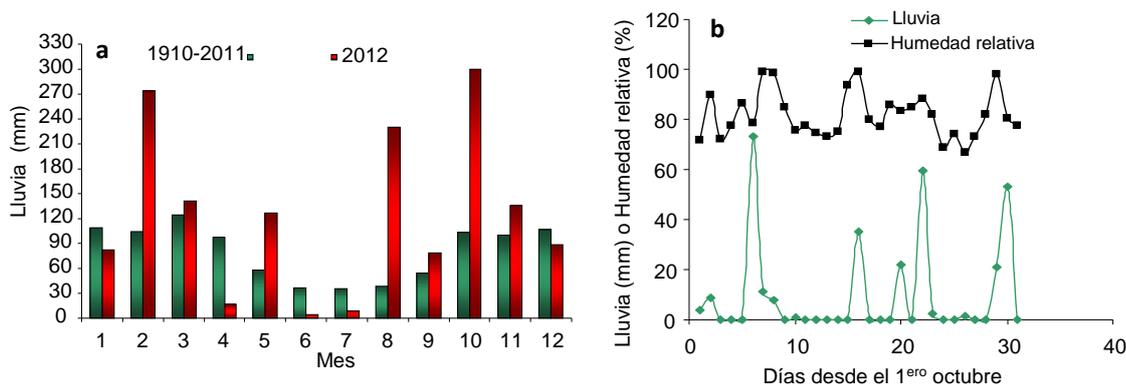


Figura 3. Lluvias y humedad relativa. a) Lluvias durante el 2012 vs. la media histórica y b) Lluvias durante el mes de octubre y humedad relativa del año 2012.

4.3. Mediciones y variables de respuesta

4.3.1 Fenología

Para todos los cultivares, y en cada parcela, se determinó y registró la fenología externa del cultivo de acuerdo a la escala de Zadoks et al. (1974): Z3.1, un nudo detectable y Z6.1, inicio de antesis. La determinación de Z3.1 se realizó sobre la

observación de 20 plantas representativas de las parcelas, mientras que Z6.1 se consideró alcanzado cuando el 50% de las plantas de la parcela se encontraban en dicho estado. El PCE se estimó como la duración entre un nudo detectable y antesis. El tiempo térmico se calculó utilizando los datos de una estación ubicada a 500 m del ensayo, considerando una temperatura base=0 °C.

4.3.2. Biomasa en antesis y número de flores fértiles

En antesis se cortaron 0,6 m lineal de un surco central de cada parcela para obtener la biomasa de espigas producida a antesis (PSE). El muestreo se separó en espigas y resto de biomasa, pesando todo ello luego de secarse en estufa a 70 °C hasta constancia de peso. La tasa de crecimiento de la espiga (TCE) se estimó como el cociente entre el PSE en antesis y la duración del PCE. El número de flores fértiles se contó de acuerdo a la escala de Waddington et al. (1983) en 4 plantas tomadas al azar del muestreo anterior.

4.3.3. Biomasa a cosecha y rendimiento

A cosecha se realizó otro muestreo de 0,6 m de un surco central para estimar el rendimiento y sus componentes numéricos. El muestreo se procesó de forma similar al de antesis, separándose en espigas y resto de biomasa, y pesando todo ello luego de secarse en estufa a 70 °C. Una vez pesadas las espigas de vástago principal y macollos, se trillaron con una máquina de espiga individual para obtener el rendimiento en grano. Tres muestras de 100 granos c/u fueron pesadas para estimar el PG y el NG. El CFE se calculó como la relación entre el NG y el peso seco de las espigas en antesis.

4.4. Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando ANVA y las medias se compararon por DMS (Fischer 0,05). Las relaciones entre variables se establecieron por medio de regresiones lineales. En todos los casos se utilizó el software Infostat/P (Di Renzo et al. 2010).

5. Resultados y Discusión

5.1. Duración del ciclo a antesis y PCE

El tiempo hasta antesis varió entre 1.000 y 1.400 °Cd considerando todos los cultivares (Fig. 4). Dentro de cada ciclo (CC, CL), los cultivares mostraron diferencias significativas ($p < 0.0001$). Mientras que los CC comprendieron tiempos térmicos que rondaron entre 967 °Cd (Klein Roble) y 1.100 °Cd (Klein León), los CL tuvieron tiempos térmicos que variaron entre 1.236 °Cd (BioINTA 3007) y 1.401 °Cd (B16208). Estos rangos de tiempos a antesis explorados coinciden con los reportados por González et al. (2011) para la misma localidad y similares fechas de siembra.

Los cultivares también difirieron ($p < 0.001$) en la duración E-1N y 1N-AT (o PCE) (Fig. 4). Para la primera sub-etapa los CC oscilaron entre 472 °Cd (Klein Roble) y 571 °Cd (Klein León) mientras que los CL variaron entre 644 °Cd (BioINTA 30007) y 805 °Cd (P5156) (Fig. 4a). En relación al PCE los CC presentaron valores entre 462 °Cd (J11023) y 529 °Cd (Klein León), mientras que los CL oscilaron entre 492 °Cd (ADM Lenox) y 667 °Cd (B16208) (Fig. 4b).

Las variaciones en el ciclo a antesis fueron explicadas por la duración de la etapa Emergencia – 1 Nudo ($R^2 = 91\%$ $p < 0,0001$, considerando todos los cultivares), y también por la duración del PCE (o 1nudo-Antesis) ($R^2 = 47\%$ $p < 0,005$, considerando todos los cultivares). A pesar de dichas relaciones positivas, se pudo observar diferencias en la duración de Emergencia-1 Nudo y PCE para igual ciclo a antesis (ver número 1 y 2 en Fig. 4a y b). Estos resultados coinciden con los encontrados por Whitechurch et al. (2007)

y Gonzalez et al. (2011) contrastando con otros trabajos (Abbate et al. 1998, Fischer 2001) que no encontraron variabilidad en la duración de la etapa de PCE (1N-AT), y menos aún asociada ésta a similar fecha de antesis.

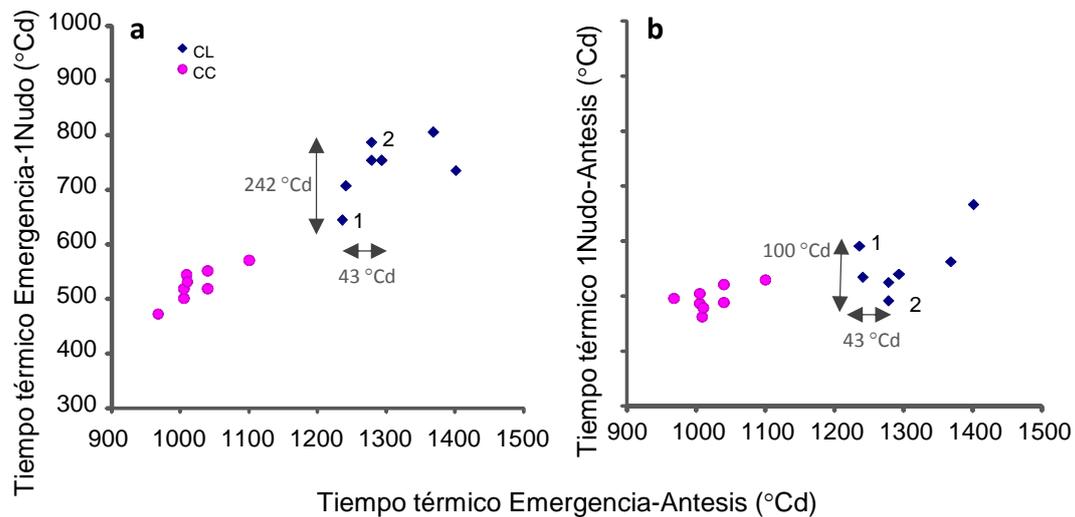


Figura 4. Duración de etapas del ciclo a antesis. a) Variación en el tiempo térmico transcurrido desde Emergencia hasta 1 Nudo detectable (E-1N) vs. tiempo térmico desde Emergencia hasta Antesis (E-AT). **b)** Variación en el tiempo térmico desde 1 Nudo detectable hasta Antesis (1N-AT, o PCE) vs. tiempo desde Emergencia hasta Antesis. Los números 1 (ADM Lenox) y 2 (BioINTA 3007 BB) identifican cultivares con similar duración a antesis pero diferente duración interna de las fases.

5.2. Biomasa a antesis y peso seco de la espiga

El peso seco de las espigas en antesis no difirió entre cultivares dentro del mismo ciclo ($p=0,2035$ para CC y $p=0,5691$ para CL) (Fig. 5), aunque sí hubo diferencias marcadas entre los ciclos. Mientras que en los cultivares de CC el PSE osciló entre los 90 y 160 gm^{-2} , los cultivares de CL lograron mayores pesos, obteniendo rangos entre 150 y 210 gm^{-2} . Es decir, la máxima acumulación de biomasa en los cultivares de ciclo corto fue cercana al mínimo peso de los cultivares de ciclo largo. Los cultivares de ciclo largo

testeados previamente por Gonzalez et al. (2011), tendieron también a presentar mayor PSE en antesis, aunque las diferencias con los ciclos cortos fueron menores.

En general, los cultivares de CC presentaron menores pesos de espiga debido a menor PCE y menor TCE que los cultivares de CL, aunque hubo cierto grado de solapamiento. No hubo una relación directa entre el PSE antesis y la duración del PCE (Fig. 5), y para similares valores de PCE se observaron grandes diferencias en PSE debido a diferente tasa de crecimiento de la espiga (TCE). Similares resultados fueron observados por Gonzalez et al. (2011). Sin embargo, para el mismo valor de TCE, a medida que aumentó la duración del PCE tendió a incrementarse el PSE (ver cultivares 1 y 2 en Figura 5, que presentaron similar tiempo antesis pero diferente partición interna de etapas del ciclo).

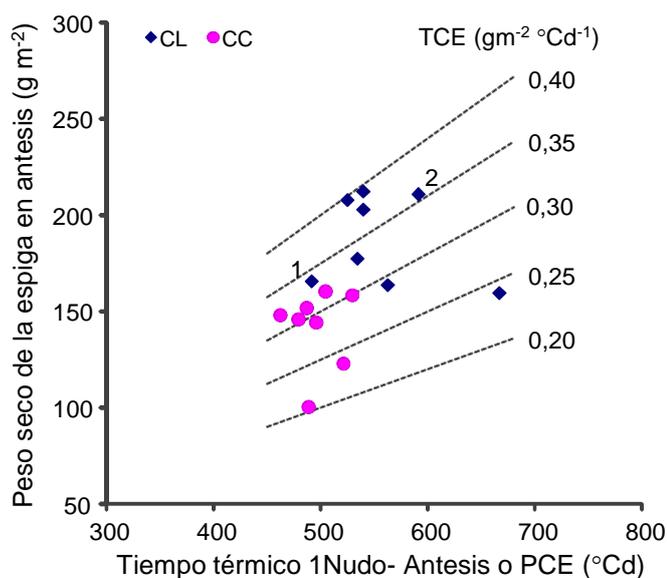


Figura 5. Peso seco de espiga en antesis y su relación con el PCE y TCE. Relación entre el PSE antesis y el tiempo térmico entre 1Nudo-Antesis (o PCE). Las líneas punteadas representan isolíneas de TCE.

5.3. Flores fértiles en antesis

Los cultivares de CC produjeron entre 18 y 25 mil flores fértiles m^{-2} , sin diferencias significativas entre cultivares ($p=0,6298$), mientras que los de CL difirieron significativamente entre ellos, rondando en su mayoría entre 22 mil y 28 mil, con la salvedad de la línea del INTA T203 que alcanzó valores cercanos a las 38 mil flores fértiles m^{-2} (Fig. 6). No hubo relación directa entre el número de flores fértiles m^{-2} y el PSE en antesis dentro de cada ciclo, donde la variación en coeficiente de fertilidad de la espiga en antesis (CFEa, n° flores fértiles g^{-1} espiga) fue mayor que la variación en PSE. Sin embargo, considerando ambos ciclos en conjunto, el PSE explicó el 52% de las variaciones observadas en el número de flores fértiles m^{-2} ($p<0,01$), mientras que el CFEa no presentó relación estadísticamente significativa ($p=0,1856$).

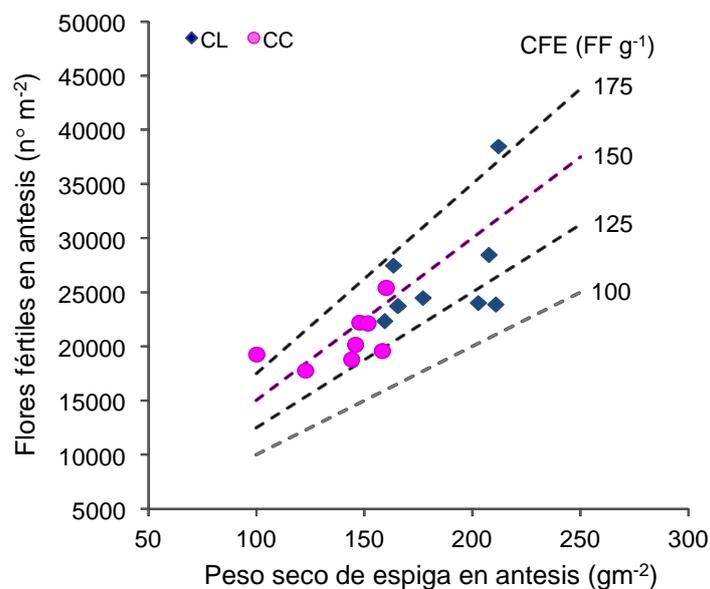


Figura 6. Flores fértiles en antesis. Relación entre el número de flores fértiles y el peso seco de las espigas en antesis. Las líneas punteadas indican iso-líneas de CFE en antesis, calculado como la relación entre el número de flores fértiles y el PSE.

5.4. Relación entre Flores fértiles en antesis y Número de granos a cosecha

La relación entre el número de flores fértiles en antesis y granos a cosecha permite estimar el aborto o cuaje de granos. En el presente trabajo, el aborto osciló entre 28 y

66%, valores muy superiores a los reportados en trabajos previos (Siddique et al. 1989a, González et al. 2003, 2005), debido al impacto de la fusariosis de la espiga. Así, el número de granos no mostró relación con el número de flores fértiles en antesis, salvo en la línea T203, donde producir mayor número de flores se trasladó a mejoras en el número de granos (Fig. 7). De hecho, el aborto explicó el 57% de las variaciones en el número de granos considerando todos los cultivares (excepto T203).

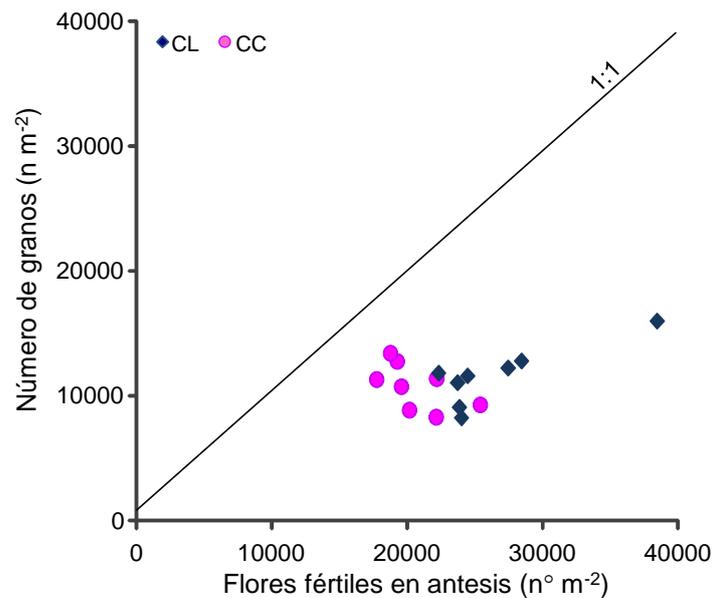


Figura 7. Aborto. Relación entre el número de granos y número de flores fértiles en antesis.

5.4 Rendimiento y componentes (NG y PG) y su relación con el CFE.

El número de granos m⁻² difirió dentro de los cultivares de CC y dentro de los cultivares de CL ($p < 0,05$ para ambos ciclos), oscilando entre 8 mil y 13 mil en los primeros, y entre 8 mil y 16 mil en los segundos (Fig. 8a). Estas diferencias entre cultivares no estuvieron asociadas a la fecha de antesis (i.e. a posible escape a condiciones predisponentes para fusariosis), sino a características propias de los materiales (Tabla 2). A pesar del impacto de la fusariosis, el CFE explicó el 35% de las diferencias en número de granos, considerando todos los cultivares ($p < 0.05$). El peso de

los granos difirió significativamente entre los cultivares de CC ($p < 0.0001$), variando entre 25 y 39 mg. En los CL también hubo diferencias estadísticas ($p < 0.05$), oscilando entre 27 y 37 mg (Fig. 8b). Estos valores de peso son casi normales y no reflejaran el potencial impacto de la fusariosis de la espiga debido a que los granos chuzos seguramente se volaron al realizar el venteo de las muestras.

Tabla 2. Número de granos y fecha de antesis de los cultivares.

CULTIVAR	NG (n m ⁻²)	Fecha Antesis
BIOINTA 3007 BB	9089	14-oct
KLEIN ROBLE	13406	14-oct
BUCK SY 110	11611	14-oct
P5757	8297	16-oct
T226	9295	16-oct
P5794	8856	17-oct
ADM LENOX	11072	17-oct
J11023	11397	17-oct
ACA CIPRES	12805	17-oct
BIOINTA 3005	8236	18-oct
T203	15989	18-oct
ADM AREX	11333	19-oct
BUCK SY 300	12760	19-oct
KLEIN LEÓN	10746	23-oct
P5156	12230	23-oct
B16208	11830	25-oct

El rendimiento difirió estadísticamente sólo entre los cultivares de CC ($p < 0.01$) oscilando entre 186 y 483 gm⁻². Los CL mostraron rendimientos entre 289 y 441 gm⁻². De acuerdo a lo esperado, el número de granos m⁻² explicó el 58% de las variaciones observadas en el rendimiento ($p < 0,0005$, Fig. 8a) mientras que las variaciones en peso explicaron una menor proporción (16%, ver Fig. 8b).

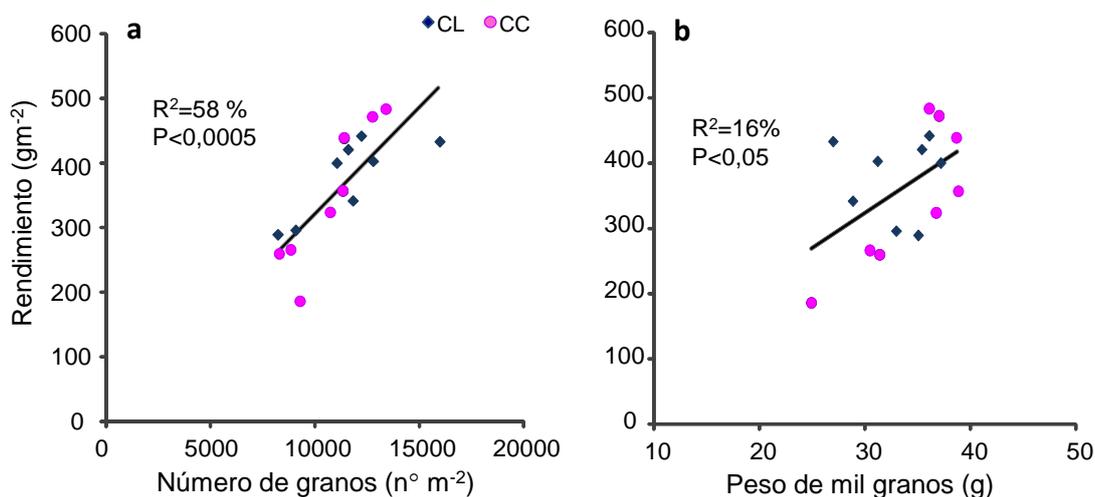


Figura 8. Rendimiento y componentes numéricos. Relación entre el rendimiento y a) el número de granos y b) el peso de los granos.

Conclusiones

Se pudo observar variabilidad en las etapas que componen el tiempo a antesis (Emergencia-1Nudo y 1 Nudo-Antesis o PCE), para ambos ciclos, cortos y largos. A su vez, un mismo tiempo a antesis presentó en algunos casos duraciones diferentes de las etapas que lo componen, observado así variación en el PCE para una misma fecha de antesis.

Las variaciones en el peso seco de la espiga en antesis (PSE) estuvieron determinadas por diferencias en la TCE y en el PCE, considerando todos los cultivares. Para una misma TCE, cuanto a mayor fue la duración del PCE mayor tendió a ser el PSE en antesis.

Las variaciones en el PSE explicaron principalmente las diferencias en el Número de flores fértiles entre ciclos, mientras que las variaciones en el CFEa explicaron principalmente las diferencias dentro del mismo ciclo a antesis.

Los resultados del presente trabajo reforzarían la idea que tanto el PCE como el CFE serían características promisorias para mejorar el rendimiento potencial en trigo en el norte de Buenos Aires puesto que en los cultivares modernos se dispone de variabilidad asociada a la generación de rendimiento en el ambiente objetivo de mejora. Sin embargo,

más años experimentales debieran ser explorados y marcadores de simple selección debieran ser desarrollados para facilitar el uso de estos conocimientos dentro de los programas de mejoramiento.

6. Bibliografía

- Abbate PE, Andrade FH, Culot JP, Bindraban PS, 1997. Grain yield in wheat: effects of radiation during spike growth period. *Field Crops Res.* 54, 245-257.
- Abbate PE, Andrade FH, Lázaro L, Bariffi JH, Berardocco HG, Inza VH, Marturano F, 1998. Grain yield increase in recent argentine wheat cultivars. *Crop Sci.* 38, 1203-1209.
- Austin RB, Bingham J, Blackwell RD, Evans LT, Ford MA, Morgana CL, Taylor M., 1980. Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci.* 94, 675-689.
- Demotes-Mainard S, Jeuffroy ME, Robin S, 1999. Spike dry matter and nitrogen accumulation before anthesis in wheat as affected by nitrogen fertilizer: relationship to kernels per spike. *Field Crops Res.* 64, 249-259.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW, 2010. Infostat/P. Grupo Infostat, FCA, Univ. Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- FAO 2016. www.fao.org/faostat/en/#home.
- Fischer RA, 1975. Yield potential in a dwarf spring wheat and the effect of shading. *Crop Sci.* 5, 607-614.
- Fischer RA, 1984. Wheat. En: Smith WH, J, BS (Eds.), *Symposium on potential productivity of field crops under different environments* IRRI, Los Baños, Philippines, pp. 129-154.
- Fischer RA, 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* 100, 447-461.
- Fischer RA, 2001. Selection traits for improving yield potential. En: MP Reynolds, JI Ortiz-Monasterio & A McNab (eds.). *Application of physiology in wheat breeding*, CIMMYT, Mexico, DF, pp.148-159.

- Fischer RA, Stockman YM, 1980. Kernel number per spike in wheat: responses to pre-anthesis shading. *Aust. J. Plant Physiol.* 7,169-180.
- Foulkes MJ, Slafer GA, Davies WJ, Berry PM, Sylvester-Bradley R, Martre P, Calderini DF, Griffiths S, Reynolds MP, 2011. Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. *J. Exp. Bot.* 62, 469-486.
- González FG, Slafer GA, Miralles DJ. 2003. Grain and floret number in response to photoperiod during stem elongation in fully and slightly vernalized wheats. *Field Crops Res.* 81, 17–27.
- González FG, Slafer GA, Miralles DJ. 2005. Photoperiod during stem elongation in wheat: is its impact on fertile floret and grain number determination similar to that of radiation? *Funct. Plant Biol.* 32, 181–188
- González FG, Terrile II, Falcón MO, 2011. Spike fertility and duration of stem elongation as promising traits to improve potential grain number (and yield): variation in modern Argentinean wheats. *Crop Sci.*, 51, 1693-1702.
- Hall, A.J., Richards, A.R., 2013. Prognosis for genetic improvement of yield potential and water-limited yield of major grain crops. *Field Crops Res.* 143, 18-33.
- Kirby EJM, 1988. Analysis of leaf, stem and ear growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. *Field Crops Res.* 18, 127-140.
- Langer RHM, Hanif M, 1973. A study of floret development in wheat (*Triticum aestivum* L.) *Ann. Bot.* 37, 743-751.
- Magrin GO, Hall AJ, Bldy C, Grondona MO, 1993. Spatial and inter-annual variations in the photothermal quotient: implications for the potential kernel number of wheat crops in Argentina. *Agric. and Forest Met.* 67, 29-41.
- Reynolds MP, vanBeem J, vanGinkel M, Hoisington D, 1996. Breaking the yield barriers in wheat: a brief summary of the outcomes of an international consultation. En: "Increasing yield potential in wheat: breaking the barriers" (Eds Reynolds MP, Rajaram S, McNab A) pp 1-10. (CIMMYT, Mexico DF)

- Savin R, Slafer GA, 1991. Shading effects on the yield of an Argentinean wheat cultivar. *J. Agric. Sci.* 116, 1-7.
- Sibony M, Pinthus MJ, 1988. Floret initiation and development in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Ann. Bot.* 62, 473-479.
- Siddique KHM, Kirby EJM, Perry MW, 1989a. Ear: stem ratio in old and modern wheat varieties; relationship with improvement in number of grains per ear and yield. *Field Crops Res.* 21, 59-78.
- Siddique KHM, Belford RK, Perry MW, Tennant D, 1989b. Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Aust. J. Agric. Res.* 40, 473-487.
- Slafer GA, Andrade FH, 1989. Genetic improvement in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) yield in Argentina. *Field Crops Res.* 21, 351-367.
- Slafer GA, Andrade FH, Satorre EH, 1990. Genetic-improvement effects on pre-anthesis physiological attributes related to wheat grain yield. *Field Crop Res.* 23, 255-263.
- Slafer GA, Andrade FH, 1991. Changes in physiological attributes of the dry matter economy of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) through genetic improvement of grain yield potential at different regions of the world. A review. *Euphytica* 58, 37-49.
- Slafer GA, Andrade FH, 1993. Physiological attributes to the generation of grain yield in bread wheat cultivars released at different eras. *Field Crops Res.* 31, 351-367.
- Slafer GA, Rawson HM, 1994. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologists and modellers. *Australian Journal of Plant Physiology* 21, 393-426.
- Slafer GA, Satorre EH, Andrade FH, 1994. Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. En: "Genetic Improvement of Field Crops: Current status and development" (Ed Slafer GA) pp 1-68. (Marcel Dekker Inc. New York)
- Slafer GA, Calderini DF, Miralles DJ, 1996. Yield components and compensation in wheat: opportunities for further increasing yield potential. En: "Increasing yield potential in wheat:

breaking the barriers” (Eds Reynolds MP, Rajaram S, McNab A) pp 101-133. (CIMMYT, Mexico DF)

- Slafer GA, Abeledo LG, Miralles DJ, González FG, Whitechurch EM. 2001. Photoperiod sensitivity during stem elongation phase as an avenue to raise potential yield in wheat. *Euphytica* 119, 191-197.
- Slafer GA, Whitechurch EM, 2001. Manipulating wheat development to improve adaptation. En: Application of physiology in wheat breeding (Reynolds MP, Ortiz-Monasterio JI, McNab A, Eds). CIMMYT, Mexico.
- Stockman YM, Fischer RA, Brittain EG, 1983. Assimilate supply and floret development within the spike of wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 10, 585-594.
- Thorne GN, Wood DW, 1987. Effects of radiation and temperature on tiller survival, grain number and grain yield in winter wheat. *Ann. Bot.* 59, 413-426.
- Waddington SR, Cartwright PM, Wall PC, 1983. A quantitative scale of spike initial and pistil development in barley and wheat. *Ann. Bot.* 51:119-130.
- Whitechurch EM, Slafer GA, Miralles DJ, 2007. Variability in the duration of stem elongation in wheat and barley. *J. Agron. & Crop Sci.* 193(2), 138-145.
- Youssefian S, Kirby EJM, Gale MD, 1992. Pleiotropic effects of the G.A. insensitive Rht dwarfing gene in wheat. 2. Effects on leaf, stem, ear and floret growth. *Field Crops Res.* 28, 191-210.
- Zadoks JC, TT Chang, CF Konzak, 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415–421.