



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
MAESTRIA EN PRODUCCIÓN VEGETAL



Tesis presentada como requisito para optar al grado de Magíster

Validación del Cociente Fototermal como predictor del rendimiento potencial de diferentes genotipos de trigo en el Norte de la provincia de Santa Fe.

Tesista: Ing. Agr. Ana Maria Brach

Director de tesis: Dr. Octavio Caviglia
INTA Paraná

Agradecimientos

En lo Institucional quiero expresar mi agradecimiento al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) por brindarme la oportunidad de esta instancia de capacitación profesional.

Al Director de tesis Dr. Octavio Caviglia porque no fue mezquino al conjugar su profesionalismo, capacidad intelectual, paciencia y todas las demás cualidades que hacen de él un excelente Formador.

A la Dirección, a la Coordinadora y a los integrantes del Área de producción Agrícola, como así también al personal administrativo de la Estación Experimental Agropecuaria de INTA Reconquista. Todos ellos no hicieron más que facilitarme las cosas en el tiempo que dediqué en esta capacitación.

Finalmente y de modo muy especial a mis compañeros que trabajan como auxiliares en los cultivos de girasol, soja, algodón, trigo, sorgo; entomología y servicios generales, porque asumieron como propios los experimentos realizados a campo, estando siempre dispuesto a brindarme ayuda.

En lo personal, quiero agradecer infinitamente a mi familia. Nada de esto hubiera sido posible sin su amor, sus oraciones. Porque asumieron y llevaron adelante las tareas del hogar en mis ausencias, porque siempre me sentí acompañada, contenida.

A mis compañeros de maestría gracias por el respeto, la amistad, por estar siempre dispuestos a brindar ayuda. Gracias por la alegría, porque nunca faltó esa risa contagiante.

Índice General

	Página
Agradecimientos.....	I
Índice general.....	III
Índice de tablas.....	VIII
Índice de figuras.....	XI
Anexo.....	XIV
Resumen.....	XVIII
Abstract.....	XX
Capítulo I Introducción general.....	1
1.1 Importancia del trigo.....	2
1.1.2 Producción mundial de trigo.....	2
1.1.3 Regiones productoras de trigo en Argentina.....	3
1.1.4 Planteo del tema de investigación.....	3
1.1.4.1 Hipótesis.....	6
1.1.4.2 Objetivos.....	6
1.1.4.2.1 Objetivo general.....	6
1.1.4.2.2 Objetivos específicos.....	6
1.2 Estructura de la tesis.....	6
Capítulo II Rendimiento potencial y sus componentes numéricos.....	8
2.1 Introducción.....	10
2.1.1 Objetivos.....	12
2.2 Materiales y Métodos.....	12
2.2.1 Sitio experimental.....	12
2.2.2 Manejo de los experimentos.....	12
2.2.3 Diseño experimental. Aplicación de los tratamientos.....	13

	Página	
2.2.4	Mediciones realizadas a campo y en laboratorio.....	14
2.2.5	Análisis estadístico.....	15
2.3	Resultados.....	16
2.3.1	Condiciones ambientales durante el período de crecimiento de la espiga (PCE).....	16
2.3.2	Temperatura y radiación en los tratamientos con sombreado.....	18
2.3.3	Rendimiento y sus componentes numéricos.....	19
2.3.3.1	Rendimiento.....	21
2.3.3.2	Número de granos.....	23
2.3.3.3	Peso de granos.....	23
2.3.3.4	Número de espigas por unidad de superficie.....	24
2.3.3.5	Número de granos por espiga.....	24
2.4	Discusión.....	25
2.5	Conclusiones.....	27
Capítulo III Crecimiento del cultivo durante el período de crecimiento de la espiga y componentes ecofisiológicos.....		28
3.1	Introducción.....	30
3.1.1	Partición a espiga y fijación de granos.....	31
3.1.2	Objetivos.....	32
3.2	Materiales y Métodos.....	32
3.2.1	Determinación del periodo de crecimiento de la espiga.....	32
3.2.2	Biomasa acumulada.....	33
3.2.3	Tasa de crecimiento del cultivo. Tasa de crecimiento de la espiga.....	33
3.2.4	Eficiencia de uso de la radiación (EUR).....	33
3.2.5	Componentes florales de la espiga.....	33
3.2.6	Análisis estadístico.....	34
3.3	Resultados.....	35

	Página	
3.3.1	Duración período crecimiento espiga.....	35
3.3.2	Efecto de los tratamientos sobre la tasa de crecimiento del cultivo (TCC).....	35
3.3.3	Tasa de crecimiento del cultivo y su relación con sus componentes ecofisiológicos.....	36
3.3.3.1	Radiación fotosintéticamente activa interceptada.....	36
3.3.3.2	Eficiencia de uso de la radiación.....	37
3.3.4	Tasa de crecimiento de la espiga (TCE).....	38
3.3.5	Partición a espiga (TCE_TCC).....	39
3.3.6	Respuesta de los componentes florales a los diferentes niveles de radiación incidente durante el PCE.....	41
3.3.7	Componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo.....	46
3.3.8	Relación de los componentes florales por unidad de tasa de crecimiento.....	50
3.4	Discusión.....	53
3.5	Conclusiones.....	55
Capítulo IV Cociente fototermal Q y su relación con el número de granos.....		56
4.1	Introducción.....	58
4.1.1	Objetivos.....	59
4.2	Materiales y Métodos.....	59
4.2.1	Mediciones. Determinación del cociente fototermal.....	59
4.2.2	Funciones previamente obtenida en la relación entre Q y el número de granos.....	60
4.2.3	Análisis estadístico.....	60
4.3	Resultados.....	61
4.3.1	Cociente fototermal Q.....	61
4.3.2	Relación entre cociente fototermal y número de granos.....	61

	Página	
4.3.3	Efecto de los tratamientos sobre el número de granos logrados por unidad de cociente fototermal (NG_Q).....	63
4.3.4	Relación entre crecimiento, partición de asimilados a espiga, estructuras florales logradas por unidad de cociente fototermal (Q).....	64
4.3.4.1	Tasa de crecimiento del cultivo por unidad de cociente fototermal Q (TCC_Q).....	64
4.3.4.2	Partición de asimilados a espiga por unidad de cociente fototermal (TCE_TCC)_Q.....	66
4.3.4.3	Número de espiguillas fértiles por unidad de cociente fototermal (EspF_Q).....	67
4.3.4.4	Número de espiguillas infértiles por unidad de cociente fototermal Q (Nespl_Q).....	69
4.3.4.5	Número de flores fértiles por unidad de cociente fototermal Q (NFF_Q).....	70
4.3.5	Respuesta a la fecha de siembra en la relación del crecimiento, partición de asimilados a espiga y estructuras florales logrados por unidad de cociente fototermal.....	72
4.4	Discusión.....	74
4.5	Conclusiones.....	75
Capítulo V	Conclusiones.....	76
5.1	Conclusiones generales.....	77
5.2	Resolución de hipótesis.....	79
Anexo.....		80
Bibliografía.....		87

Índice de tablas

Tabla		Página
1	Temperatura media (Tmd) y temperatura máxima media (TMáx md) promedio en el período de crecimiento de la espiga de 6 genotipos de trigo ciclo corto.....	18
2	Radiación fotosintéticamente activa (PAR) promedio en el período de crecimiento de la espiga de 6 genotipos de trigo ciclo corto).....	19
3	Rendimiento y sus componentes numéricos en diferentes niveles de sombreado y genotipos en FS1, en los años 2008 – 2009.....	20
4	Rendimiento y sus componentes numéricos en diferentes niveles de sombreado y genotipos en FS 2, en los años 2008 – 2009	21
5	Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado.	36
6	Eficiencia de uso de la radiación (EUR) de 6 genotipos de trigo ciclo, expuestos a tres niveles de sombreado durante el período de crecimiento de la espiga.....	38
7	Tasa de crecimiento del cultivo de la espiga (TCE) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado.....	39
8	Partición a espiga (TCE_TCC) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado.....	41
9	Componentes florales en 6 genotipos de trigo de ciclo corto, en tres niveles de sombreado. FS 1 2008.....	42
10	Componentes florales en 6 genotipos de trigo de ciclo corto, en tres niveles de sombreado. FS 1 2009	43
11	Componentes florales en 6 genotipos de trigo de ciclo corto, en tres niveles de sombreado. FS 2 2008.....	44
12	Componentes florales en 6 genotipos de trigo de ciclo corto, en tres niveles de sombreado. FS 2 2009	45
13	Componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, en 6 genotipos de trigo ciclo corto, en tres niveles de sombreado. FS 1 2008.....	47
14	Componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, en 6 genotipos de trigo ciclo corto, en tres niveles de sombreado. FS 1 2009	48
15	Componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, en 6 genotipos de trigo ciclo corto, en tres niveles de sombreado. FS 2 2008.....	49

Tabla		Página
16	Componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, en 6 genotipos de trigo ciclo corto, en tres niveles de sombreado. FS 2009.....	50
17	Valor de los parámetros obtenidos en el modelo bilineal aplicado para describir la relación entre los componentes florales logrados por unidad de tasa de crecimiento del cultivo.....	51
18	Cociente fototermal Q promedio en tres niveles de sombreado.....	61
19	Número de granos por unidad de cociente fototermal Q (NG_Q) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado.....	63
20	Tasa de crecimiento del cultivo por unidad de cociente fototermal Q (TCC_Q) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado.....	65
21	Partición a espiga por unidad de cociente fototermal Q (TCE_TCC)_Q de 6 genotipos de trigo ciclo corto	66
22	Número de espiguillas fértiles por unidad de cociente fototermal Q (NespF_Q) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado.....	68
23	Número de espiguillas infértiles por unidad de cociente fototermal Q (NespI_Q) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado.	69
24	Número de flores fértiles por unidad de cociente fototermal Q (NFF_Q) de genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado	71

Índice de figuras

	Página
Figura	
1	Temperatura media (Tmd) y máxima media (TMáx md) en la campaña 2008..... 16
2	Temperatura media (Tmd) y máxima media (TMáx md) en la campaña 2009..... 17
3	Radiación global incidente en el período de cultivo de trigo en el Norte de Santa Fe..... 17
4	Rendimiento potencial de 6 genotipos de trigo ciclo corto, en tratamiento control..... 22
5	Rendimiento de 6 genotipos de trigo ciclo corto, en 3 niveles de sombreo 22
6	Relación entre número de granos logrados por unidad de superficie (NG m ⁻²) y el rendimiento..... 23
7	Duración promedio, en días a espiguilla terminal (ET), antesis (Ant), madurez fisiológica (MF) y período crecimiento de la espiga (PCE..... 35
8	Relación entre la TCC y la PAR acumulada 37
9	Relación entre biomasa acumulada y la radiación fotosintéticamente activa acumulada..... 37
10	Relación entre la tasa de crecimiento de la espiga (TCE) y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC)..... 40
11	Mapeo de espigas en los diferentes niveles de radiación incidente durante el período de crecimiento de la espiga..... 46
12	Relación entre el número de espiguillas fértiles por unidad de tasa de crecimiento (EspF_TCC) y la tasa de crecimiento del cultivo 51
13	Relación entre el número de espiguillas infértiles por unidad de tasa de crecimiento (EspI_TCC) y la tasa de crecimiento del cultivo.... 52
14	Relación entre el número de flores fértiles por unidad de tasa de crecimiento (NFF_TCC) y la tasa de crecimiento del cultivo..... 52
15	Número de grano (NG) en función de cociente fototermal Q..... 62
16	Relación entre el número de granos (NG) y el cociente fototermal Q obtenidas por Fischer (1985); Abbate <i>et al.</i> , (1994) , Brach (2011) 62
17	Número de granos logrados por unidad de cociente fototermal (NG_Q). 64

		Página
Figura		
18	Tasa de crecimiento del cultivo por unidad de cociente fototermal Q (TCC_Q).....	65
19	Partición a espiga por unidad de cociente fototermal Q (TCE_TCC)_Q.....	67
20	Número de espiguillas fértiles por unidad de cociente fototermal Q (NespF_Q).....	68
21	Número de espiguillas infértiles por unidad de cociente fototermal Q (Nespl_Q).	70
22	Número de flores fértiles por unidad de cociente fototermal Q (NFF_Q).....	71
23	Relación entre número de grano por unidad de Q (NG_Q), tasa de crecimiento del cultivo por unidad de Q (TCC_Q), partición a espiga por unidad de Q (TCE_TCC)_Q, número de espiguillas fértiles por unidad de Q (EspF_Q), número de espiguillas infértiles por unidad de Q (EspI_Q) y número de flores fértiles por unidad de Q (NFF_Q).....	73

Anexo

Foto		Página
1	Imagen satelital del sitio del experimento.....	81
2	Sistema de riego por goteo.	81
3	Mallas de polietileno de para evitar vuelco del cultivo.....	82
4	Malla de polietileno con tramas de 2 cm x 2 cm colocadas sobre los experimentos.....	82
5	Vista general del experimento, tomada durante PCE.....	83
6 a	Tratamiento control.	83
6 b	Tratamiento de sombreo S 40.	84
6 c	Tratamiento de sombreo S 80.	84
7	Estado de espiguilla terminal.....	85
8	Estado de flor fértil.....	85
9	Pérdida de espigas en tallos en los tratamientos con sombreo.....	86

Abreviaturas

BIO.1001	BIOINTA 1001
BP13	Baguette Premium 13
EspF	Espiguillas fértiles
EspF_Q	Espiguillas fértiles por unidad de cociente fototermal Q
EspF_TCC	Espiguillas fértiles por unidad de tasa crecimiento del cultivo
EspI	Espiguillas infértiles
EspI_Q	Espiguillas infértiles por unidad de cociente fototermal Q
EspI_TCC	Espiguillas infértiles por unidad de tasa crecimiento del cultivo
EspT	Espiguillas totales
ET	Espiguilla terminal
EUR	Eficiencia de uso de la radiación
FS	Fecha de siembra
FS 1	Fecha de siembra óptima
FS 2	Fecha de siembra tardía
IAF	Índice área foliar
IAF _c	Índice área foliar crítico
ICóndor	INIA Córdor
K.Tauro	Klein Tauro
Kg ha ⁻¹	Kilogramo hectárea
Nesp m ⁻²	Número espigas metro cuadrado
NFF	Número flores fértiles
NFF_Q	Número flores fértiles por unidad de cociente fototermal
NFF_TCC	Número flores fértiles por unidad de tasa de crecimiento del cultivo
NG	Número de grano
NG_Q	Número de grano por unidad de cociente fototermal
NGesp ⁻¹	Número de grano por espiga

PAR	Radiación fotosintéticamente activa
PCE	Período crecimiento de la espiga
PG	Peso grano
Q	Cociente fototermal
Rb	Radiación medida bajo última hoja verde del vegetal
Rdto	Rendimiento
RG	Radiación Global
Rs	Radiación medida sobre el vegetal
S	Sombreo
S 40	Sombreo con 40% de intercepción de la radiación
S 80	Sombreo con 80 % de la intercepción de la radiación
T Máx md	Temperatura máxima media
TCC	Tasa de crecimiento del cultivo
TCC_Q	Tasa de crecimiento del cultivo por unid de cociente fototermal
TCE	Tasa de crecimiento de la espiga
TCE_TCC	Partición de asimilados a la espiga
T md	Temperatura media
(TCE_TCC)_Q	Partición de asimilados a la espiga por unidad de cociente fototermal
°C d	Grados días

Resumen

Las variaciones en el número de granos por unidad de superficie (NG) de trigo, principal componente del rendimiento, han sido interpretadas como una función directa de la radiación incidente fotosintéticamente activa e inversa de la temperatura durante el período de crecimiento de la espiga, i.e. unos 20 días previos hasta 7 días posteriores a la antesis. El cociente entre radiación y temperatura se denomina cociente fototermal (Q), el cual ha demostrado ser un buen predictor del NG potencial en trigo. Las funciones disponibles con las cuales se estima el NG como función del Q, han sido obtenidas utilizando genotipos liberados en décadas pasadas, en condiciones ambientales diferentes a las que se presentan en el Norte de Santa Fe. El objetivo de este trabajo fue validar el Q como estimador del rendimiento potencial de trigo y determinar si los genotipos actuales difieren en su capacidad de fijar granos en el Norte de Santa Fe. Los experimentos fueron realizados durante dos años (2008 - 2009), en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Reconquista (Lat. 29°11'S y 59° 52'O), Santa Fe, Argentina. Los experimentos fueron diseñados para obtener un amplio rango de condiciones ambientales durante el período de crecimiento de la espiga. El cultivo de trigo fue expuesto durante el período de crecimiento de la espiga a variaciones la temperatura y radiación incidente, i.e. atrasando la fecha de siembra y modificando la radiación incidente mediante la aplicación de sombreos artificiales. Tres tratamientos de sombreo (control, 40 y 80 % de intercepción de la radiación solar), dos fechas de siembra (óptima y tardía), fueron impuestos sobre 6 genotipos de trigo ciclo corto (ACA 901, Baguette Premium 13, BIOINTA 1001, Cronox, INIA Cóndor y Klein Tauro). Los experimentos fueron conducidos bajo condiciones potenciales, i.e. sin restricción de agua, nutrientes y con un estricto control de vuelco y adversidades bióticas. La relación entre NG y Q fue significativa en todos los genotipos evaluados ($p \leq 0,01$) y la ordenada al origen no difirió de cero ($p > 0,05$). Los 6 genotipos no difirieron en el valor de la pendiente (21.162-25.546 granos por unidad de Q). Al analizar la relación entre los componentes florales logrados por unidad de tasa de crecimiento del cultivo se comprobó que el efecto del sombreo fue altamente significativo ($p \leq 0,0001$), i.e. a menor tasa de crecimiento del cultivo se logró mayor cantidad de componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo. Asimismo, el efecto del sombreo fue altamente significativo ($p \leq 0,0001$) en la relación entre la tasa de crecimiento del cultivo, partición de asimilados a espiga y los componentes florales logrados por unidad de Q, registrándose incrementos en las variables analizadas por unidad de Q, al incrementarse el nivel de sombreo. Este comportamiento de las variables analizadas por unidad de tasa de crecimiento o Q, podría ser interpretada como una estrategia compensatoria, indicando algún mecanismo involucrado en la plasticidad que el cultivo de trigo presenta ante condiciones ambientales limitantes.

Abstract

Grain number per unit area (GN) in wheat is strongly related to the photothermal quotient (Q), i.e. the ratio between photosynthetically active radiation (PAR) and mean temperature, during spike growth period, i.e. the period that extends between 20 days before and 7 days after anthesis. However available functions to predict the GN as function of Q have been obtained from genotypes released many years ago and in environments quite different of the North Santa Fe province. The objective of this work were to validate Q as a predictor of potential GN and to evaluate the ability of different genotypes to set GN in an environment with higher temperatures than those in which most of the studies on GN determination were performed. Experiments were carried-out at an experimental station, located in Reconquista (Lat. 29°11'S y 59° 52'O), Santa Fe, Argentina. Treatments were a combination of sowing dates (early and late), artificial shading (control, 40 y 80 % of PAR interception) and genotypes (ACA 901, Baguette Premium 13, BIOINTA 1001, Cronox, INIA Cóndor y Klein Tauro) laid-out in a split-split-plot design. The experiment managemet was conducive to reach the potential yield, i.e. no restrictions of water, nutrients and a strict disease and lodging monitoring and control. Relationships of GN as a function of Q were strong ($p \leq 0.01$) in the 6 genotypes. The intercept of these relations was not significantly different from 0 ($p > 0.05$) and genotypes did not differ in the slope (21.162-25.546 grains per Q unit). Reductions in crop growth rate (CGR) during spike growth period trough shading increase the amount of floral structures in the spike per unit of CGR. A similar result was found, under severe shading, in assimilate partitioning to the spike and the amount of floral structures in the spike per unit of Q. Results highlighted the role of several mechanism of compensation when restrictions for growth are severe.

Capítulo I

Introducción general

1.1 Importancia del cultivo de trigo

El trigo (*Triticum aestivum* L.) ha formado parte del desarrollo económico y cultural del hombre, siendo uno de los cereales más cultivados, después del maíz y arroz.

Desde el punto de vista del consumo, el trigo constituye uno de los componentes más importantes y estables de la dieta humana, debido a su gran valor nutritivo, dado por un alto contenido de hidratos de carbono (65-70%) y proteínas (12-13%).

En Argentina, el consumo *per cápita* es de aproximadamente 75 kg año⁻¹. Alrededor del 75% del trigo se consume de manera directa, esto es, a través de productos finales como pan, harina, pastas alimenticias; el 15% de forma indirecta a través de productos animales y el resto se emplea como semilla (Alimentos Argentinos, 2010).

Asimismo, la inclusión de este cereal de invierno en la rotación agrícola es una buena opción porque contribuye a la diversificación de cultivos y a la sustentabilidad de los sistemas de producción. En efecto, el trigo aporta residuos que poseen una durabilidad importante debida principalmente a la alta relación carbono/nitrógeno, lo que permite mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo (Caviglia y Andrade, 2010).

En el Norte de Santa Fe, la agricultura se realiza bajo condiciones de altas temperaturas. El manejo inadecuado (fertilización deficientes) de los cultivos que se realizan (algodón, soja, girasol), aportan poco volumen de rastrojo. Esta situación ha llevado a los suelos a un grado de deterioro severo, agravado por las limitaciones originales de los mismos. (Vivas *et al.*, 1992).

Similar problemática fue citada por (Vidal, 2006), quien remarcó la necesidad de incorporar en la rotación de cultivos como trigo, maíz, sorgo, y así contribuir al aporte de materia orgánica más estable.

1.1.2 Producción mundial de trigo

El trigo es cultivado en todo el mundo, especialmente en las zonas templadas del hemisferio norte. Por su volumen de producción ocupa el tercer lugar en el mundo, después del maíz y arroz. Pero a diferencia de los principales productores de arroz y maíz, los de trigo se encuentran distribuidos más uniformemente en el mundo.

China produce aproximadamente el 15% de la totalidad de la producción mundial. Australia, Rusia y los países de Europa como Francia y Alemania, son también importantes en cuanto a la producción de trigo. En América, Canadá se suma a Estados Unidos y ambos se convierten en los principales productores del continente, alcanzando el 13 % de la producción mundial. Argentina, en el extremo Sur del continente es el productor más importante de trigo de Sudamérica.

Los países productores que se destacan por el volumen de exportación al mundo son principalmente los países de América del Norte, responsables del 44 % del total de exportaciones mundiales. Rusia abastece a la población mundial con el 11% del total de exportaciones; igual porcentaje lo realizan los países de la Unión Europea.

Argentina es un importante exportador de trigo, ya que si bien representa sólo el 2% del total de la producción mundial, es el responsable del 6 % de las exportaciones en el mundo.

La producción mundial de trigo fue de 648 millones de toneladas en la campaña 2010/2011, con un rendimiento promedio de 3,8 t ha⁻¹. (Antuña, 2011; FAOSTAT, 2011).

En Argentina, en la campaña 2010/2011 se sembraron 4,6 millones de hectáreas, con un rendimiento promedio de 3,4 t ha⁻¹, alcanzando la producción nacional 15,7 millones de toneladas (Bolsa de Cereales, 2011).

El rendimiento nacional no difiere mucho de los promedios mundiales, excluyendo países de altos rendimientos como Francia y Reino Unido. En estos países el rendimiento promedio nacional es cercano a las 8 tn ha⁻¹. Las diferencias de la producción nacional con respecto a los países anteriormente mencionados, no solo difiere por la genética y prácticas de manejo del cultivo, sino por la potencialidad de los ambientes de producción (Miralles y González, 2011).

1.1.3 Regiones productoras de trigo en Argentina

En Argentina la región triguera típica está comprendida entre las latitudes 31° S a 40° S (Hall *et al.*, 1992) y en ella se produce entre el 90 y 95% del trigo nacional. El resto, se produce en zonas marginales i.e. región NEA (Norte de Santa Fe, Chaco, Formosa) y el NOA (Santiago del Estero, Tucumán) (SAGPyA, 2009)

Entre la región triguera típica y las restantes, las condiciones ambientales son diferentes para el cultivo y aunque la oferta hídrica es la responsable y establece en mayor medida las diferencias productivas entre zonas, la radiación solar incidente y la temperatura también varían en forma considerable (Caviglia *et al.*, 2006).

Las diferencias productivas entre las zonas son reflejadas en los datos de rendimiento obtenidos por la red de ensayos territoriales (RET) comparativos de genotipos de trigo, coordinada por el INASE (Instituto Nacional de Semillas). Así por ejemplo, en el Sudeste de Buenos Aires (Balcarce), Sudeste de Córdoba, Noroeste de Buenos Aires (Pergamino) y Centro Oeste de Entre Ríos (Paraná), los rendimientos promedios históricos superan los 4,5 t ha⁻¹, mientras en la zona Norte de Argentina se logran entre 1,8 a 2,5 t ha⁻¹ (INASE, 2011). Estos datos reflejan las diferencias de orden ambiental entre las diferentes zonas, ya que las condiciones de manejo en la RET son unificadas para todas las regiones, aunque las brechas no son solo atribuibles a la radiación y temperatura, sino también a diferencias en disponibilidad hídrica.

1.1.4 Planteo del tema de investigación

La adaptación del trigo en esta amplia región de cultivo, requiere que su patrón de desarrollo se adapte a cada ambiente, siendo muy importante que antesis ocurra con bajo riesgo de heladas (Slafer *et al.*, 2004). El desarrollo como el crecimiento del cultivo de trigo están modulados por la temperatura, la radiación solar incidente y fotoperíodo. (Fischer, 1985).

La respuesta del cultivo al incremento de la temperatura es la aceleración en el desarrollo i.e. el cultivo acorta su ciclo (Fischer, 1985; Slafer y Rawson, 1994), mientras que el crecimiento es proporcional a la radiación interceptada, bajo condiciones potenciales de manejo del cultivo (Gallagher y Biscoe, 1978).

Por lo tanto, el rendimiento en granos es considerado como el resultado final de los procesos de desarrollo y crecimiento, en donde se definen los componentes numéricos a lo largo del ciclo del cultivo, interactuando factores genéticos y ambientales (Miralles *et al.*, 2003).

Al rendimiento del trigo se lo define como el producto entre el número de granos por unidad de superficie (NG) y el peso de los granos (PG), denominados componentes numéricos del rendimiento (Engledow y Wadham, 1923).

Fischer (1975) demostró que el número de granos por unidad de superficie es el componente que mejor explica las variaciones en el rendimiento final, más que cualquier cambio en el peso del grano.

Empleando tratamientos de sombreado durante diferentes etapas en el ciclo del cultivo, Fischer (1975) demostró que el período comprendido entre unos 30 días previos a la antesis y 7 días posteriores a la misma resultó el más sensible para la determinación del número de granos. A esta etapa la denominó período crítico, ya que resulta

coincidente con el período de crecimiento de la espiga (PCE), y en la que se registra la mayor acumulación de materia seca en la espiga (Abbate *et al.*, 1997).

Por otra parte, el rendimiento potencial de un genotipo particular, es aquel obtenido cuando el mismo es cultivado bajo condiciones óptimas de manejo, sin limitaciones hídricas, nutricionales y en ausencia de plagas y enfermedades (Evans, 1993; Loomis y Connor, 1992; Fischer, 1983, 1985; Abbate *et al.*, 1995; 1998).

Cuando un cultivo crece en condiciones potenciales, se puede estimar la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) como el producto de los denominados componentes ecofisiológicos (Monteith, 1972), i.e. i) la radiación fotosintéticamente activa incidente por unidad de superficie del suelo, ii) por la proporción de la PAR interceptada por el cultivo (eficiencia de intercepción de PAR, e_i) y iii) la producción de materia seca por unidad de PAR interceptada (eficiencia de uso de la radiación, EUR).

Existe una relación positiva entre la TCC y la tasa de crecimiento de la espiga (TCE), con la que se relaciona positivamente (Abbate *et al.*, 1997).

El porcentaje de partición a la espiga refleja los fotosintatos que son asignados a las flores generadas. La cantidad de fotosintatos determinan la supervivencia de las flores y en consecuencia el número de granos por unidad de superficie (NG).

La proporción de peso total del cultivo que es asignado a la espiga durante el PCE se denomina partición a la espiga (TCE_TCC) (Abbate *et al.*, 1995, 1997). Durante el período de crecimiento de las espigas, entre el 35 y 46% del peso seco acumulado por el cultivo es particionado a las espigas, correspondiendo mayores proporciones a menores TCC. Este comportamiento, sugiere que la espiga resulta en un destino prioritario de los asimilados a medida que el cultivo se acerca a antesis (Fischer, 1985; Abbate *et al.*, 1995).

Durante el periodo de crecimiento de la espiga, las flores de trigo se desarrollan dentro de las espiguillas. Cada espiguilla posee una capacidad indefinida para diferenciar primordios florales. Sin embargo, normalmente solo entre 2 y 5 se desarrollan completamente y alcanzan el estado de flor fértil en antesis (Sibony y Pinthus, 1988).

En general, la muerte o degeneración de las flores coincide con el período de máximo crecimiento tanto del tallo, como de la espiga, señalando que el número final de flores fértiles, en este período de competencia entre ambos órganos, está limitado por el suministro de asimilados (Kirby, 1988).

Como el mayor incremento del peso seco de la espiga se produce durante el período de crecimiento de la espiga, se sugirió que la oferta de asimilados durante ese período, determina el número de flores fértiles y por lo tanto, los granos formados por espiga (Rawson y Bagga, 1979; Stockman *et al.*, 1983).

El modelo de componentes ecofisiológicos (Monteith, 1972) considera, en definitiva, que el resultado final i.e. el número de granos fijados, sólo varía por efecto del crecimiento. Sin embargo, fue demostrado el efecto negativo que el incremento de temperatura tiene sobre el crecimiento del cultivo, de modo particular durante el PCE y en consecuencia sobre la cantidad total de fotosintatos asignados a la espiga.

En efecto, Fischer y Maurer (1976) mencionaron que la tasa de crecimiento de un cultivo que intercepta la mayor proporción de la radiación incidente no es afectada en el rango de temperatura entre los 15 y 25°C. Estos autores señalaron que esas temperaturas no modifican la tasa de fotosíntesis, pero si provocan una aceleración en el desarrollo. Por lo que una reducción en el período de crecimiento de la espiga significaría menor período para acumulación de asimilados (Fischer, 1985). Asimismo, Midmore *et al.*, (1984) y Warrington *et al.*, (1977) destacaron el efecto de la temperatura en las diferentes etapas del ciclo del cultivo de trigo

Fischer (1985) y Abbate *et al.*, (1994) estudiaron en trigo, la influencia de la radiación solar y la temperatura sobre el NG potencial. Estos autores encontraron que el NG es una función directa de la radiación incidente e inversa a la temperatura durante el período de preantesis. A esta relación entre la radiación interceptada

promedio y la temperatura media (sobre base de desarrollo de 4,5°C), Fischer (1985) la definió como cociente fototermal (Q).

Este cociente integra el efecto de la radiación media y la temperatura media en el período comprendido desde 30 días previos a anthesis y 7 días posteriores a la misma.

Varios trabajos han demostrado la influencia de la radiación, la temperatura y la relación entre ambas variables (cociente fototermal Q) en la determinación del rendimiento de trigo en varias localidades de Argentina.

Estos trabajos fueron realizados por Magrín *et al.*, (1993) para la zona comprendida desde Paraná a Balcarce (latitud 31 ° S a 37° S); Cantarero *et al.*, (1998) en Córdoba (latitud 31°S); Caviglia y Paparotti (2000) en Paraná (latitud 31°S); Caviglia *et al.*, (2006) en Reconquista (latitud 29°S) y Lázaro *et al.*, (2000, 2010, 2011) con datos obtenidos en 4 localidades de Argentina, México y Francia.

Todos estos autores han realizado sus estudios en base a la función establecidas por Abbate *et al.*, (1994), para la zona de Balcarce (latitud 37° S), y han concluido que los componentes del rendimiento estimados fueron razonablemente consistentes con los observados, a pesar de las diferencias en la potencialidad productiva de las diferentes zonas con respecto a la zona donde se obtuvo la relación (Magrín *et al.*, 1993; Cantarero *et al.*, 1998; Caviglia y Paparotti, 2000; Caviglia *et al.*, 2006 y Lázaro *et al.*, 2000, 2010, 2011).

En Reconquista, situada en el Norte de la provincia de Santa Fe (29°11´ latitud Sur y 59° 52´ longitud Oeste), el rendimiento potencial estimado fue inferior al de las regiones típicamente trigueras de Argentina (Caviglia *et al.*, 2006).

La producción de trigo en el Norte de Santa Fe, se desarrolla en un ambiente de clima definido como de transición entre templado y subtropical. La temperatura media anual es de 20°C. El promedio histórico de precipitaciones (serie 1960-2010) fue de 1251,8 mm, con un régimen hídrico entre sub-húmedo hasta sub-húmedo seco. La distribución de las precipitaciones se concentra en un 70 % entre los meses de Octubre a Marzo (series meteorológicas históricas de INTA Reconquista, 2010).

Dado que las temperaturas en la zona de Reconquista son superiores a las de las zonas trigueras típicas, se considera importante validar las relaciones entre el rango de las variables meteorológicas locales y el rendimiento potencial del trigo.

Es importante mencionar que las relaciones establecidas entre el Q y el rendimiento potencial han sido determinadas en rangos de temperaturas entre 12 y 14°C (Fischer, 1985; Abbate *et al.*, 1994), menores a los registrados en el Norte de Santa Fe.

Si bien las relaciones previamente establecidas entre el Q y el rendimiento potencial (Fischer, 1985; Abbate *et al.*, 1994) permiten una buena estimación de las diferencias en potencialidad productiva entre zonas trigueras, debe destacarse que dichas relaciones han sido construidas en base a unos pocos y antiguos genotipos.

Asimismo, no se conocen trabajos previos que hayan estudiado estas relaciones sobre los componentes de rendimiento en distintos genotipos de difusión actual, probablemente con mejores atributos en su crecimiento y adaptación al estrés abiótico, que aquellos utilizados hace ya varias décadas.

Si bien algunas relaciones entre parámetros del crecimiento durante el período de creamiento de la espiga (PCE) y el número de granos (NG) fueron estudiadas como el cociente entre NG y peso seco de la espiga (PSE) (Abbate *et al.*, 1997); no se conocen trabajos en los que se haya relacionado a la determinación de los componentes florales por unidad de TCC, como asimismo, las relaciones entre la TCC, partición de asimilados y componentes florales por unidad de Q.

La relación entre el peso seco de las espigas y el NG es un adecuado indicador del suministro total de asimilados a las espigas, que engloba los efectos de la interceptación de radiación, la eficiencia en el uso de la misma, la partición a espiga y la duración del período de crecimiento. En condiciones en las que son esperables cambios en algunos de estos parámetros, como altas temperaturas durante el PCE, la utilización de otras relaciones como el cociente en NG y TCC permitiría una mejor

interpretación de cómo el flujo de asimilados influye sobre la fijación de granos en dichas condiciones.

En consecuencia es de interés evaluar el impacto de estas relaciones en genotipos de difusión actual en el mercado, probablemente con mejores atributos en cuanto a rendimiento y adaptación al estrés abiótico, que los utilizados en trabajos previos.

1.1.4.1 Hipótesis

Para los genotipos de trigo ciclo corto difundidos en el Norte de Santa Fe.

I- La reducción del cociente fototermal (Q) durante el período de crecimiento de la espiga disminuye el número de granos de manera diferente entre genotipos de trigo.

II- El menor número de granos, asociados a los menores valores de Q, está explicado por la menor cantidad de flores fértiles por unidad de tasa de crecimiento durante el período crítico.

1.1.4.2 Objetivos

1.1.4.2.1 Objetivo General

Validar el Cociente Fototermal Q como estimador del rendimiento potencial de trigo y determinar si difieren los genotipos en su capacidad de fijar granos en el Norte de Santa Fe.

1.1.4.2.2 Objetivos específicos

En diferentes genotipos de trigo bajo distintos niveles de sombreado y fechas de siembra contrastante en el Norte de Santa Fe:

1. Determinar rendimiento potencial y sus componentes numéricos.
2. Determinar la tasa de crecimiento del cultivo, la tasa de crecimiento de la espiga, partición de asimilados y la relación de la tasa de crecimiento con los componentes florales.
3. Determinar cociente fototermal Q durante período crecimiento de la espiga y evaluar su relación con la tasa de crecimiento del cultivo, partición de asimilados y componentes florales.

1.2 Estructura de la tesis

La presentación del trabajo de investigación se realizará en 5 capítulos, cuyo contenido se resume a continuación.

El presente capítulo se inicia con la introducción del tema de investigación, destacando la importancia del cultivo de trigo, mencionando las regiones productoras y exportadoras mundiales de trigo, para así ubicar en el contexto mundial, lo que la producción de trigo representa para la Argentina. Luego realizar una breve descripción de las regiones trigueras de la Argentina. Con esto se buscó destacar las diferencias ambientales que existen entre las regiones trigueras típicas de Argentina y las demás zonas productoras de trigo situadas principalmente en el Noroeste y Noreste de Argentina.

Capítulo II. En este capítulo se analiza el rendimiento potencial de genotipos de reciente liberación en el mercado nacional y sus componentes como respuesta a las condiciones experimentales y ambientales de la zona. En particular, se evalúa el efecto de las temperaturas y radiación solar incidente registradas en el período de crecimiento de la espiga (Objetivo específico 1).

Capítulo III. Se estudian los efectos de la radiación y temperatura, a través de las variaciones impuestas por tratamientos de sombreos y de fecha de siembra, sobre la tasa de crecimiento del cultivo, sus componentes ecofisiológicos y los componentes florales. Asimismo, se analiza la partición de asimilados y componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo. El impacto de estas relaciones, en genotipos de difusión actual, fue analizado, a modo de establecer si difieren en su capacidad para fijar granos bajo las condiciones ambientales del Norte de Santa Fe (Objetivo específico 2).

Capítulo IV. En este capítulo se analiza, en base al cociente fototermal Q, el efecto combinado que la radiación solar y la temperatura ejercen sobre el número de granos potenciales factibles de ser logrados en el Norte de Santa Fe, en condiciones no limitantes. Asimismo y con el propósito de profundizar la comprensión en la determinación del número de granos, se analizan las relaciones entre el número de granos, crecimiento, porcentaje de partición a espiga y componentes florales por unidad de cociente fototermal Q (Objetivo específico 3).

Capítulo V. En las conclusiones generales, se rescatan los puntos sobresalientes de los resultados, demostrando así, los aportes al cumplimiento de los objetivos y al contraste de las hipótesis de trabajo planteadas.

Para cumplir con los objetivos planteados, se realizaron experimentos a campo durante dos campañas agrícolas consecutivas, bajo condiciones potenciales, i.e. sin deficiencias nutricionales, con riego y libre de plagas.

Se seleccionaron 6 genotipos comerciales de trigo ciclo corto, de reciente liberación en el mercado nacional, i.e. ACA 901, Baguette Premium 13, BIOINTA 1001, Cronox, INIA Cóndor y Klein Tauro (mencionados por orden alfabético).

A nivel experimental, las variaciones en el cociente fototermal Q durante el período de crecimiento de la espiga se lograron modificando la radiación solar incidente, mediante la aplicación de sombreo. La variación en la temperatura durante dicho período se logró a través de la ubicación del período de crecimiento de la espiga en diferentes momentos, variando las fechas de siembra.

Capítulo II
Rendimiento potencial y sus componentes numéricos

En el capítulo anterior, se realizó una presentación general sobre la importancia del cultivo y una breve descripción de las regiones trigueras de la Argentina, donde se enfatizaron las diferencias ambientales entre ellas que determinan una diferente producción potencial.

Además, se destacó que no se conocen trabajos previos del impacto que las condiciones ambientales ejercen sobre los componentes del rendimiento potencial en ambientes con características climáticas similares a las que se presentan en el Norte de Santa Fe, más aún en genotipos de reciente liberación en mercado nacional.

En este capítulo se caracterizarán las condiciones ambientales durante el período de crecimiento de la espiga y se determinará el rendimiento potencial de diferentes genotipos de trigo ciclo corto en dos años de experimentos a campo realizados con modificaciones artificiales de las condiciones ambientales durante el período de determinación del número de granos por unidad de superficie.

2.1 Introducción

El rendimiento en granos es el resultado final de los procesos de desarrollo y crecimiento en donde se definen los componentes numéricos a lo largo del ciclo del cultivo. Para la determinación de los mismos intervienen factores genéticos, ambientales y sus interacciones (Miralles *et al.*, 2003)

Tradicionalmente, al NG se lo consideraba en término de sus subcomponentes, i.e. número de plantas m^{-2} , número de macollos m^{-2} , número espigas m^{-2} , número de granos espiga $^{-1}$, número de espiguillas espiga $^{-1}$, número de granos espiguillas $^{-1}$ (Engledow y Wadham, 1923). Sin embargo el trigo posee una notable capacidad de compensación entre estos subcomponentes, lo que se traduce en pocos cambios en el resultado final cuando se produce un aumento de uno y la caída de otro.

Más recientemente se considera que el rendimiento del cultivo de trigo es el producto del número de granos por unidad de superficie (NG) y el peso del grano (PG), (Fischer, 1985; Abbate *et al.*, 1994; Slafer *et al.*, 2004).

Fischer (1975) empleando tratamientos de sombreo durante el ciclo del cultivo de trigo, demostró que el número de granos por unidad de superficie es el componente que mejor explica las variaciones en el rendimiento final, más que cualquier cambio en el peso del grano. El período comprendido entre unos 30 días previos a la antesis y 7 días posteriores a la misma resultó el más sensible para la determinación del número de granos, denominándolo como período crítico o período de crecimiento de la espiga (PCE). Durante esta etapa se registra la mayor acumulación de materia seca en la espiga (Abbate *et al.*, 1997).

El crecimiento de la espiga es, por lo tanto, clave para el establecimiento del número de flores fértiles y de granos en trigo (Fischer, 1985). Durante esta etapa tanto el tallo como la espiga presentan su máxima tasa de crecimiento, lo que genera una competencia por asimilados (Kirby, 1988).

Asimismo, existe una positiva relación entre la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y la tasa de crecimiento de la espiga (TCE), con la que se relaciona positivamente (Abbate *et al.*, 1997). La proporción de peso total del cultivo que es asignado a la espiga durante el PCE se denomina partición a la espiga (TCE_TCC). Durante el período de crecimiento de las espigas, entre el 35 y 46% del peso seco acumulado por el cultivo es particionado a las espigas (Fischer, 1985; Abbate *et al.*, 1994; 1997).

En el desarrollo de la espiga se generan entre 10 a 12 primordios florales por espiguillas, que podrían alcanzar el estado de flor fértil (Sibony y Pinthus, 1988). Sin embargo, durante el período de crecimiento de la espiga, ocurre una gran mortandad de estas estructuras florales y pocas de ellas alcanzan el estado de flor fértil, las que podrían fijarse finalmente como granos (Kirby, 1988). La disponibilidad de asimilados para el crecimiento de la espiga parece modular la proporción de flores fértiles en antesis (Fischer, 1985).

El número de granos fijados está directamente asociado, en consecuencia, con la tasa de crecimiento del cultivo durante el PCE, la que resulta muy sensible a las condiciones ambientales (Andrade, 1995) y de manejo.

El peso del grano, es considerado como el componente menos variable del rendimiento (Fischer, 1985); pero aun así, es considerado como una fuente importante de variación (Calderini *et al.*, 1998).

El peso de grano no solamente se determina en el período de llenado de grano, comprendido entre antesis y madurez fisiológica, sino también se demostró que el peso potencial de grano se determina en preantesis, correspondiendo a la parte final del período de crecimiento de la espiga (Calderini *et al.*, 1998, 2010; Ugarte *et al.*, 2007).

Caviglia y Brach (2008) al estudiar la asociación entre rendimiento real y las variables meteorológicas (radiación, temperatura) de Reconquista, localidad situada en el Norte de Santa Fe (latitud 29° S), concluyeron que la variación en el número de granos, como así también, el peso de grano se asociaron más estrechamente con la temperatura, especialmente con la temperatura máxima media, durante el período de crecimiento de la espiga. Determinando además, que la variación en el rendimiento fue explicada en un 94% por las variaciones en el NG y un 55% por las variaciones encontradas en el PG.

Por lo tanto, una manera posible de definir rendimiento es considerando las condiciones en que fue obtenido. Lo más frecuente es referirse a rendimiento potencial y a rendimiento real (Van Ittersum y Rabbinge, 1997).

El rendimiento potencial es aquel que se logra con un manejo que optimiza el uso del ambiente, sin limitaciones hídricas, nutricionales, en ausencia de plagas y enfermedades. De esta manera se definirá el límite de producción para un genotipo, en un ambiente dado. (Evans, 1993; Loomis y Connor, 1992).

Por otro lado, el rendimiento real es el rendimiento promedio que se obtiene en un área de producción, aplicando la tecnología disponible, que son comercialmente prácticas para los productores (Loomis y Connor, 1992).

La brecha de rendimiento se estima por la diferencia entre el rendimiento potencial y el rendimiento real (Lobell *et al.*, 2009). Conocer ambos rendimientos, provee información sobre los factores que los limitan, además de brindar información sobre el nivel técnico de producción de una determinada zona (Magrin, 2004; Miralles y González, 2011).

En las principales regiones trigueras de Argentina se han determinado las brechas productivas. Estas varían entre un 22% en la región Sudeste de la provincia de Buenos Aires, 35% en la región Centro (Sur de Córdoba, Sur de Santa Fe y Norte de Buenos Aires) y un 51% en la región Noroeste (Miralles y González, 2011).

Para el Norte de Santa Fe, Caviglia *et al.*, (2006) estimaron un rendimiento potencial inferior al de las regiones típicamente trigueras. En base a esa información y con los datos obtenidos en la RED de ensayos de trigo (INASE) fue posible establecer una brecha del orden del 50% en el Norte de Santa Fe, lo que puede atribuirse no solo a radiación y temperatura sino también a disponibilidad hídrica.

La relación entre las variables meteorológicas y el rendimiento potencial en estas diferentes zonas productoras de trigo de la Argentina, comprendidas entre las latitudes 29° S y 37° S, fueron analizadas en base a la función establecida por Abbate *et al.*, (1994). Esa función fue obtenida en el Sudeste bonaerense (Balcarce, latitud 37° S) con el genotipo Buck Ñandú liberado en 1976 (Gonzalez, L.; comunicación personal). Balcarce posee un ambiente de clima templado (temperatura media anual de 13,3°C). En esa zona la probabilidad de ocurrencia de temperaturas elevadas durante el período de definición del número de granos i.e. en preantesis, es muy baja (INTA Balcarce, 2011).

Sin embargo, la producción de trigo en el Norte de Santa Fe se desarrolla en un clima considerado de transición entre templado y subtropical, cuya temperatura media anual es de 20°C (Vidal, 2006). El comportamiento térmico en esta zona está caracterizado por una marcada amplitud térmica diaria, pudiendo alcanzar la temperatura máxima absoluta valores que superan los 34°C durante el período de crecimiento de la espiga, aún en fechas de siembra óptima para el cultivo de trigo (INTA Reconquista, 2010).

Las condiciones ambientales durante el PCE en el Norte de Santa Fe podrían, por lo tanto, ser bastante diferentes a las de la zona triguera del Sudeste bonaerense. Asimismo, los nuevos genotipos podrían presentar un rendimiento potencial superior al de los genotipos sobre los cuales fueron realizados los primeros estudios sobre rendimiento potencial en el país.

2.1.1 Objetivos

El objetivo de este capítulo es evaluar el rendimiento potencial en 6 genotipos comerciales de trigo ciclo corto, de reciente liberación en el mercado nacional. Asimismo, se plantea evaluar el efecto de tratamientos experimentales de sombreado durante el período de crecimiento de la espiga y de retraso en la fecha de siembra sobre la radiación solar incidente, temperatura, rendimiento y componentes numéricos del cultivo. Los experimentos de rendimiento potencial se realizaron durante dos años consecutivos (2008 - 2009) en el Norte de Santa Fe (Reconquista, Lat. 29° S).

2.2 Materiales y Métodos

2.2.1 Sitio experimental

Los experimentos se realizaron en el campo de la Estación Experimental Agropecuaria Reconquista del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, (29°11' latitud Sur y 59° 52' longitud Oeste, Santa Fe, Argentina) durante los años 2008 y 2009 (Foto 1-Anexo).

2.2.2 Manejo de los experimentos

La siembra se realizó bajo labranza convencional en un suelo Argiudol acuértico, de textura franco-limoso en superficie y arcilloso en profundidad (Vidal, 2006).

El tamaño de la unidad experimental fue de 1,4 m de ancho por 6 m de largo, i.e. 7 hileras separadas a 0,20 m. Con la finalidad de facilitar la toma de muestras y evitar proyección de sombras entre unidades experimentales, la distancia entre las unidades experimentales fue de 1 m. La densidad de plantas se ajustó por fechas de siembra, variando entre 280 y 320 plantas logradas m⁻².

Los experimentos fueron manejados en condiciones potenciales, i.e. sin deficiencia nutricional, con riego, libre de plagas y enfermedades. Se aportó a razón de 250 kg ha⁻¹ de Fosfato diamónico, 40 kg ha⁻¹ de Sulfato Calcio y 400 kg ha⁻¹ de Urea, asegurando así el suministro adecuado de Nitrógeno, Fósforo y Azufre.

El agua fue suministrada por medio de mangueras de riego por goteo de ½". La frecuencia de riego varió entre 48 a 72 hs, de modo que la lámina de agua en el perfil del suelo se mantenga cercana a capacidad de campo (Foto 2-Anexo).

A los doce días posteriores a la emergencia del cultivo, se aplicó el herbicida Metsulfuron metil, a razón de 10 g ha⁻¹. Para el control de insectos plagas se utilizaron los insecticidas Lambdacialotrina y Tiametoxan, razón de 50 y 100 cc ha⁻¹, respectivamente, cuando fue necesario.

A partir de la elongación del tallo y con una periodicidad de 20 días, se aplicó, de manera alternada, los fungicidas Azoxystrobin + Difenconazole (500 cc ha⁻¹) y Epoxiconazole + Carbendazin (750 cc ha⁻¹).

Para evitar vuelco, al finalizar el período de macollaje, se colocaron mallas de polietileno de alta densidad, transparentes, con cuadros internos de 10 x 10 cm. El tendido de las mallas se lo realizó a 40 cm del nivel del suelo (Foto 3-Anexo).

Previo a la madurez fisiológica del cultivo, y para evitar daños, se colocaron mallas antipájaros. Las mallas de polietileno, con tramas de 2 x 2 cm, fueron suspendidas sobre el área del experimento (Foto 4-Anexo).

2.2.3 Diseño experimental. Aplicación de los tratamientos

El experimento fue diseñado en función de lograr variaciones de las condiciones ambientales durante el período de crecimiento de la espiga (PCE):

- i) En la cantidad de radiación incidente a través de la aplicación de sombreos.
- ii) En la temperatura, atrasando la fecha de siembra.

Se utilizó el diseño experimental de bloques completos aleatorizados, en combinación factorial de dos factores, con 3 repeticiones (Foto 5-Anexo).

Los tratamientos resultaron de la combinación de dos factores:

Genotipo: 6 niveles

Sombreo (S): 3 niveles

En cada campaña se realizaron 2 fechas de siembra, una considerada como fecha óptima de siembra (FS 1) para el ciclo de los genotipos seleccionados y una fecha de siembra tardía (FS 2).

La FS 1 se realizó el 1 de Junio en los años 2008 y 2009, mientras que la FS 2 se realizó el 27 de Julio y 18 de Agosto de los años 2008 y 2009, respectivamente.

Se seleccionaron 6 genotipos comerciales de ciclo corto, de reciente liberación en el mercado nacional, con similar duración de ciclo a antesis (medido en tiempo térmico).

En este trabajo experimental se optó trabajar únicamente con genotipos de ciclo corto porque del total de trigo sembrado en el Norte de Santa Fe, un 90 % de dicha superficie se la realiza con genotipos de ciclo corto.

Los genotipos sembrados fueron mencionados por orden alfabético y se detalló entre paréntesis el criadero o representante legal que realizó la inscripción y año en que se realizó la misma en el Instituto Nacional de Semillas (INASE), respectivamente (Ballesteros, A.; comunicación personal):

1. ACA 901 (ACA, 2005)
2. Baguette Premium 13 (Nidera, 2001)
3. BIOINTA 1001 (INTA, 2004)
4. Cronox (Bartolomé, G., por Or melhorameto de sementes, Brasil, 2005)
5. INIA Cóndor (Calvelo, A., por INIA República Oriental del Uruguay, 2000)
6. Klein Tauro (Klein, 2005)

La radiación incidente tuvo 3 niveles: control 0 (nivel de radiación natural incidente); S 40 y S 80, i.e. 40 % y 80% de intercepción de radiación incidente, respectivamente (Foto 6 a; 6 b y 6 c, respectivamente-Anexo).

Para modificar la radiación incidente durante en el período de crecimiento de la espiga, se empleó una malla negra, con una densidad comercial del 40 y 80% de intercepción de luz. Las mallas fueron suspendidas sobre el cultivo durante el PCE i.e. a partir que el mismo se encontraba con 3 nudos desarrollados (Zadoks 33), hasta 7 días posteriores a antesis (Zadoks 65) (Zadoks *et al.*, 1974).

El soporte de las mallas fue realizado con alambre y varillas de madera en la primera campaña y con estructuras de hierro en la segunda campaña. Las estructuras de hierro, de igual tamaño que las unidades experimentales, permitieron que las mallas cubran las parcelas en tu totalidad, llegando las mallas hasta nivel del suelo (Foto 5-Anexo).

Transcurrido el período de crecimiento de la espiga, las mallas fueron retiradas, quedando el cultivo expuesto a las condiciones ambientales naturales. Similar metodología fue realizada por Fischer, (1975, 1985) y Abbate *et al.*, (1995; 1997). Estos autores en sus trabajos utilizaron niveles de intercepción de radiación inferiores a los utilizados en el presente trabajo, excepto en un experimento en el trabajo de Abbate *et al.*, (1997) que utilizó una malla de 85%, cuyos datos fueron utilizados solo para algunos análisis.

En el mayor nivel de sombreado no se registró rebrote posterior al levantamiento de las mallas, tal lo registrado en Abbate *et al.*, (1997). El modo de realizar el sombreado entre ambos experimentos fue diferente, cubriendo en este experimento la unidad experimental en su totalidad.

2.2.4 Mediciones realizadas a campo y en laboratorio

A partir de los 30 días de producida la emergencia del cultivo se tomaron 5 plantas al azar en cada unidad experimental, con el objetivo de determinar el estadio de espiguilla terminal (ET). En laboratorio se realizó la disección de los tallos principales, observándose el desarrollo del ápice en una lupa binocular estereoscópica de 50X (Nikon SMZ 645, Japón).

Espiguilla terminal es el estadio en el cual se observa el primordio floral en la espiguilla apical, quedando definido el número total de espiguillas por espiga (Waddington y Cartwright, 1983; Sibony y Pinthus., 1988) (Foto 7-Anexo).

El período de crecimiento de la espiga (PCE) fue determinado según metodología propuesta por Abbate *et al.*, (1995 y 1997), i.e. como el intervalo durante el cual la espiga acumula entre el 5 y el 100% de su peso seco.

Para la determinación del peso de la espiga, en cada unidad experimental se tomaron 5 tallos principales al azar cada 48 hs después de determinado el estado de espiguilla terminal. En laboratorio, las espigas fueron extraídas y colocadas en estufa a 60°C hasta peso constante. Se comprobó que cuando el cultivo contaba con 3 nudos desarrollados (Zadoks 33) y la espiga en su interior medía aproximadamente 0,5 cm, la misma había alcanzado entre el 2 y 5% de su peso final.

La radiación global (RG) incidente fue calculada a partir de la heliofanía efectiva diaria utilizando el modelo de Angstrom-Prescott (Ángstrom, 1924; Prescott, 1940). Los datos de heliofanía fueron obtenidos en la estación meteorológica ubicada a 100 m de los experimentos (Foto 1-Anexo).

La radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente sobre el cultivo se calculó como $0,50 \times RG$ (Szeicz, 1974).

La fracción de radiación solar interceptada por el cultivo fue calculada como $(1 - (Rb/Rs))$, donde Rb es la radiación medida en la última hoja verde inferior del cultivo y Rs es la radiación incidente sobre la canopia. Los valores de Rb y Rs fueron medidos semanalmente al medio día solar (± 1 hora), con un sensor lineal cuántico (Cavadevices, B.A, Argentina). Las lecturas fueron realizadas colocando la barra en forma perpendicular a las líneas de siembra, cada 7 días desde el comienzo de PCE. La radiación solar interceptada por el cultivo entre lecturas fue obtenida por interpolación lineal en el tiempo.

El porcentaje de radiación solar interceptada en cada parcela fue calculada como $(\text{radiación solar interceptada}/\text{PAR} \times 100)$.

En los tratamientos con sombreado, la proporción de la radiación incidente retenida por las mallas, fue obtenida como el cociente entre la radiación incidente medida debajo de la malla y el correspondiente valor de la radiación incidente inmediatamente sobre las mallas (Estrada –Campuzano *et al.*, 2008).

Durante el PCE, los datos de temperatura de aire, a nivel del canopeo superior, en los diferentes niveles de sombreado fueron registrados por sensores térmicos, conectados a un data logger WatchDog (Modelo 450, Espectrum Technologies, Inc., Illinois, Estados Unidos), previamente calibrados.

Se registró temperatura media (Tmd) y temperatura máxima media (TMáx md), las que fueron analizadas en base a las series históricas de las mismas, obtenidas en la estación meteorológica ubicada a 100 m de los experimentos.

En madurez fisiológica del cultivo, en cada unidad experimental se cosecharon 10 espigas principales y se registró el número de granos por espiga (NGesp⁻¹). Los datos fueron promediados.

En madurez del cultivo se tomó una muestra de 1 m² en la parte central de cada unidad experimental. De cada muestra se registró número de espigas m⁻² (Nesp m⁻²), rendimiento (Rdto) y peso de los mil granos (PG).

Las espigas fueron trilladas a mano y los granos limpiados por corriente de aire. Los granos se secaron en estufa eléctrica (Dalvo. Modelo HXRF. Santa Fe, Argentina), a 60°C por 72 horas. Se utilizó una balanza de precisión (OHAUS. Modelo Adventure. New Jersey, Estados Unidos) para determinar el peso de los granos sobre una muestra de 1000 granos.

El NG m⁻² fue calculado por el cociente entre el rendimiento en granos y el peso de grano (Fischer, 1983; Abbate *et al.*, 1995 y 1997)

2.2.5 Análisis estadístico

El efecto entre los factores evaluados, i.e., fechas de siembra, nivel de sombreado y genotipos fueron evaluados mediante ANOVA. Cuando el ANOVA indicó efecto significativo de alguno de los factores, las medias fueron comparadas utilizando el test de Tukey ($\alpha=0.05$). Los procedimientos estadísticos fueron realizados utilizando paquetes informatizados de uso estándar (SAS Institute, 2003)

2.3 Resultados

2.3.1 Condiciones ambientales durante el período de crecimiento de la espiga (PCE)

En FS 1 y FS 2 del año 2008, la temperatura media (Tmd) y la temperatura máxima media (TMáx md) durante el PCE, presentaron una tendencia similar a la serie histórica, a excepción de la TMáx md en FS 2 (Figura 1). En esta FS, la TMáx md superó los 26°C.

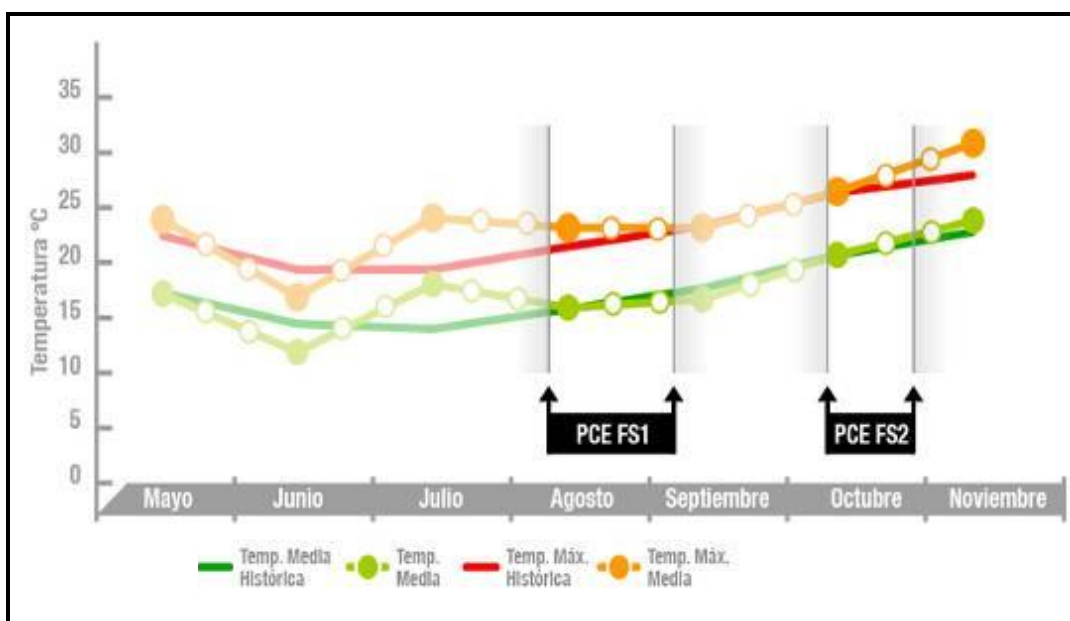


Figura 1. Temperatura media (Tmd) y máxima media (TMáx md) en la campaña 2008 y de la serie histórica 1970-2008, en los meses de Mayo a Noviembre, período donde se desarrolla el trigo en el Norte de Santa Fe. Datos estación meteorológicas INTA Reconquista. PCE FS 1 (Período crecimiento de la espiga en fecha de siembra óptima). PCE FS 2 (Período crecimiento de la espiga en fecha de siembra tardía). Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11' S 59° 52' W).

En ambas FS del año 2009, los registros de la Tmd, pero principalmente, la TMáx md, fueron superiores a los registros de la serie histórica (Figura 2).

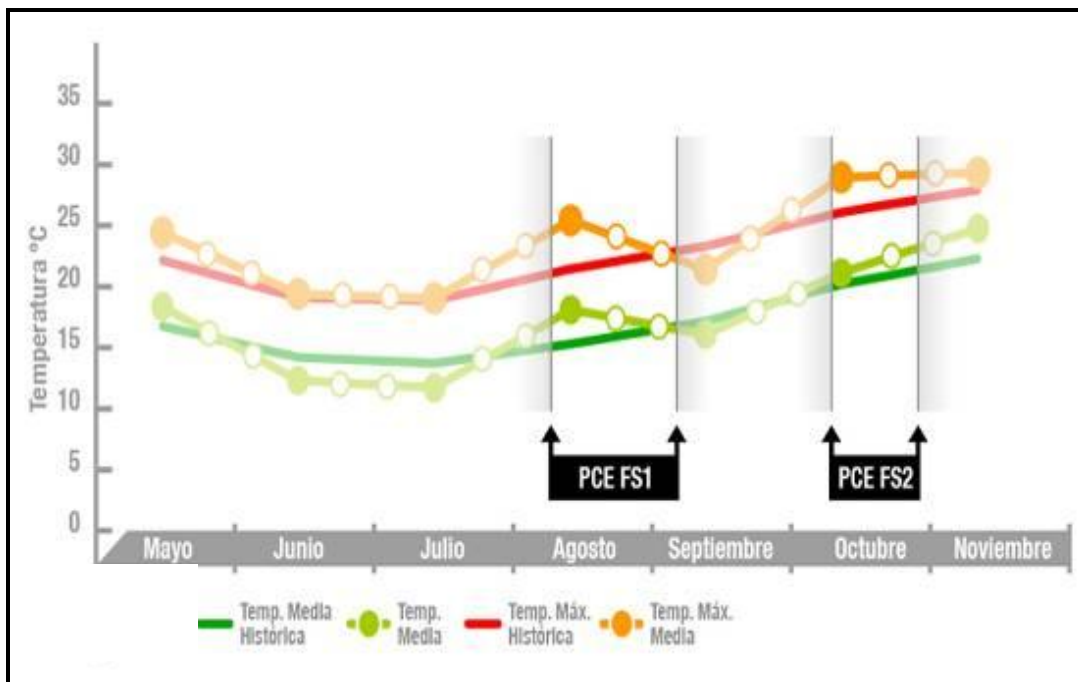


Figura 2. Temperatura media (Tmd) y máxima media (TMáx md) en la campaña 2009 y de la serie histórica 1970-2009, en los meses de Mayo a Noviembre, período donde se desarrolla el trigo en el Norte de Santa Fe. Datos estación meteorológicas INTA Reconquista. PCE FS 1 (Período crecimiento de la espiga en fecha de siembra óptima. PCE FS 2 (Período crecimiento de la espiga en fecha de siembra tardía). Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11' S 59° 52' W).

La radiación incidente en los años 2008 y 2009 fue similar a la serie histórica, a excepción de los meses de Octubre y Noviembre del 2009. En el mes de Octubre hubo sólo 7 días con lluvias y los restantes días, sin nubosidad importante. En el mes de Noviembre, en contraste, se registraron 19 días con lluvias, acumulando 468 mm, lo que provocó una marcada disminución en la radiación global incidente (Figura 3).

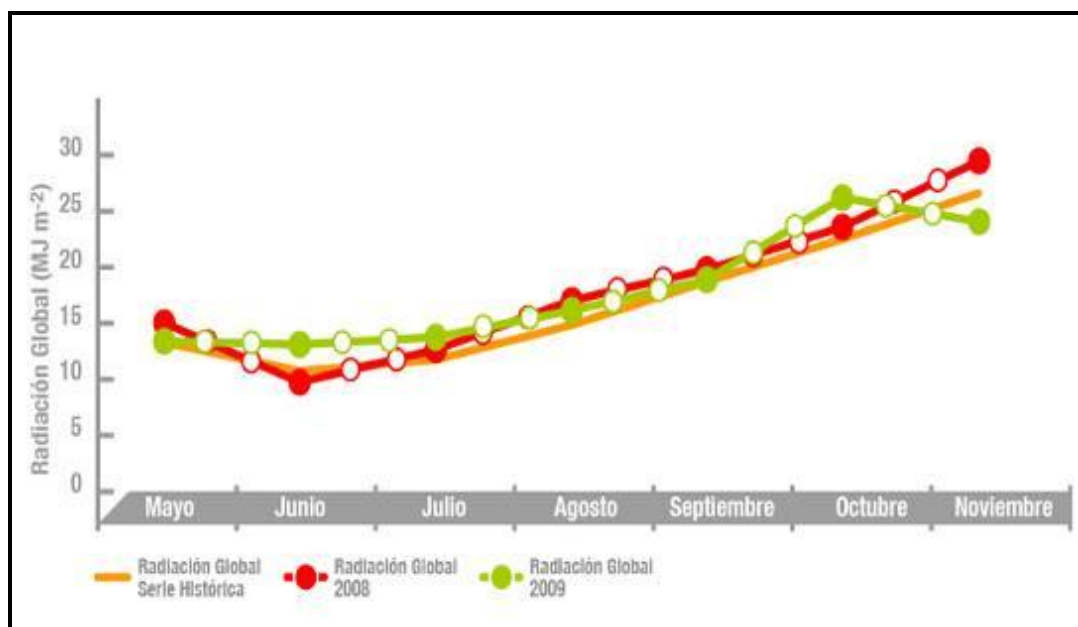


Figura 3: Radiación global incidente en el período de cultivo de trigo en el Norte de Santa Fe para la serie histórica 1970-2009 y en los años 2008 - 2009. Datos de la estación meteorológica INTA Reconquista. Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11' S 59° 52' W).

2.3.2 Temperatura y radiación en los tratamientos con sombreado

En FS 1 de los años 2008 y 2009, durante el PCE, la Tmd registrada a nivel de canopeo en el tratamiento control fue de 11,9 °C y 14,3°C respectivamente, mientras que la TMáx md fue de 23 °C y 26,9 °C, en igual período (Tabla 1).

En FS 2, la Tmd fue superior a la registrada en FS 1, alcanzando 15,4 °C en el año 2008 y 19,5°C en el año 2009. En tanto la TMáx md alcanzó valores de 26 °C y 30,6 °C en los años 2008 y 2009, respectivamente (Tabla 1).

Por efecto del sombreado, en los tratamientos S 40 y S 80 la Tmd disminuyó en promedio 0,6°C y 1°C con respecto al tratamiento control, respectivamente (Tabla 1). La TMáx md presentó similar tendencia, es decir disminuyó al incrementarse en nivel de sombreado en 0,4°C y 1,2°C, respectivamente.

Tabla 1. Temperatura media (Tmd) y temperatura máxima media (TMáx md) promedio en el período de crecimiento de la espiga de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Datos obtenidos en sensores térmicos. Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11´S 59° 52´W).

FS - Año	FS 1 2008		FS 1 2009		FS 2 2008		FS 2 2009	
	Tmd °C	TMáx md °C	Tmd °C	TMáx md °C	Tmd °C	TMáx md °C	Tmd °C	TMáx md °C
Control	11,9	23,0	14,3	26,9	15,4	26,0	19,5	30,6
S 40	10,8	22,7	14,1	26,5	14,6	25,6	19,1	30,5
S 80	10,0	22,0	13,8	25,3	14,0	25,0	19,0	30,1

Por efecto del sombreado, en S 40 y S 80, la PAR disminuyó en promedio entre un 44 y 82% con respecto al tratamiento control (Tabla 2).

En la FS 1 en los años 2008 y 2009 los valores de la PAR fueron menores a los registrados en FS 2 de ambos años en todos los niveles de sombreado (Tabla 2).

Tabla 2. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) promedio en el período de crecimiento de la espiga de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado (Control; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008- 2009. Datos obtenidos de las mediciones de radiación en los experimentos. Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11´S 59° 52´W).

FS	FS 1		FS 2	
Año	2008	2009	2008	2009
Nivel sombreado	PAR MJ m ⁻² d ⁻¹			
control	7,2 a	7,1 a	9,5 a	9,5 a
S 40	4,0 b	4,0 b	5,6 b	5,3 b
S 80	1,4 c	1,3 c	1,9 c	1,8 c

Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas, según test de Tukey ($\alpha=0.05$).

2.3.3 Rendimiento y sus componentes numéricos

Se encontraron diferencias significativas por efecto de todos los factores evaluados en el rendimiento y sus componentes numéricos en las dos fechas de siembra (Tablas 3 y 4). Se detectó interacción significativa entre genotipo y nivel de sombreado en todas las variables, a excepción del NG en la FS 1 del año 2009.

Tabla 3. Rendimiento y sus componentes numéricos en diferentes niveles de sombreado y genotipos en FS 1, en los años 2008 – 2009 en Reconquista, Santa Fe (Lat 29°11' Sur y 59° 52'). Rdto: rendimiento, NG m⁻²: número de granos por unidad de superficie, Nesp m⁻²: número de espiga por unidad de superficie, NGesp⁻¹: número de granos por espiga y PG: peso del grano.

FS 1	2008					2009				
	Nivel de sombreado	Rdto Kg ha ⁻¹	NG m ⁻²	Nesp m ⁻²	NGesp ⁻¹	PG g	Rdto Kg ha ⁻¹	NG m ⁻²	Nesp m ⁻²	NGesp ⁻¹
Control	6.674	17.078	332	52	38,9	4.533	11.725	299	39,4	38,3
S 40	4.620	11.443	300	39	39,2	3.159	8.536	271	33,0	36,9
S 80	1.116	3.637	160	26	30,7	1.102	2.640	163	16,5	35,4
Genotipo										
ACA 901	4.655	11.862	277	39,0	36,7	3.267	8.049	251	30,2	37,5
Baguette P. 13	4.099	10.410	295	32,5	37,2	2.805	7.457	218	33,7	35,2
BIOINTA 1001	4.099	10.502	247	39,8	37,5	2.987	7.447	247	28,4	38,3
Cronox	4.166	11.425	337	31,8	34,6	2.840	7.809	244	30,2	36,5
I. Condor	3.769	10.354	230	41,7	34,3	2.700	7.115	241	27,2	37,5
K. Tauro	4.020	9.761	198	49,6	37,4	2.987	7.925	265	28,4	36,1
ANOVA										
Genotipo	***	***	***	***	***	***	***	**	***	**
Sombreo	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Genotipo x sombreado	***	**	**	***	*	**	ns	***	***	***

* ** ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$; 0,001 y 0,0001) respectivamente; ns, indica diferencias no significativas.

Tabla 4. Rendimiento y sus componentes numéricos en diferentes niveles de sombreado y genotipos en FS 2, en los años 2008 - 2009, en Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11' S 59° 52'). Rdto: rendimiento, NG m⁻²: número de granos por unidad de superficie, Nesp m⁻²: número de espiga por unidad de superficie, NGesp⁻¹: número de granos por espiga y PG: peso del grano.

FS 2	2008					2009				
Nivel de sombreado	Rdto Kg ha ⁻¹	NG m ⁻²	Nesp m ⁻²	NGesp ⁻¹	PG g	Rdto Kg ha ⁻¹	NG m ⁻²	Nesp m ⁻²	NGesp ⁻¹	PG g
Control	5.213	13.282	362	37,0	30,5	2.885	9.917	305	33,0	29,4
S 40	3.282	10.000	343	29,0	32,3	1.846	5.004	287	18,0	29,9
S 80	634	2.682	158	18,0	21,2	901	2.315	153	16,0	29,0
Genotipo										
ACA 901	3.086	9.154	279	30,0	26,9	1.978	5.990	231	25,0	31,4
Baguette P. 13	3.078	8.452	277	28,0	29,8	1.706	5.273	271	21,0	28,5
BIOINTA 1001	2.966	8.541	264	30,6	28,4	2.008	5.787	217	25,0	30,7
Cronox	3.217	8.797	243	23,5	26,9	1.965	5.967	285	20,0	29,2
I. Condor	2.694	7.869	270	26,6	26,3	1.777	5.573	260	20,0	28,0
K. Tauro	3.219	9.116	292	30,0	29,7	1.832	5.632	226	23,0	29,1
ANOVA										
Genotipo	***	**	***	***	***	***	*	***	***	***
Sombreado	***	***	***	***	***	***	***	***	***	*
Genotipo x sombreado	*	**	***	***	***	***	**	**	***	***

* ** ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$; 0,001 y 0,0001) respectivamente.

2.3.3.1 Rendimiento

En FS 1 la reducción en el rendimiento por efecto del sombreado fue similar entre ambos años. En efecto, el rendimiento se redujo 30-31% y 76-83% en relación al control en los tratamientos de S 40 y S 80 (Tabla 3).

En la segunda fecha de siembra se registraron reducciones similares en los tratamientos sombreados que estuvieron entre 36-37% y 88-69% (Tabla 4).

Los rendimientos de los tratamientos se redujeron en promedio 22% en el año 2008 y 36% en el año 2009 por atraso en la fecha de siembra, respectivamente (Tablas 3 y 4).

En el año 2009 los rendimientos fueron, en promedio, un 32% menor en FS 1 y un 45% menor en FS 2, con respecto a igual FS del año 2008.

Los genotipos presentaron diferentes rendimientos según la FS y el año considerado, no evidenciándose un comportamiento consistente entre las situaciones evaluadas.

La diferencia entre los máximos y mínimos rendimientos de los genotipos sembrados en FS 1 fue mayor a la observada en FS 2, i.e. la brecha en rendimiento entre los genotipos fue mayor cuando fueron sembrados en FS 1.

El rendimiento promedio de los 6 genotipos en el tratamiento control, en FS 1 fue de 6.674 ($\pm 446,02$) y 4.533 ($\pm 258,17$) kg ha⁻¹ en el año 2008 y 2009, respectivamente. Mientras que en FS 2, el rendimiento fue de 5.213 ($\pm 279,57$) y 2.885 ($\pm 79,02$) kg ha⁻¹, en el año 2008 y 2009 respectivamente (Figura 4).

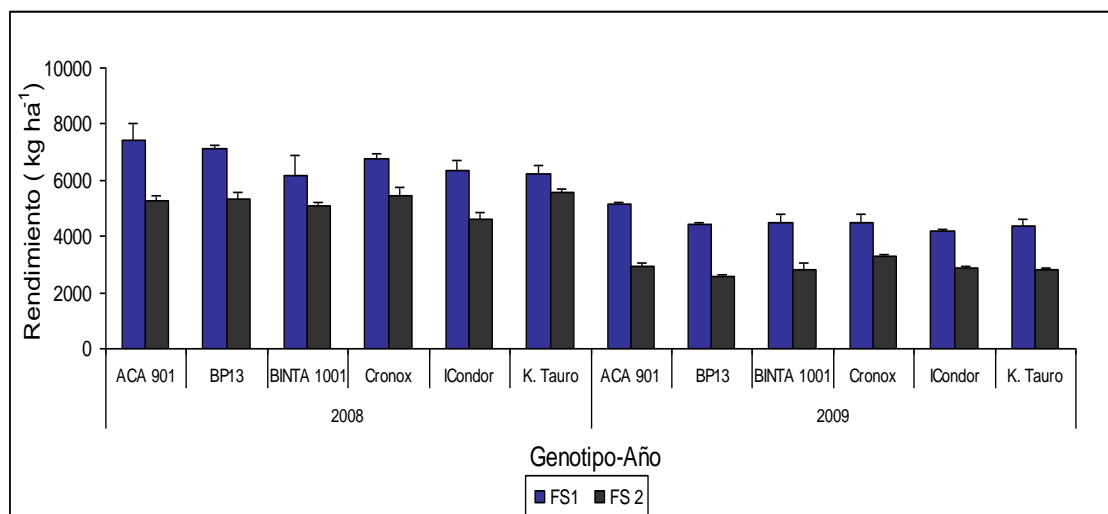


Figura 4. Rendimiento potencial de 6 genotipos de trigo ciclo corto, en tratamiento control, en fechas de siembra óptima (FS 1), barra azul y fecha de siembra tardía (FS 2), barra negra, en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11' S 59° 52' W). Las líneas sobre las barras indican el desvío estándar con respecto a la media.

Por efecto de los niveles de sombreado impuestos durante el período de crecimiento de la espiga, los genotipos presentaron diferentes rendimientos según fecha de siembra y año considerado.

En FS 1 en ambos años, los rendimientos fueron superiores a los registrados en FS 2. En el año 2008 el rendimiento en los diferentes niveles de sombreado y FS fue superior a lo registrado en similares situaciones en el año 2009 (Figura 5).

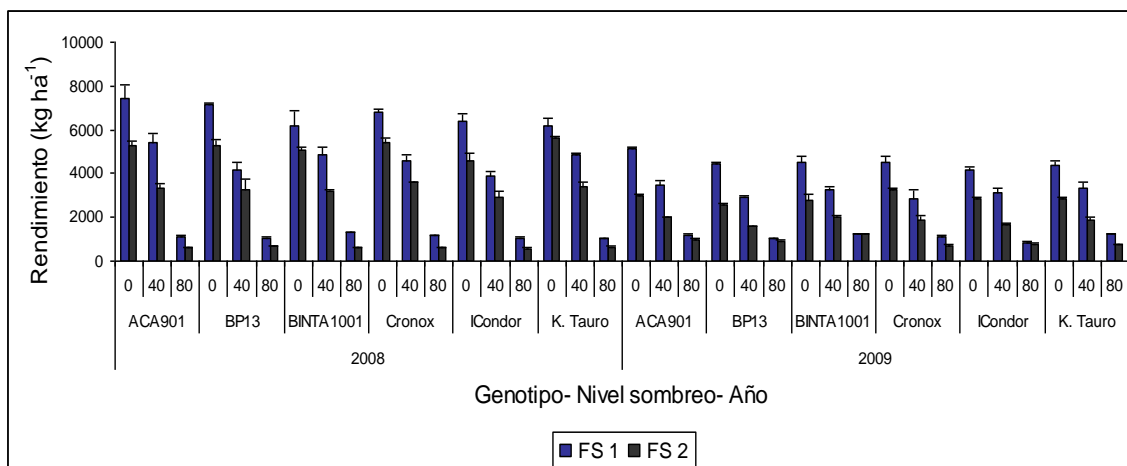


Figura 5. Rendimiento de 6 genotipos de trigo ciclo corto, logrados en 3 niveles de sombreado 0; 40 y 80 (control 0, 40% intercepción radiación; 80% intercepción de radiación, respectivamente) en fecha siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 - 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11' S 59° 52' W). Las líneas sobre las barras indican el desvío estándar con respecto a la media.

2.3.3.2 Número de granos

La reducción en el NG por efecto del sombreado, fecha de siembra y año fue similar a lo registrado en rendimiento, i.e. en S 40 la caída en el número de granos en FS 1, en ambos años, estuvo comprendida en un rango del 22 al 42%. En FS 2 la disminución en el NG fue igual o menor a 30% en el año 2008, mientras que en el 2009, estuvo comprendida entre el 46 y 54%.

En tanto, en S 80 no se registraron diferencias entre fechas de siembra, año y genotipo. La disminución en el NG estuvo comprendida entre un 77 y 85%.

Las variaciones de rendimiento en los diferentes tratamientos se asociaron principalmente a las variaciones en el número de granos logrados por unidad de superficie. Considerando todos los genotipos, la regresión entre NG m^{-2} y rendimiento fue altamente significativa ($p \leq 0,0001$) (Figura 6). Las relaciones entre NG m^{-2} y rendimiento fueron coincidentes para todos los genotipos.

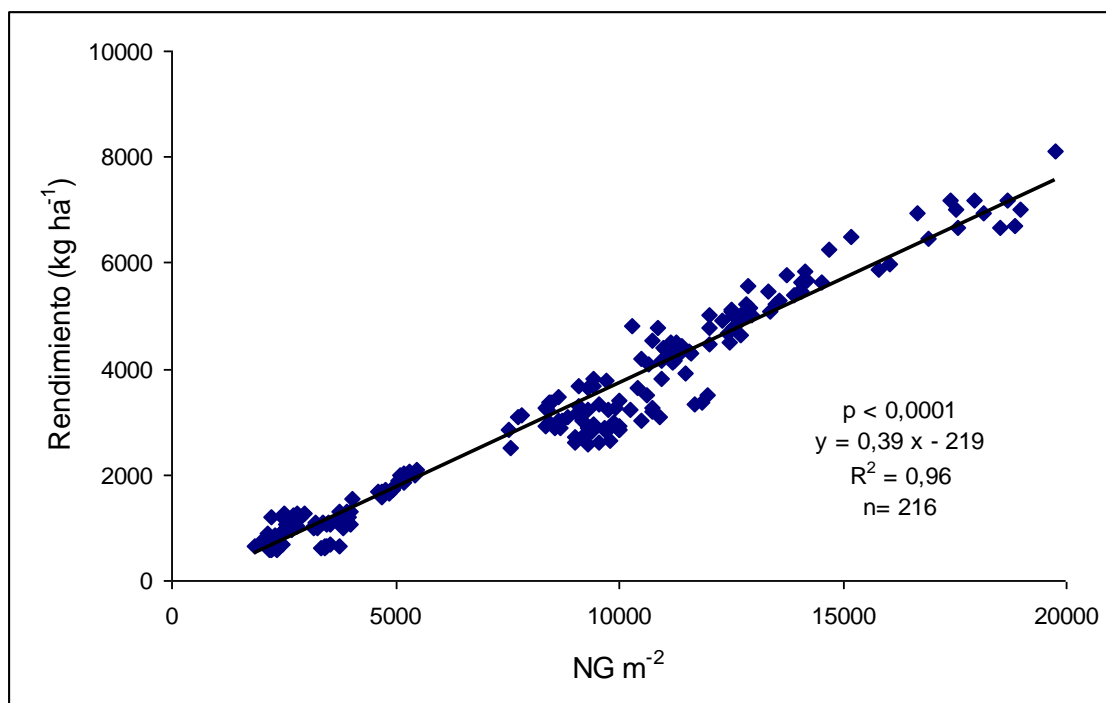


Figura 6. Relación entre número de granos logrados por unidad de superficie (NG m^{-2}) y el rendimiento para 6 genotipos de trigo ciclo corto expuestos a diferentes condiciones ambientales durante el período de crecimiento de la espiga (PCE). Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11'S 59° 52'W).

2.3.3.3 Peso de grano

La respuesta de los diferentes genotipos a las modificaciones en las condiciones ambientales impuestas durante el período de crecimiento de la espiga no fue uniforme. En algunos genotipos, el PG disminuyó, mientras que en otros se incrementó. Esta respuesta del PG marca una importante diferencia con lo registrado en rendimiento y número de granos por unidad de superficie.

En S 40, en ambas fechas de siembra de los años 2008 y 2009 se registraron incrementos $\leq 14\%$ en el PG. La excepción en esa respuesta fueron ACA 901, Baguette Premium 13, Klein Tauro en la FS 1; mientras que Cronox, INIA Cóndor y Klein Tauro lo fueron en la FS 2. En estos genotipos la disminución del PG fue $\leq 13\%$.

El efecto S 80 provocó una disminución del PG en ambas FS del año 2008 en todos los genotipos, en el orden del 15 y 40%. Baguette Premium 13 e INIA Cóndor fueron los genotipos más afectados, mientras que porcentajes intermedios correspondieron a BIOINTA 1001, Cronox y Klein Tauro.

En ambas FS del año 2009, por efecto de S 80 se registró disminución del PG en la mayoría de los genotipos; solamente ACA 901 y BIOINTA 1001 incrementaron el PG entre un 13 y 16%, respectivamente.

La disminución del PG fue mayor en FS 1, alcanzando valores máximos de 20%, mientras que en FS 2 la disminución del PG fue $\leq 10\%$.

Los genotipos presentaron diferente respuesta en el PG según FS y el año considerado, no registrándose una tendencia consistente en las situaciones evaluadas.

En el conjunto de datos, las variaciones en el PG explicaron tan solo el 36% de la variación en rendimiento entre los tratamientos. Los genotipos mostraron una relación entre PG y rendimiento coincidente, aunque en algunos la relación fue más ajustada (e.g. Klein Tauro y Baguette Premium 13).

2.3.3.4 Número de espigas por unidad de superficie

En todas las FS, en ambos años, el número de espigas por unidad de superficie (Nesp m^{-2}) disminuyó en promedio un 10% en S 40 y 50% en S 80. La principal causa de esta disminución fue la detención del crecimiento y muerte de la espiga en el interior del tallo (Foto 9-Anexo)

2.3.3.5 Número de granos por espiga

El NGesp^{-1} varió de manera similar al NG, en las situaciones evaluadas. En FS 1 y FS 2, la reducción en el número de granos por espiga (NGesp^{-1}) por efecto del sombreado fue similar entre años.

El NGesp^{-1} en S 40 se redujo entre un 9 a 36% con relación al control, mientras que en S 80 la disminución fue del 40 a 73%, respecto al control.

2.4 Discusión

Los experimentos realizados permitieron obtener un amplio rango de temperaturas, principalmente en la $T_{M\acute{a}x\ md}$, durante el PCE. En trabajos previos, similares a este, Fischer (1985) y Abbate *et al.*, (1994, 1997) trabajaron en un rango de T_{md} entre 12,4°C y 17,6°C durante el PCE, respectivamente.

Estos valores de T_{md} , no difieren mucho del rango obtenidos en el desarrollo de estos experimentos, es decir entre 11,9 °C y 19,5 °C, en FS 1 y FS 2 respectivamente.

El modelo de componentes ecofisiológicos considera que el NG varía principalmente por efecto del crecimiento durante el PCE, aunque Fischer (1985) mencionó además el efecto negativo del aumento de la temperatura en un rango entre 14 a 22°C y del fotoperíodo, sobre el NG. El impacto negativo del incremento de la temperatura sobre el NG ha sido atribuido a la aceleración del desarrollo, lo que provoca una reducción en la duración del PCE, acortando así el período de mayor acumulación de asimilados (Fischer y Maurer 1976; Warrington *et al.*, 1977; Midmore *et al.*, 1984).

Sin embargo, Thome y Wood (1987) reportaron otros efectos debido al incremento de la temperatura. Estos autores mencionaron que altas temperaturas en el período de preantesis pueden disminuir la viabilidad del polen, resultando en consecuencia, un menor número de granos por espiga. Posteriormente, Wardlaw *et al.*, (1989) citaron que por cada 1°C de aumento de la T_{md} por encima de los 15°C, el rendimiento se reducía entre un 3 y 4 %. Magrin *et al.*, (1993) en un estudio realizado con genotipos de trigo de fines de la década de 1980, determinaron que incrementos en 1°C en la temperatura, se correspondía con reducciones del 10% del rendimiento.

Aunque Saini y Aspinall, (1982) y Saini *et al.*, (1983) han documentado efectos directos de la temperatura sobre el NG, la mayoría de estos autores citados no explican porque se reduce el rendimiento al aumentar la temperatura, i.e. si se debe a una menor duración del PCE, a un efecto directo sobre la fijación de granos o a una combinación de ambos efectos.

Las respuestas en las variables analizadas en este capítulo muestran consistencia con lo encontrado por Caviglia y Brach (2008) al estudiar la asociación entre rendimiento real y las variables ambientales en el Norte de Santa Fe. En ese trabajo, el rendimiento del cultivo se redujo a razón de 335 kg ha⁻¹ por cada grado de incremento en la $T_{M\acute{a}x\ md}$.

En los trabajos experimentales realizados por Fischer (1985) y por Abbate *et al.*, (1994, 1995 y 1997) no se consideraron la $T_{M\acute{a}x\ md}$. En el presente capítulo se demostró que la $T_{M\acute{a}x\ md}$ en todas las FS y nivel de sombreado superó a la T_{md} en aproximadamente 10°C, de modo especial en el año 2009.

Las diferencias entre los dos años considerados, en consecuencia podrían ser atribuidas a la mayor $T_{M\acute{a}x\ md}$, la que podría haber afectado la fijación de granos, mas allá de las reducciones en la duración del período.

En coincidencia con esto, Dolferus *et al.*, (2011) mencionan los efectos negativos que un estrés abiótico provoca sobre la determinación del número potencial de granos en cereales autopolinizados. En especial cuando los mismos se presentan en las etapas tempranas de desarrollo reproductivo.

Los niveles de radiación incidente durante el PCE en condiciones naturales, fueron similares a los mencionados por Fischer (1985) y menores a los citados por Abbate *et al.*, (1997). La diferencia con los trabajos anteriormente mencionados, estuvo en la intensidad de sombreado. Ambos autores en sus experimentos no superaron el 60% de reducción en la radiación solar incidente, con excepción de un experimento (85%) en Abbate *et al.*, (1997), cuyos datos fueron poco utilizados.

La aplicación de los diferentes niveles de sombreado en el PCE tuvo mayor efecto sobre el rendimiento, número de granos m^{-2} y número de granos por espiga que sobre los otros componentes del rendimiento. Similar conclusión fue citada por Estrada-Campuzano *et al.*, (2008) al estudiar la determinación del rendimiento en triticale, ante variaciones en la radiación incidente.

El porcentaje de reducción en el rendimiento en el nivel de sombreado intermedio (S 40) fue similar al citados por Abbate *et al.*, (1997) para la zona de Balcarce.

Tal como lo demostrara Fischer (1975), el NG fue el componente principal del rendimiento. Los datos analizados en este capítulo permitieron concluir que el 93 % de la variación del rendimiento fueron asociadas a la variación en el NG m^{-2} ; mientras que solo un 36% por variaciones en el PG.

El PG en este experimento fue modificado por efecto del sombreado, llegando incluso a incrementarse en algunos genotipos. Esta respuesta en el PG difirió con lo citado por Abbate *et al.*, (1997), quienes no registraron efectos en el PG ante variaciones en niveles de sombreado, a excepción del tratamiento con 85% de sombreado.

Estas diferencias en el PG por efecto del sombreado podrían ser explicadas por efectos compensatorios, en base a la relación fuente-destino durante el llenado, aunque se ha documentado que el peso del grano del trigo es poco modificado cuando se incrementa la fuente fotosintética durante el llenado de granos (Borrás *et al.*, 2004), tal como ocurrió en los tratamientos de sombreado. Sin embargo, debe considerarse que el set de datos considerados para sostener dicha conclusión incluyó sólo raramente trigos con rendimientos mayores a 4000 kg ha^{-1} .

2.5 Conclusiones

En este capítulo se estudió la interacción entre los genotipos, radiación solar y temperatura, bajo condiciones potenciales de manejo, lo que permitió obtener la máxima respuesta (Rendimiento potencial) en las condiciones climáticas naturales, en el Norte de Santa Fe.

El rendimiento potencial fue menor cuando se registró mayor temperatura durante el período de crecimiento de la espiga. El amplio rango de temperaturas logradas en este experimento durante el período de crecimiento de las espigas, permitió demostrar el impacto negativo que el incremento de las mismas ejerce no solo en la duración del período de crecimiento de la espiga, sino también, en el número de granos fijados.

Asimismo, la disminución de la radiación incidente durante el PCE afectó principalmente rendimiento y número de granos m^{-2} . El peso de grano, no solo disminuyó por efecto del sombreado, sino que se incrementó en algunos genotipos. Esto podría ser explicado por el comportamiento en la relación fuente-destino durante el llenado de grano.

En el conjunto de los datos obtenidos en los diferentes tratamientos, las variaciones en el rendimiento potencial se asociaron principalmente a las variaciones en el número de granos logrados por unidad de superficie, más que por las variaciones encontradas en el peso de los granos.

En este capítulo se describieron las condiciones ambientales durante el PCE y el efecto de las mismas sobre el rendimiento potencial y sus componentes numéricos. En el capítulo siguiente se analizará el efecto de los tratamientos sobre el crecimiento del cultivo y su relación con la determinación del rendimiento potencial.

Capítulo III

Crecimiento del cultivo durante el período de crecimiento de la espiga y componentes ecofisiológicos

En el capítulo anterior se determinó el rendimiento potencial de 6 genotipos de trigo de ciclo corto, en un ambiente del Norte de Santa Fe y se analizaron los efectos de las condiciones ambientales y de tratamientos de sombreado sobre los componentes numéricos del rendimiento.

En este capítulo se analizarán los efectos de la radiación y temperatura, a través de las variaciones impuestas por tratamientos de sombreados y de fecha de siembra, sobre la tasa de crecimiento del cultivo, sus componentes ecofisiológicos y los componentes florales. Asimismo, se analizará la partición de asimilados y componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo. El impacto de estas relaciones, en genotipos de difusión actual, permitirá establecer si difieren en su capacidad para fijar granos bajo las condiciones ambientales del Norte de Santa fe

3.1 Introducción

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) de trigo durante el periodo de crecimiento de la espiga, cociente entre la materia seca acumulada en el período y la duración del mismo (Abbate *et al.*, 1995), está fuertemente relacionada con la interceptación de la radiación solar (Gallagher y Biscoe, 1978; Fischer, 1983, 1985; Abbate *et al.*, 1997) y con la eficiencia del cultivo para transformar la radiación interceptada en materia seca (Andrade *et al.*, 1996).

Del total de la radiación solar incidente, aproximadamente el 50% es utilizada por los vegetales en el proceso de la fotosíntesis, y corresponde a la fracción del espectro visible entre 400 y 700 nm de longitud de onda. A esta fracción del espectro visible se la denomina radiación fotosintéticamente activa (PAR).

Cuando un cultivo crece en condiciones potenciales, se puede estimar su TCC como el producto de los denominados componentes ecofisiológicos (Monteith, 1972), i.e. i) la radiación fotosintéticamente activa incidente por unidad de superficie del suelo, ii) por la proporción de la PAR interceptada por el cultivo (eficiencia de interceptación de PAR, e_i) y iii) la producción de materia seca por unidad de PAR interceptada (eficiencia de uso de la radiación, EUR).

La radiación solar incidente varía básicamente por la latitud y época del año. Es así que de ciertas prácticas culturales como la fecha de siembra y la elección del ciclo del genotipo permiten lograr adecuados niveles de radiación durante el periodo crítico (Cárcova *et al.*, 2003).

La interceptación de la radiación durante el periodo crítico se logra principalmente a través de las hojas, siendo el índice de área foliar (IAF) la mejor forma de caracterizar la superficie de hojas disponibles para la interceptación de la luz por parte del cultivo. El IAF indica la superficie de hojas en relación a la unidad de superficie del suelo. El IAF que permite interceptar el 95% de la radiación incidente es denominado crítico (IAF_c), y a partir de ese valor se logra alcanzar la máxima tasa de crecimiento (Cárcova *et al.*, 2003).

Monteith (1977) reportó una relación lineal entre la materia seca y la radiación interceptada acumulada, obteniendo en promedio, un valor de pendiente de 1,4 g MJ⁻¹ en 4 cultivos C₃, creciendo en condiciones potenciales de manejo. Este autor definió a esta pendiente como eficiencia de uso de la radiación (EUR).

El concepto de eficiencia de uso de la radiación ha sido ampliamente utilizado cuando se analiza el crecimiento del cultivo (Kemanian *et al.*, 2004). La eficiencia de uso de la PAR interceptada (EUR) es una efectiva expresión de la capacidad de acumular biomasa por parte de la canopia del cultivo (Gallagher y Biscoe, 1978; Sinclair y Tatsuhiko, 1993).

Los valores de EUR informados para trigo varían entre 2,3 g MJ⁻¹ en México (Fischer, 1985) y 2,3-3,1 g MJ⁻¹ en zonas trigueras contrastantes de Argentina (Abbate *et al.*, 1994; Caviglia *et al.*, 2001; Lázaro, *et al.*, 2010).

Existen diferencias en las eficiencias de conversión entre especies, debido al tipo de metabolismo fotosintético. Especies con metabolismo C₃ (e.g. trigo y cebada) poseen valores más bajos de EUR que las plantas C₄ (e.g. maíz y sorgo). Las plantas C₃ presentan fotorespiración, una menor eficiencia en el uso del agua y una menor eficiencia fotosintética bajo altos niveles de intensidad lumínica, lo que se traduce en una menor fotosíntesis neta en relación a las C₄ (Cárcova *et al.*, 2003).

La EUR puede cambiar, si la composición química del producto que se esta sintetizando cambia (Kiniry *et al.*, 1989). Así por ejemplo con 1 g de glucosa pueden sintetizarse 0,42 g de proteínas; 0,33 g de aceite y 0,83 g de celulosa (Sinclair y Muchow, 1999).

En el caso del trigo (Caviglia y Sadras, 2001a) y de muchos otros cereales (e.g. Maíz, Andrade, 1995) no han informado cambios en la EUR a lo largo del ciclo del cultivo, debido a que el material sintetizado es similar durante toda la ontogenia del cultivo.

Se ha informado que la eficiencia de uso de la radiación está influenciada por factores tales como nivel y distribución de nitrógeno en planta, disponibilidad de agua y sombreos parciales (Healey *et al.*, 1998; Sinclair y Muchow, 1999).

En experimentos que incluían tratamientos con sombreos parciales, se demostró incrementos en la proporción de la radiación difusa y en la eficiencia de uso de la radiación en gramíneas, soja, y poroto (Healey *et al.*, 1998, Sophanodora, 1989; Sinclair y Tatsuhiko, 1993).

3.1.1 Partición a espiga y fijación de granos

Existe una estrecha relación entre la TCC y la tasa de crecimiento de la espiga (TCE), con la que se relaciona positivamente (Abbate *et al.*, 1997). La proporción de peso total del cultivo que es asignado a la espiga durante el PCE se denomina partición a la espiga (TCE_TCC) (Abbate *et al.*, 1995, 1997).

El porcentaje de partición a espiga refleja los fotosintatos que son asignados a las flores generadas. La cantidad de fotosintatos determinan la supervivencia de las flores y en consecuencia el número de granos por unidad de superficie (NG).

Durante el período de crecimiento de las espigas, entre el 35 y 46% del peso seco acumulado por el cultivo es particionado a las espigas, correspondiendo mayores proporciones a menores TCC. Este comportamiento, sugiere que la espiga resulta en un destino prioritario de los asimilados a medida que el cultivo se acerca a antesis (Fischer, 1985; Abbate *et al.*, 1995).

Durante el periodo crítico, las flores de trigo se desarrollan dentro de las espiguillas, las que se ubican en forma alterna sobre el eje central de las espigas. Las espiguillas son estructuras indeterminadas, con una capacidad indefinida para diferenciar primordios florales. Sin embargo, normalmente solo entre 2 y 5 se desarrollan completamente y alcanzan el estado de flor fértil en antesis (Sibony y Pinthus, 1987).

En general, la muerte o degeneración de las flores coincide con el período de máximo crecimiento tanto del tallo como de la espiga, señalando que el número final de flores fértiles, en este período de competencia entre ambos órganos, está limitado por el suministro de asimilados (Kirby, 1988).

Como el mayor incremento del peso seco de la espiga se produce durante el período de crecimiento de la espiga, se sugirió que la oferta de asimilados durante ese período, determina el número de flores fértiles y por lo tanto, los granos formados por espiga (Rawson y Bagga, 1979; Stockman *et al.*, 1983).

El modelo de componentes ecofisiológicos (Monteith, 1972) presentado considera, en definitiva, que el resultado final i.e. el número de granos fijados, sólo varía por efecto del crecimiento. Sin embargo, fue demostrado el efecto negativo que el incremento de temperatura tiene sobre el crecimiento total durante el periodo crítico y en consecuencia sobre la cantidad total de fotosintatos asignados a la espiga.

En efecto, Fischer y Maurer (1976) mencionaron que la tasa de crecimiento de un cultivo que intercepta la mayor proporción de la radiación incidente no es afectada en el rango de temperatura entre los 15 y 25°C. Estos autores señalaron que esas temperaturas no modifican la tasa de fotosíntesis, pero si provocan una aceleración en el desarrollo. Por lo que una reducción en el período de crecimiento de la espiga significaría menor período para acumulación de asimilados (Fischer, 1985).

Fischer (1985) y Abbate *et al.*, (1995) estudiaron la relación entre la tasa de crecimiento del cultivo de trigo, la radiación y la temperatura durante el PCE. Dichas relaciones fueron, sin embargo, determinadas en sólo unos pocos genotipos liberados en las décadas de 1970-1980, en ambientes con características muy diferentes a las que se presentan en el Norte de Santa Fe.

En consecuencia es de interés evaluar el impacto que la radiación solar y la temperatura tienen sobre la TCC, la TCE y porcentaje de partición de asimilados a la espiga, en seis genotipos de difusión actual, probablemente con mejores atributos en su crecimiento y adaptación al estrés abiótico, que aquellos utilizados hace ya varias décadas atrás.

Asimismo no se conocen trabajos en los que se haya relacionado a la determinación de componentes florales por unidad de TCC.

3.1.2 Objetivos

El objetivo de este capítulo es estudiar los efectos de la radiación y temperatura, a través de las variaciones impuestas por tratamientos de sombreos y de fecha de siembra, sobre la tasa de crecimiento del cultivo, sus componentes ecofisiológicos y los componentes florales. Asimismo, analizar la partición de asimilados y componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo. El impacto de estas relaciones, en genotipos de difusión actual, se analizará, a modo de establecer si difieren en su capacidad para fijar granos bajo las condiciones ambientales del Norte de Santa Fe.

3.2 Materiales y Métodos

Sobre los experimentos descriptos en el capítulo II, se realizaron las siguientes determinaciones.

3.2.1 Determinación del periodo de crecimiento de la espiga

A partir de los 30 días de producida la emergencia del cultivo, en cada unidad experimental se tomaron 5 plantas al azar, con el objetivo de determinar el estadio de espiguilla terminal. Este estadio se registra cuando se observa el primordio floral en la espiguilla apical, quedando definido el número total de espiguillas por espiga (Waddington y Cartwright, 1983; Sibony y Pinthus, 1988) (Foto 1-Anexo).

En laboratorio se realizó la disección de los tallos principales, observándose el desarrollo del ápice en una lupa binocular estereoscópica de 50X (Nikon SMZ 645, Japón).

La fecha de antesis del cultivo (Zadoks 65; Zadoks *et al.*, 1974) fue registrada, cuando en el 50% de las espigas en los tallos principales, tenían al menos una antera expuestas. La fecha de madurez fisiológica (MF) fue registrada cuando se observó que el 50% de los pedúnculos de las espigas en la unidad experimental habían perdido su color verde (Zadoks 86).

El período de crecimiento de la espiga (PCE) fue determinado según metodología propuesta por Abbate *et al.*, (1997), i.e. como el intervalo durante el cual la espiga acumula desde el 5 al 100% de su peso seco.

Para la determinación del peso de la espiga, en cada unidad experimental, se tomaron 10 tallos principales al azar cada 48 hs después de determinado el estado de espiguilla terminal. En laboratorio, las espigas fueron extraídas y colocadas en estufa a 60°C hasta peso constante. Se comprobó que cuando el cultivo contaba con 3 nudos desarrollados (Zadoks 33) y la espiga en su interior medía aproximadamente 0,5 cm, la misma había alcanzado entre 2 y 5% de su peso final. Es decir que el PCE correspondió al período comprendido entre los estados fenológicos Zadoks 33 (tercer nudo detectable) y Zadoks 65 +7 días (7 días posteriores a antesis). (Zadoks, 1974)

3.2.2 Biomasa acumulada

Para determinar la biomasa producida, se tomaron muestras de una superficie de 0,30 m x 0,30 m, al inicio y final del PCE. Las muestras fueron cortadas a nivel del suelo, sobre las líneas de siembra centrales, dejando 0,50 m entre muestreos sucesivos para evitar el efecto de borde.

El peso seco de las muestras fue determinado después de permanecer 3 días en estufa eléctrica de ventilación forzada (Dalvo. Modelo HXRF. (Santa Fe, Argentina) a 60 °C. Las muestras fueron pesadas en una balanza de precisión (OHAUS Modelo Adventurer New Jersey, Estados Unidos).

3.2.3 Tasa de crecimiento del cultivo. Tasa de crecimiento de la espiga

La tasa de crecimiento del cultivo y la tasa de crecimiento de la espiga fueron calculadas como el cociente entre la biomasa (materia seca de canopia o de espigas) acumulada y la sumatoria de grados días obtenida durante el PCE; ya que la duración de esta etapa es básicamente función de la temperatura (Fischer, 1985)

La suma de los grados días (°C d) fue calculada como la suma de las diferencias entre la temperatura media diaria y la temperatura base de desarrollo (4,5°C) durante el PCE (Fischer, 1985).

La proporción de partición del peso seco a espiga fue calculada como el cociente entre la TCE y TCC, i.e. TCE_TCC (Fischer, 1985; Abbate *et al.*, 1994).

3.2.4 Eficiencia uso de la radiación (EUR)

La EUR fue calculada como el cociente entre biomasa área acumulada y la cantidad total de PAR interceptada durante el período de crecimiento de la espiga (Monteith, 1977).

3.2.5 Componentes florales de la espiga

Con la finalidad de determinar los componentes florales de la espiga, en antesis del cultivo, en cada unidad experimental se tomaron muestras al azar de 5 espigas principales con similar número de espiguillas. Esta condición, permite inferir que las espigas pertenecen al tallo principal.

En cada espiga se contaron la cantidad total de espiguillas (EspT) y discriminando entre espiguillas fértiles (EspF), i.e. todas aquellas que en su interior poseían al menos una flor fértil y espiguillas infértiles (EspI), i.e. aquellas espiguillas verdes, sin flores en su interior.

Se registró el número de flores fértiles en cada espiguilla. El número de flores fértiles (NFF) por espiga se calculó como el promedio de cantidad de flores fértiles por espiga.

Se consideró como flor fértil a aquella flor que poseía el estilo bifido bien desarrollado y curvado; las anteras verdes, turgentes con grano de (Waddington y Cartwright, 1983; Sibony y Pinthus, 1988) (Foto 8-Anexo).

De cada espiga, se realizó un mapeo de espiguillas fértiles e infértiles y número de flores fértiles. Los datos de las 5 espigas fueron promediados.

Finalmente, cada componente floral se lo relacionó con la TCC, i.e. EspF_TCC, EspI_TCC y NFF_TCC. Estos cocientes indican la cantidad de estructuras florales por unidad de tasa de crecimiento, lo que refleja la habilidad del cultivo para fijar granos ante cambios en las condiciones de crecimiento.

3.2.6 Análisis estadístico

El efecto entre los factores evaluados, i.e., fechas de siembra, nivel de sombreado y genotipos fueron evaluados mediante ANOVA. Cuando el ANOVA indicó efecto significativo de alguno de los factores, las medias fueron comparadas utilizando el test de Tukey ($\alpha=0.05$).

Las relaciones entre variables fueron analizados mediante análisis de regresión y correlación, tendientes a establecer las relaciones funcionales entre los factores ambientales con la tasa de de crecimiento, partición de asimilados a espiga y componentes florales.

Un modelo bilineal fue utilizado para describir las relaciones de los componentes florales por unidad de tasa de crecimiento en función de la TCC, donde:

$$y = a + b X \quad \text{Si } X \leq C$$

$$y = d + e X \quad \text{Si } X \geq C$$

donde a y d es la ordenada al origen de las regresiones lineales y b y e la pendiente. C es el umbral, ajustado por mínimos cuadrados, en el que cambia la función lineal utilizada.

Los procedimientos estadísticos fueron realizados utilizando el paquete informatizado SAS (SAS Institute, 2003)

3.3 Resultados

3.3.1 Duración período crecimiento espiga

La duración promedio del período de crecimiento de la espiga (PCE) difirió entre fechas de siembra, siendo en promedio de 29 y 23 días en fecha óptima de siembra (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), respectivamente (Figura 7).

Cuando la duración del PCE se expresó en tiempo térmico, la suma térmica promedio fue de 351 y 463 °C d en FS 1 y FS 2, respectivamente.

En el año 2008, la suma térmica promedio fue 356 °C d, mientras que en el año 2009 alcanzó los 444 °C d.

Se registraron diferencias \leq a 30°C d en la duración del PCE entre genotipos en el tratamiento control. Mientras que las diferencias en el PCE entre los niveles de sombreado fueron en promedio \leq 70° C d, respecto al control.

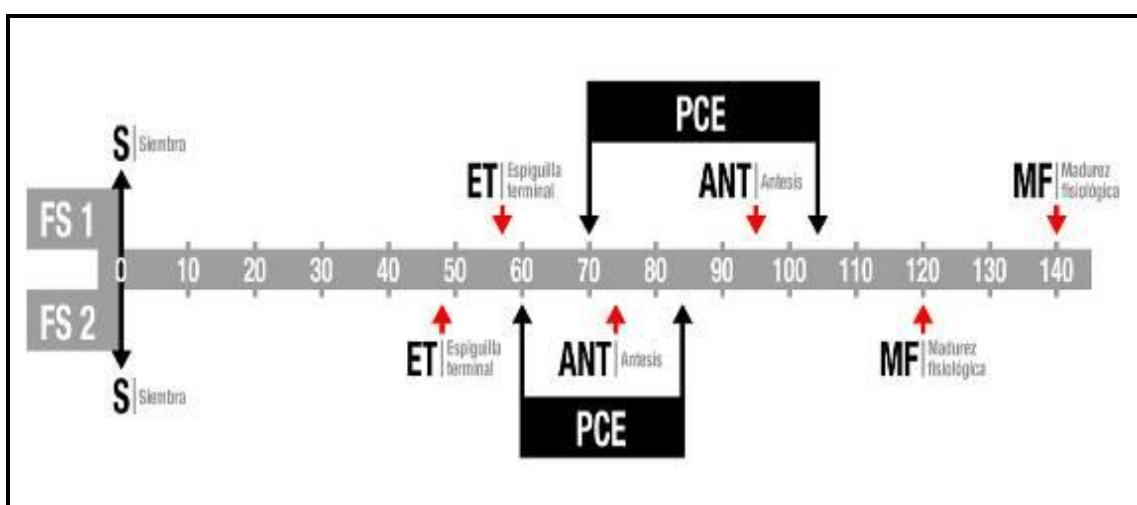


Figura 7. Duración promedio, en días a espiguilla terminal (ET), antesis (Ant), madurez fisiológica (MF) y período crecimiento de la espiga (PCE) de 6 genotipos de trigo ciclo corto, en fecha de siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2) en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11' S 59° 52' W).

3.3.2 Efecto de los tratamientos sobre la tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

El efecto del sombreado fue altamente significativo sobre la TCC en todas las fechas de siembra, en ambos años ($p \leq 0,0001$) (Tabla 5).

La TCC promedio en FS 1 se redujo en relación al control entre un 36 y 72% en los niveles S 40 y S 80 respectivamente. En FS 2 se registraron valores similares, que estuvieron entre un 32 y 69%, en iguales situaciones (Tabla 5)

Las TCC entre FS en el tratamiento control, se incrementaron un 7 % en FS 2 en el año 2008, en tanto que las TCC en el 2009 fueron similares entre FS.

En el año 2009, las TCC en el tratamiento control, fueron en promedio un 14 % menor en FS 1 y 21% menor en FS 2, con respecto a igual FS del año 2008.

En FS 1 del año 2008, solo se registraron diferencias estadísticas entre las TCC de BIOINTA 1001 e INIA Cóndor ($p < 0,05$). En FS 1 del año 2009 los genotipos no se diferenciaron en la TCC, que en promedio fue de $0,86 \text{ g m}^{-2} \text{ °C}^{-1}$.

En FS 2 del año 2008 solamente Cronox e INIA Cóndor se diferenciaron estadísticamente en su TCC ($p < 0,05$). En FS 2 del año 2009, se registró interacción significativa entre nivel de sombreado y genotipo. La TCC se redujo entre un 10-34% y 62-72 % en relación al control en los niveles S 40 y S 80, respectivamente.

Los genotipos presentaron diferencias en la TCC, según la FS y el año considerado, no evidenciándose un comportamiento consistente en las situaciones evaluadas.

Tabla 5. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008-2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29  11' S 59  52' W).

FS	FS 1		FS 2	
Año	2008	2009	2008	2009
Nivel de sombreado	TCC ($g\ m^{-2}\ ^{\circ}C\ d$)			
Control	1,51 a	1,30 a	1,63 a	1,28
S 40	0,95 b	0,85 b	0,93 b	0,99
S 80	0,38 c	0,41 c	0,46 c	0,42
Genotipo				
ACA 901	0,93 ab	0,90 a	1,03 ab	0,93
Baguette Premium 13	0,96 ab	0,86 a	1,02 ab	0,91
BIOINTA 1001	0,98 a	0,81 a	0,98 ab	0,88
Cronox	0,94 ab	0,88 a	1,04 a	0,87
INIA Cóndor	0,92 b	0,89 a	0,96 b	0,91
Klein Tauro	0,97 ab	0,80 a	1,0 ab	0,90
ANOVA				
Genotipo	*	ns	*	Ns
Sombreo	***	***	***	***
Genotipo x Sombreo	ns	ns	ns	***

* ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ y 0,0001) respectivamente; ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en columnas indican diferencias según test de Tukey ($\alpha = 0,05$)

3.3.3 Tasa de crecimiento del cultivo y su relación con sus componentes ecofisiológicos

3.3.3.1 Radiación fotosintéticamente activa interceptada

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) durante el período de crecimiento de la espiga se relacionó lineal y positivamente con la cantidad de radiación solar fotosintéticamente activa interceptada (PAR), ($P < 0,001$; $R^2 0,82$) (Figura 8).

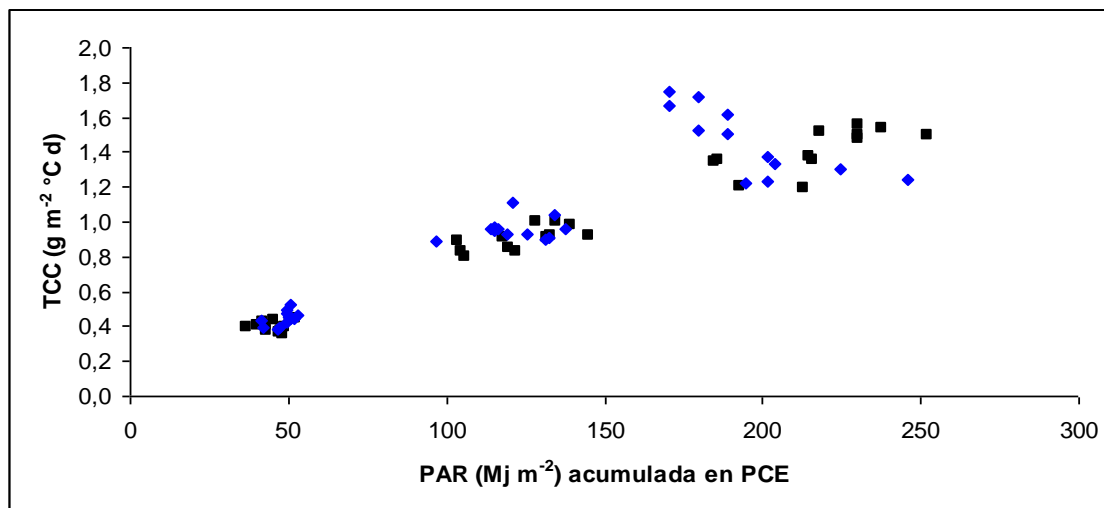


Figura 8. Relación entre la radiación fotosintéticamente activa acumulada durante el período de crecimiento de la espiga (PCE) y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Los datos corresponden a los genotipos sembrados en fecha de siembra óptima (FS 1) y fecha siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11' S 59° 52' W). Rombos azules y cuadrados negros corresponden a FS 1 y FS 2 respectivamente.

3.3.3.2 Eficiencia de uso de la radiación

Se obtuvo una relación lineal entre la biomasa y radiación fotosintéticamente activa acumulada durante el PCE. El valor de la pendiente de dicha relación fue similar cuando se promediaron los valores de todos los tratamientos, discriminados en FS 1 (2008-2009) y FS 2 (2008-2009). Obteniéndose valores de pendiente de 2,25 g y 2,3 g MJ⁻¹ en FS 1 y FS 2 respectivamente (Figura 9).

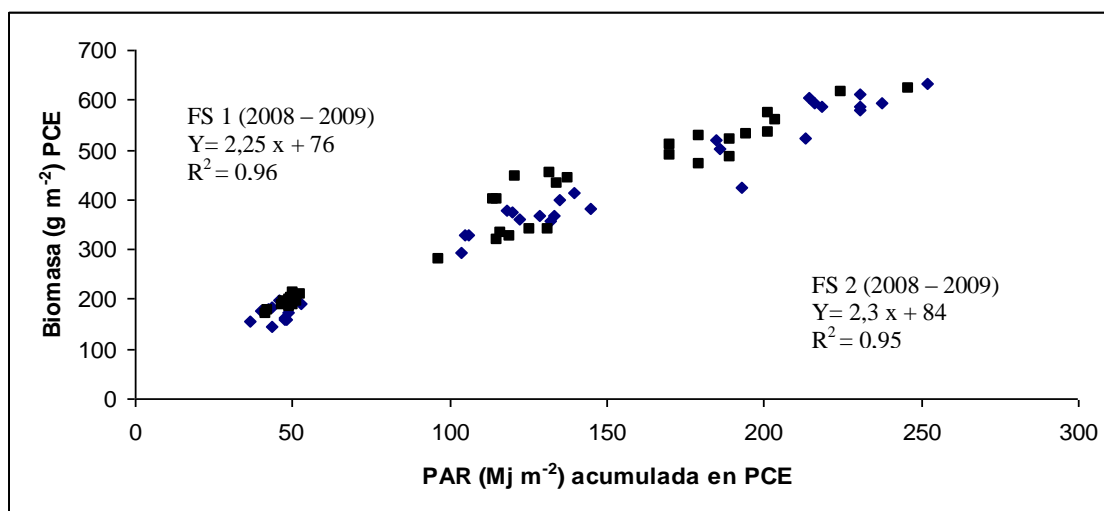


Figura 9. Relación entre biomasa acumulada y la radiación fotosintéticamente activa acumulada durante el período de crecimiento de la espiga. Los datos corresponden a los genotipos sembrados en fecha de siembra óptima (FS 1) y fecha siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11' S 59° 52' W). Rombos azules y cuadrados negros corresponden a FS 1 y FS 2 respectivamente.

Sin embargo, cuando se analizó la EUR por nivel de sombreado, se registró que la misma se incrementó por efecto de los sombreados. No hubo variaciones significativas por efecto de la fecha de siembra, el genotipo y el año (Tabla 6).

Tabla 6. Eficiencia de uso de la radiación (EUR) de 6 genotipos de trigo ciclo, expuestos a tres niveles de sombreado durante el período de crecimiento de la espiga (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación), en fecha de siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 - 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11' S 59° 52' W).

FS	FS 1		FS 2	
Año	2008	2009	2008	2009
Nivel de sombreado	EUR (g MJ ⁻¹)			
Control	2,57 c	2,62 c	2,64 b	2,70 c
S 40	2,82 b	3,06 b	2,75 b	3,42 b
S 80	3,42 a	4,28 a	3,82 a	4,10 a
Genotipos				
ACA 901	2,93	3,42	2,85	3,48
Baguette Premium 13	2,96	3,37	3,18	3,52
BIOINTA 1001	3,03	3,30	3,04	3,27
Cronox	2,81	3,30	3,20	3,39
INIA Cóndor	2,87	3,32	3,04	3,31
Klein Tauro	3,03	3,20	3,11	3,46
ANOVA				
Genotipo	ns	ns	ns	ns
Sombreado	***	***	***	***
Genotipo x sombreado	ns	ns	ns	ns

***, indica diferencias significativas ($p \leq 0,0001$); ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en columnas indican diferencias según test de Tukey ($\alpha = 0,05$)

3.3.4 Tasa de crecimiento de la espiga (TCE)

El efecto del sombreado fue altamente significativo en la tasa de crecimiento de la espiga en todas las fechas de siembra y años ($p \leq 0,0001$) (Tabla 7). La TCE varió de manera similar a la TCC en los diferentes niveles de sombreado.

En FS 1 la TCE se redujo entre un 30-38% en S 40 y 80-84% en S 80, respecto al control. En FS 2, en el nivel de sombreado S 40, las TCE fueron similares a las registradas en FS 1; mientras que en S 80, se redujeron entre un 68 y 78 % con respecto al tratamiento control (Tabla 7).

En el tratamiento control, la TCE en FS 1 (promedio 2008-2009) fue de 0,62 g m⁻² °C⁻¹, mientras que en FS 2 (promedio 2008-2009) fue de 0,82 g m⁻² °C⁻¹ en FS 2, i.e. un 32% mayor (Tabla 7).

En la FS 1 del año 2008 los genotipos no se diferenciaron estadísticamente en la TCE ($p \leq 0,05$). En tanto, si se registraron diferencias significativas en el año 2009. El genotipo ACA 901 no se diferenció en la TCE de Klein Tauro, pero sí de los restantes genotipos ($p \leq 0,05$) (Tabla 7).

En FS 2 en ambos años se registraron diferencias estadísticas significativas en la TCE ($p \leq 0,05$) entre genotipos. En FS 2 del año 2008, los genotipos ACA 901 y BIOINTA 1001 no se diferenciaron estadísticamente entre sí, pero si lo hicieron respecto a Cronox e INIA Cóndor ($p \leq 0,05$) (Tabla 7).

En FS 2 del año 2009 los genotipos ACA 901 y Baguette Premium 13 solo se diferenciaron del resto en su TCE ($p < 0,05$) (Tabla 7).

Los genotipos presentaron diferencias en la TCE según FS y año considerado, no evidenciándose un comportamiento consistente entre las situaciones evaluadas (Tabla 7).

Tabla 7. Tasa de crecimiento de la espiga (TCE) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008-2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11' S 59° 52' W).

FS	FS 1		FS 2	
Año	2008	2009	2008	2009
Nivel de sombreado	TCE g m ⁻² °C d			
Control	0,63 a	0,62 a	0,82 a	0,82 a
S 40	0,44 b	0,38 b	0,51 b	0,58 b
S 80	0,12 c	0,10 c	0,18 c	0,26 c
Genotipos				
ACA 901	0,43 a	0,39 a	0,53 a	0,59 a
Baguette Premium 13	0,39 a	0,36 b	0,49 ab	0,51 b
BIOINTA 1001	0,41 a	0,36 b	0,53 a	0,57 ab
Cronox	0,38 a	0,35 b	0,48 b	0,53 ab
INIA Cóndor	0,39 a	0,36 b	0,48 b	0,54 ab
Klein Tauro	0,38 a	0,37ab	0,51 ab	0,57 ab
ANOVA				
Genotipo	ns	*	*	*
Sombreo	***	***	***	***
Genotipo x Sombreo	ns	ns	ns	ns

* ***, indica diferencias significativas ($p \leq 0,05$ y 0,0001) respectivamente; ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en columnas indican diferencias según test de Tukey ($\alpha = 0,05$)

3.3.5 Partición a espiga (TCE_TCC)

La tasa de crecimiento de la espiga se relacionó lineal y positivamente con la tasa de crecimiento del cultivo. La pendiente entre la tasa de crecimiento del cultivo y la tasa de crecimiento de la espiga representa la partición de asimilados a espiga (TCE_TCC) en el rango de datos obtenidos. La relación obtenida es para el conjunto de los datos. (Figura 10).

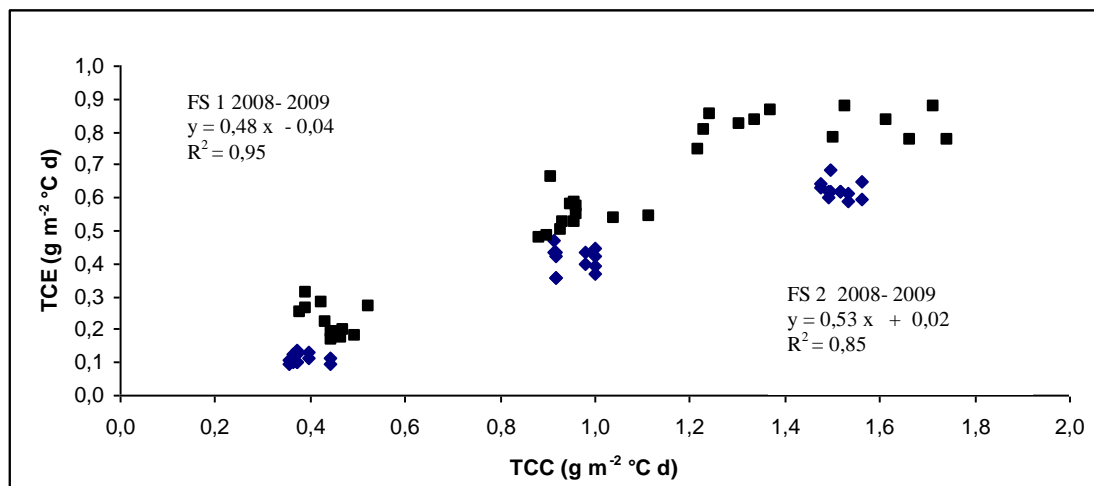


Figura 10. Relación entre la tasa de crecimiento de la espiga (TCE) y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Los datos corresponden a los genotipos sembrados en fecha de siembra óptima (FS 1) y a fecha siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11' S 59° 52' W). Rombo azul: FS1 2008 y 2009. Cuadrado negro: FS 2 2008 y 2009.

Los diferentes genotipos, como respuesta a los niveles de sombreado durante el período de crecimiento de la espiga, modificaron los porcentajes de partición a espiga (Tabla 8). En la mayoría de las FS se incrementó la TCE_TCC en el nivel de sombreado S 40, para posteriormente disminuir en S 80.

En FS 1 del año 2008, la partición a espiga se incrementó un 10% en S 40 con respecto al control, mientras que la tendencia fue inversa en el año 2009, disminuyendo un 4%.

Se registraron similares tendencias en FS 2, en cada año entre S 40 en relación al control. El porcentaje de partición a espiga en FS 1 S 80 disminuyó entre un 22 y 48 % respecto al control en los años 2008 y 2009 respectivamente.

En FS 2 del año 2008, en el nivel de sombreado S 80 solo se modificó en un 21% el porcentaje de partición a espiga, con respecto al control. En FS 2 del año 2009 no se registró variación en el porcentaje de partición a espiga entre niveles de sombreado.

En los tratamientos control, los porcentajes de partición a espiga fueron un 20-33% superiores en FS 2 respecto a FS 1 en 2008 y 2009, respectivamente (Figura 9).

En el año 2009, la partición a espiga fue en promedio, un 12% superior en la FS 1 y un 22% superior en la FS 2, con respecto a igual FS del año 2008.

Los genotipos presentaron diferentes porcentajes de partición a espiga según FS y año considerado, no evidenciándose un comportamiento consistente en las situaciones evaluadas.

Tabla 8. Partición a espiga (TCE_TCC) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreo (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008- 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11' S 59° 52' W).

FS	FS 1		FS 2	
Año	2008	2009	2008	2009
Nivel de sombreo	TCE_TCC %			
Control	0,42 a	0,48 a	0,50 a	0,64
S 40	0,46 b	0,46 a	0,55 b	0,63
S 80	0,32 c	0,25 b	0,39 c	0,64
Genotipo				
ACA 901	0,44 a	0,40	0,50	0,62
Baguette Premium 13	0,39 ab	0,39	0,47	0,59
BIOINTA 1001	0,41 ab	0,41	0,51	0,65
Cronox	0,39 ab	0,37	0,45	0,59
INIA Cóndor	0,41 ab	0,37	0,47	0,60
Klein Tauro	0,37 b	0,42	0,49	0,67
ANOVA				
Genotipo	*	ns	ns	*
Sombreo	***	***	***	ns
Genotipo x sombreo	ns	ns	ns	***

* ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ y $0,0001$) respectivamente; ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en columnas indican diferencias según test de Tukey ($\alpha = 0,05$)

3.3.6 Respuesta de los componentes florales a los diferentes niveles de radiación incidente durante el PCE

La mayoría de los componentes florales, i.e. número de espiguillas fértiles (EspF), número de espiguillas infértiles (EspI) y número de flores fértiles (NFF) por espiga registraron variación como respuesta a los cambios en los niveles de radiación durante el período de crecimiento de la espiga. (Tablas 9, 10,11 y 12).

El sombreo no afectó el número de espiguillas totales (EspT) (Tablas 9, 10,11 y 12).

Tabla 9. Componentes florales en 6 genotipos de trigo de ciclo corto, en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha de siembra óptima (FS 1) en el año 2008 en Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11'S 59° 52'W). EspT: espiguillas totales, EspF: espiguillas fértiles, EspI: espiguillas infértiles, NFF: número de flores fértiles.

FS 1	2008			
Nivel de sombreado	EspT	EspF	EspI	NFF
Control	21,5 a	19,3 a	2,1 c	51,8 a
S 40	21,6 a	18,6 a	2,9 b	36,7 b
S 80	20,4 b	14,6 b	5,8 a	25,8 c
Genotipos				
ACA 901	22,0 a	18,0 ab	4,4 a	40,0 a
Baguette Premium 13	19,0 d	16,7 bc	2,0 b	36,5 c
BIOINTA 1001	21,0 cd	16,9 bc	3,9 a	39,5 a
Cronox	20,0 cd	16,0 c	4,2 a	35,6 c
INIA Cóndor	23,0 a	19,4 a	3,3 a	37 bc
Klein Tauro	22,0 a	17,9 b	4,0 a	40,0 a
ANOVA				
Genotipo	***	***	***	***
Sombreado	**	***	***	***
Genotipo x sombreado	ns	ns	ns	ns

** ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,001$ y $0,0001$) respectivamente; ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en columnas indican diferencias según test de Tukey ($\alpha = 0.05$)

Tabla 10. Componentes florales en 6 genotipos de trigo de ciclo corto, en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha de siembra óptima (FS 1) en el año 2009 en Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11'S 59° 52'W). EspT: espiguillas totales, EspF: espiguillas fértiles, EspI: espiguillas infértiles, NFF: número de flores fértiles.

FS 1	2009			
Nivel de sombreado	EspT	EspF	EspI	NFF
Control	21,0	19,0	2,0	36,7 a
S 40	20,5	16,5	3,9	28,7 b
S 80	19,2	14,1	5,0	22,3 c
Genotipo				
ACA 901	20,8	16,8	4,0	29,0 b
Baguette Premium 13	19,0	15,6	3,3	27,0 b
BIOINTA 1001	20,3	16,4	3,8	29,0 ab
Cronox	19,9	16,6	3,3	29,0 b
INIA Cóndor	21,0	17,9	3,2	32,0 a
Klein Tauro	20,2	15,9	4,3	29,0 ab
ANOVA				
Genotipo	***	***	***	**
Sombreado	***	***	***	***
Genotipo x sombreado	*	*	**	ns

* ** ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$; 0,001 y 0,0001) respectivamente; ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en columnas indican diferencias según test de Tukey ($\alpha = 0.05$)

Tabla 11. Componentes florales en 6 genotipos de trigo de ciclo corto, en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha de siembra tardía (FS 2) en el año 2008 en Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11'S 59° 52'W). EspT: espiguillas totales, EspF: espiguillas fértiles, Espl: espiguillas infértiles, NFF: número de flores fértiles.

FS 2	2008			
Nivel de sombreado	EspT	EspF	Espl	NFF
Control	20,8 a	18,3 a	2,5 b	46,3
S 40	21,0 a	18,0 a	2,9 b	38,5
S 80	20,7 a	15,0 b	5,7 a	21,5
Genotipo				
ACA 901	22,2 ab	17,8 b	4,4 a	37,3
Baguette Premium 13	18,7 e	15,8 cd	2,8 b	31,8
BIOINTA 1001	21,0 cd	17,0 cd	3,0 ab	37,7
Cronox	19,7 ed	15,5 d	4,2 a	34,4
INIA Cóndor	22,4 a	19,7 a	2,7 b	34,3
Klein Tauro	21,3 bc	16,7 bcd	4,5 a	37,0
ANOVA				
Genotipo	***	***	***	***
Sombreado	ns	***	***	***
Genotipo x sombreado	ns	ns	ns	**

** ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,001$ y $0,0001$) respectivamente; ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en columnas indican diferencias según test de Tukey ($\alpha = 0.05$)

Tabla 12: Componentes florales en 6 genotipos de trigo de ciclo corto, en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha de siembra tardía (FS 2) en el año 2009 en Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11'S 59° 52'W). EspT: espiguillas totales, EspF: espiguillas fértiles, EspI: espiguillas infértiles, NFF: número de flores fértiles.

FS 2	2009			
Nivel de sombreado	EspT	EspF	EspI	NFF
Control	20,0 a	17,6 a	2,4	37,4
S 40	19,7 a	16,2 b	3,5	29,6
S 80	19,7 a	14,8 c	4,8	26,1
Genotipo				
ACA 901	21,0 a	17,0 a	4,3	39,2
Baguette Premium 13	17,7 b	15,0 b	2,6	28,4
BIOINTA 1001	20,4 a	16,6 a	3,8	32,0
Cronox	18,2 b	14,6 b	3,6	30,8
INIA Cóndor	21,0 a	17,4 a	3,6	31,7
Klein Tauro	20,3 a	16,8 a	3,4	30,2
ANOVA				
Genotipo	***	***	**	***
Sombreado	ns	***	***	***
Genotipo x sombreado	ns	ns	*	*

* ** ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$; 0,001 y 0,0001) respectivamente; ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en columnas indican diferencias según test de Tukey ($\alpha = 0,05$)

En el nivel de sombreado S 40 el número de EspF varió muy poco respecto al control en las FS de ambos años (<10%) (Tablas 9, 10, 11 y 12).

En el nivel de sombreado S 80, se registró una disminución promedio del 25% en el número EspF respecto al control en FS 1 en ambos años (Tablas 9 y 10). Mientras que en FS 2, el número de EspF disminuyó en promedio un 16% respecto al control en promedio de los dos años (Tabla 11 y 12).

Donde se registró mayor efecto del sombreado fue sobre el número de espiguillas infértiles (EspI). En FS 1 y FS 2 del año 2008, el número de EspI se incrementó en S 40 respecto al control en un 25% (Tabla 9 y 11). En cambio, en ambas FS del año 2009, el incremento del número de EspI en S 40 respecto al control fue del 70% (Tabla 10 y 12).

En S 80, en ambas FS de los años 2008–2009 el incremento del número de EspI respecto al control fue del orden del 190 y 140% respectivamente (Tabla 9, 10, 11 y 12).

En FS 1, la reducción en el número de flores fértiles (NFF) en S 40 respecto al control fue del 28-21 %, en los años 2008 y 2009, respectivamente (Tabla 9 y 10). En FS 2 se registró una reducción en S 40 con respecto al control del 20%, en ambos años. Mientras que en S 80 se redujo el NFF respecto al control en un 40% en los años 2008 y 2009 (Tabla 11 y 12).

En tanto, el NFF se redujo entre un 40 y 53 % en S 80 con respecto al control en FS 1 y FS 2 del año 2008, respectivamente (Tabla 9 y 11). En igual tratamiento y FS en el año 2009, la reducción en el NFF fue del 40% (Tabla 10 y 12).

En el año 2009, el NFF en los tratamientos control fue en promedio un 24 % inferior con respecto al año 2008 (Tabla 9, 10, 11 y 12).

Al promediar, los componentes florales de las espigas de todos los genotipos, por fecha de siembra y nivel de sombreo, se registró efecto sobre la cantidad de EspF; EspI y NFF logradas, no así sobre la cantidad de EspT (Figura 11).

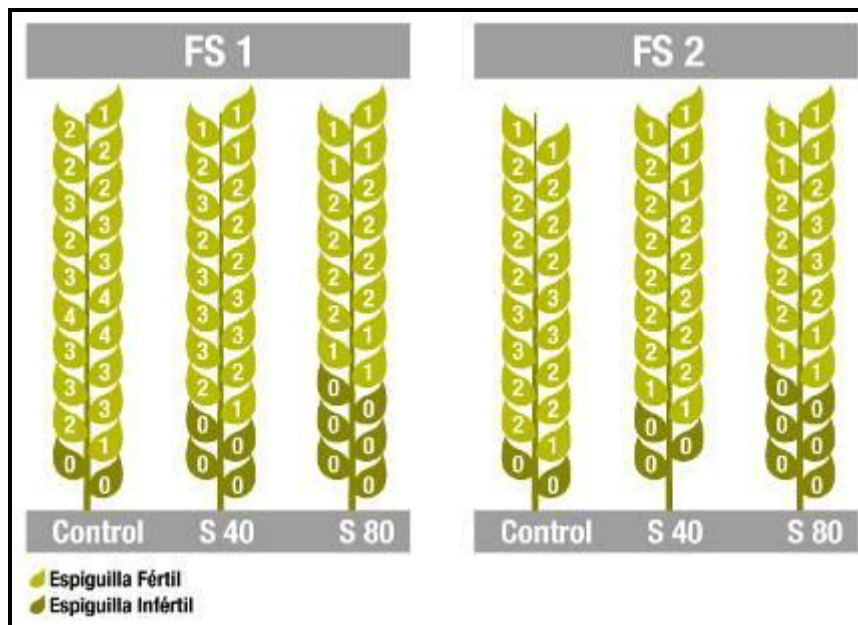


Figura 11. Mapeo de espigas en los diferentes niveles de radiación incidente durante el período de crecimiento de la espiga (control 0; S 40 y S 80: 40 % y 80 % de intercepción de la radiación incidente); promedio de los dos años y de todos los genotipos en fecha óptima de siembra (FS 1) y en fecha de siembra tardía (FS 2). El número en el interior de cada espiguilla indica la cantidad promedio de flores fértiles contabilizadas.

La cantidad de EspF fue menor, i.e. la cantidad de EspI fue mayor al incrementarse el nivel de sombreo. Estos componentes no fueron afectados por fecha de siembra.

En cambio, el NFF fue afectado por el nivel de sombreo como así también por fecha de siembra. El NFF disminuyó por efecto del sombreo, en ambas fecha de siembra, siendo el NFF menor en FS 2, a excepción del NFF en el nivel S 80 que no varió por FS.

En todas las situaciones se registró mayor NFF en las espiguillas centrales de las espigas, declinando en ambos sentidos, i.e. hacia la espiguilla terminal y hacia la base de la espiga.

3.3.7 Componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo

El número de espiguillas fértiles por unidad de tasa de crecimiento del cultivo (EspF_TCC) se incrementó un 62% en S 80 con respecto al control, no registrándose diferencias entre FS y años (Tablas 13, 14, 15 y 16).

El incremento de EspF_TCC en S 80 con respecto a S 40 varió entre un 41 y 54% en todas las situaciones evaluadas, correspondiendo los mayores valores a la FS 2 del año 2009 (Tablas 13, 14, 15 y 16).

Asimismo, el número de espiguillas infértiles por unidad de tasa de crecimiento del cultivo (EspI_TCC) se incrementó en promedio un 87% en S 80 respecto al control y un 71 % respecto a S 40. En promedio, el número de EspI_TCC no se diferenció entre FS y años (Tablas 13, 14, 15, y 16).

En tanto, el número de flores fértiles por unidad de tasa de crecimiento del cultivo (NFF_TCC) se incrementó por efecto del sombreado, en proporciones comprendidas entre 49-53 % en S 80 respecto al control e incrementos del 36- 51 % en S 40 con respecto al control. Los mayores porcentajes correspondieron la FS 2 del año 2009 (Tablas 13, 14, 15 y 16).

Los genotipos presentaron diferencias en los componentes florales por unidad de TCC según FS y año considerado, no evidenciándose un comportamiento consistente en las situaciones evaluadas.

Tabla 13: Componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, en 6 genotipos de trigo ciclo corto, en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación), en fecha de siembra óptima (FS 1) en el año 2008 en Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11' S 59° 52' W).

EspF_TCC, EspI_TCC y NFF_TCC: espiguillas fértiles, espiguillas infértiles y número de flores fértiles por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, respectivamente.

FS 1	2008		
Nivel de sombreado	EspF_TCC	EspI_TCC	NFF_TCC
Control	12,8	1,4 b	34,3
S 40	19,6	3,0 b	38,6
S 80	38,3	15,4 a	67,5
Genotipo			
ACA 901	24,2	7,2 ab	49,1
Baguette Premium13	23,0	4,2 b	44,3
BIOINTA 1001	22,3	7,3 ab	49,3
Cronox	22,7	7,8 a	45,1
INIA Cóndor	27,2	6,6 ab	47,7
Klein Tauro	21,9	6,7 ab	45,2
ANOVA			
Genotipo	***	**	**
Sombreado	**	***	***
Genotipo x sombreado	*	ns	**

* ** ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$; 0,001 y 0,0001) respectivamente; ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en columnas indican diferencias según test de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Tabla 14: Componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, en 6 genotipos de trigo ciclo corto, en tres niveles de sombreo (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación), en fecha de siembra óptima (FS 1) en el año 2009 en Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11' S 59° 52' W).

EspF_TCC, EspI_TCC y NFF_TCC: espiguillas fértiles, espiguillas infértiles y número de flores fértiles por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, respectivamente.

FS 1	2009		
Nivel de sombreo	EspF_TCC	EspI_TCC	NFF_TCC
Control	14,7 c	1,6	28,2 c
S 40	19,6 b	4,7	34,0 b
S 80	34,0 a	12,2	53,8 a
Genotipo			
ACA 901	21,6 a	6,5	35,0 c
Baguette Premium 13	22,0 a	5,5	36,5 bc
BIOINTA 1001	23,8 a	6,7	40,8 ab
Cronox	22,2 a	5,4	37,0 abc
INIA Cóndor	23,7 a	4,9	40,4 abc
Klein Tauro	23,3 a	7,7	42,5 a
ANOVA			
Genotipo	ns	***	**
Sombreo	***	***	***
Genotipo x sombreo	ns	***	ns

** ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,001$ y $0,0001$) respectivamente; ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en columnas indican diferencias según test de Tukey ($\alpha= 0.05$)

Tabla 15: Componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, en 6 genotipos de trigo ciclo corto, en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación), en fecha de siembra tardía (FS 2) en el año 2008 en Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11' S 59° 52' W).

EspF_TCC, EspI_TCC y NFF_TCC: espiguillas fértiles, espiguillas infértiles y número de flores fértiles por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, respectivamente.

FS 2	2008		
Nivel de sombreado	EspF_TCC	EspI_TCC	NFF_TCC
Control	11,3 c	1,5 c	28,5
S 40	19,4 b	3,0 b	41,5
S 80	32,8 a	12,3 a	46,9
Genotipo			
ACA 901	22,0 ab	6,6 ab	41,6
Baguette Premium 13	19,0 b	4,6 b	34,0
BIOINTA 1001	22,0 ab	5,4 ab	41,7
Cronox	19,0 b	6,0 ab	36,0
INIA Cóndor	25,0 a	4,3 b	39,5
Klein Tauro	20,5 b	7,1 a	40,9
ANOVA			
Genotipo	***	*	***
Sombreado	***	***	***
Genotipo x sombreado	ns	ns	**

* ** ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$; 0,001 y 0,0001) respectivamente; ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en columnas indican diferencias según test de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Tabla 16: Componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, en 6 genotipos de trigo ciclo corto, en tres niveles de sombreo (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación), en fecha de siembra tardía (FS 2) en el año 2009 en Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11' S 59° 52' W).

EspF_TCC, EspI_TCC y NFF_TCC: espiguillas fértiles, espiguillas infértiles y número de flores fértiles por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, respectivamente.

FS 2	2009		
Nivel sombreo	EspF_TCC	EspI_TCC	NFF_TCC
Control	13,7	1,9	29,0
S 40	16,5	3,6	30,3
S 80	35,5	11,5	62,2
Genotipo			
ACA 901	20,5	5,8	39,0
Baguette Premium13	20,9	4,3	38,2
BIOINTA 1001	22,3	6,0	41,8
Cronox	19,8	5,3	40,0
INIA Cóndor	24,5	6,5	43,5
Klein Tauro	23,4	5,9	40,6
ANOVA			
Genotipo	***	**	*
Sombreo	***	***	***
Genotipo x sombreo	***	***	***

*** **, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$; 0,001 y 0,0001) respectivamente.

3.3.8 Relación de los componentes florales por unidad de tasa de crecimiento

La cantidad de estructuras florales de la espiga por unidad de tasa de crecimiento tuvo una respuesta bilineal con la TCC durante el periodo crítico caracterizada por la existencia de un umbral (Figuras 12, 13 y 14), i.e. la cantidad de estructuras reproductivas por unidad de tasa de crecimiento se incrementó con mayor pendiente cuando las TCC fueron bajas.

La cantidad de EspF_TCC continuó declinando linealmente por encima de una TCC umbral, aunque con una menor pendiente (Figura 12). En contraste, la cantidad de EspI_TCC y el NFF_TCC continuaron reduciéndose por encima de un umbral de TCC de manera significativa pero con una pendiente muy baja (Figuras 13 y 14).

Los valores de los parámetros para cada una de la relaciones entre los componentes florales logrados por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, i.e. a; d: ordenada al origen; b; e pendiente, C: umbral crítico entre modelos, son presentados en Tabla 17.

Tabla 17: Valor de los parámetros obtenidos en el modelo bilineal aplicado para describir la relación entre los componentes florales logrados por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, en 6 genotipos de trigo ciclo corto, en tres niveles de sombreo (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación), en fecha de siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2) en los años 2008- 2009 en Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11'S 59° 52'W). EspF_TCC, EspI_TCC y NFF_TCC: espiguillas fértiles, espiguillas infértiles y número de flores fértiles por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, respectivamente

Parámetros/ Relaciones	a	b	C	d	e	R ²
EspF_TCC	66,1	-73,2	0,59	29,3	-11,3	0,95
EspI_TCC	24,8	-28,2	0,73	6,9	-3,6	0,86
NFF_TCC	135,5	-185,7	0,51	47,2	-11,7	0,86

El umbral de TCC por debajo del cual se incrementó la eficiencia de fijación de estructuras florales fue menor para la cantidad de EspF_TCC y el NFF_TCC que para la cantidad de EspI_TCC (Figuras 12, 13 y 14; Tabla 17).

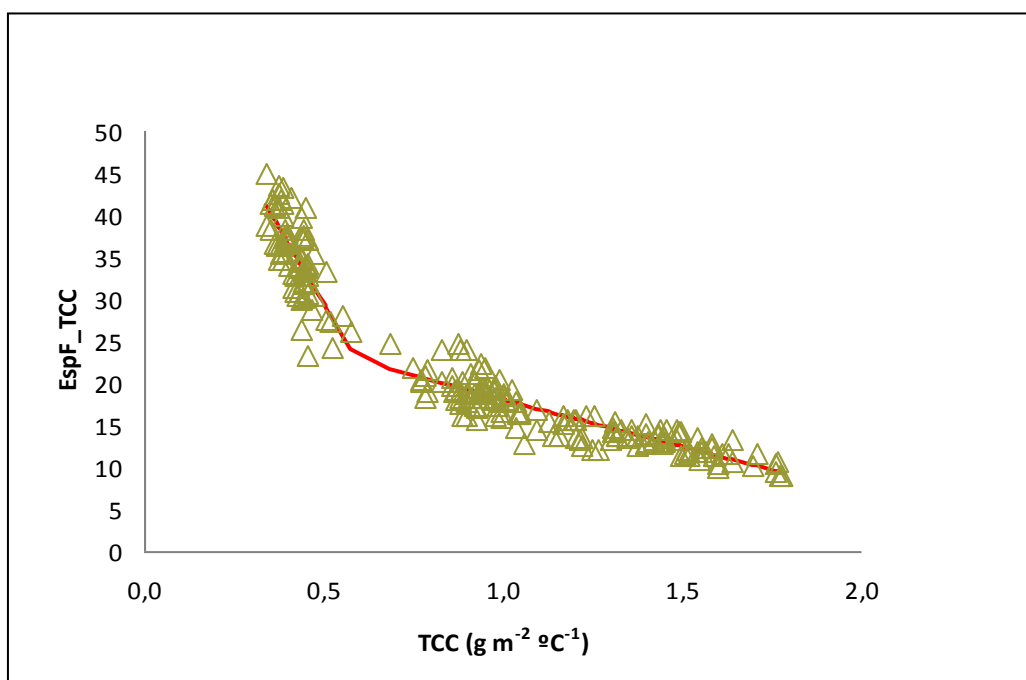


Figura 12. Relación entre el número de espiguillas fértiles por unidad de tasa de crecimiento (EspF_TCC) y la tasa de crecimiento del cultivo ($TCC \text{ g m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$), en 6 genotipos de trigo ciclo corto, en tres niveles de sombreo (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación), en fecha de siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2). Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11'S 59° 52'W). Triángulos claros: FS 1 (2008 – 2009), triángulos oscuros: FS 2 (2008 – 2009).

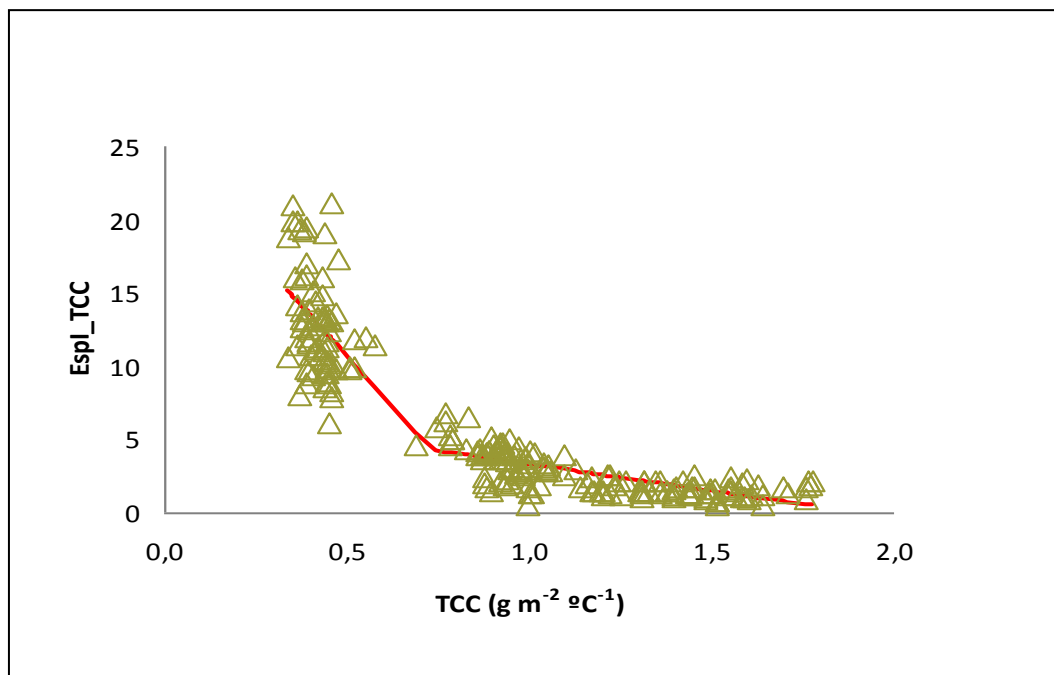


Figura 13. Relación entre el número de espiguillas infértiles por unidad de tasa de crecimiento (EspI_TCC) y la tasa de crecimiento del cultivo ($TCC \text{ g m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$), en 6 genotipos de trigo ciclo corto, en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación), en fecha de siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2). Reconquista, Santa Fe (Lat. $29^{\circ} 11' \text{S } 59^{\circ} 52' \text{W}$). Triángulos claros: FS 1 (2008 – 2009), triángulos oscuros: FS 2 (2008 – 2009).

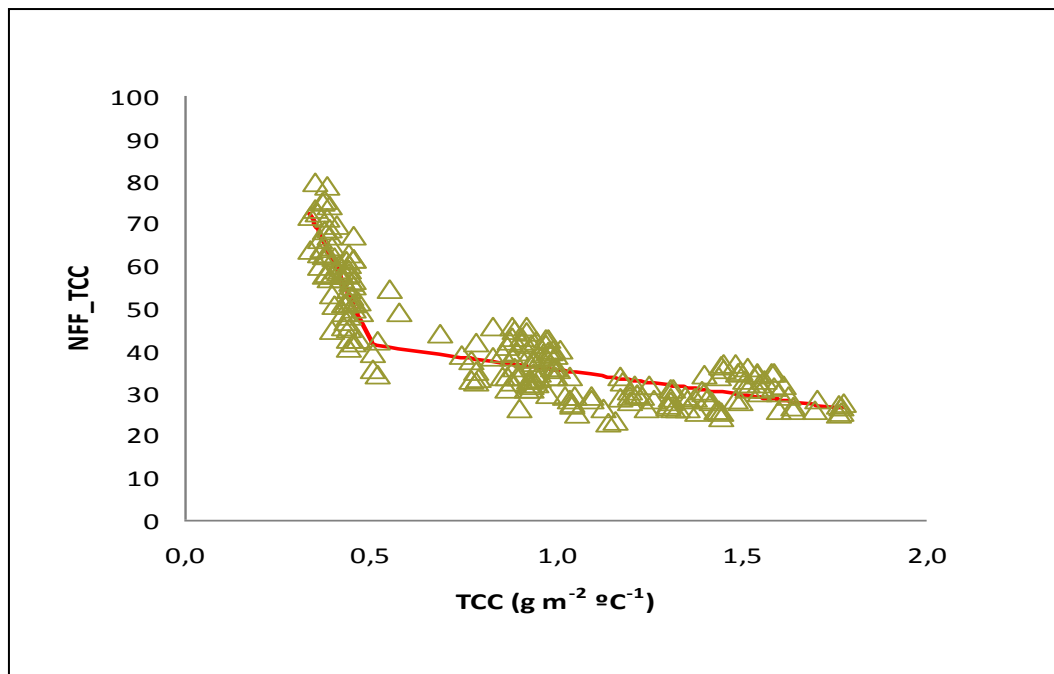


Figura 14. Relación entre el número de flores fértiles por unidad de tasa de crecimiento (NFF_TCC) y la tasa de crecimiento del cultivo ($TCC \text{ g m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) en 6 genotipos de trigo ciclo corto, en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación), en fecha de siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2). Reconquista, Santa Fe (Lat. $29^{\circ} 11' \text{S } 59^{\circ} 52' \text{W}$). Triángulos claros: FS 1 (2008 – 2009), triángulos oscuros: FS 2 (2008 – 2009).

3.4 Discusión

La duración promedio del período de crecimiento de la espiga en días, en fecha óptima de siembra fue similar a la informada en los trabajos previos de Fischer (1985) y Abbate *et al.*, (1995; 1997). Sin embargo, en fecha de siembra tardía, particularmente en el año 2009, el período de crecimiento de la espiga en días fue menor (Figura 7).

La suma de grados días registrada en FS 1 en este experimento durante el PCE fue similar a lo encontrado por Fischer (1985), quien citó valores de 300°C d sobre la temperatura base de 4,5°C. Sin embargo, la suma térmica alcanzada en FS 2, se aproxima más a los valores citados por Abbate *et al.*, (1997). Estos autores mencionaron valores entre 420 y 470 °C d sobre la base de 4,5 °C.

Si bien se registraron algunas diferencias en la suma de grados días entre genotipos y niveles de sombreo, estas fueron consideradas despreciables en función de lo propuesto por Estrada-Campuzano *et al.* (2008), quienes consideraron como irrelevante en términos agronómicos, a la diferencia de 30°Cd en la duración desde emergencia a antesis determinadas en triticale, cuando fue expuesto a diferentes niveles de sombreo.

La tasa de crecimiento del cultivo durante el período de crecimiento de la espiga se relacionó positivamente con la radiación fotosintéticamente activa interceptada, en coincidencia con lo informado previamente por Gallagher y Biscoe (1978); Fischer (1985) y Abbate *et al.*, (1995, 1997).

Como era previsible, el sombreo durante esa etapa redujo la tasa de crecimiento en proporción directa a la reducción de radiación incidente, de manera coincidente a lo encontrado por Fischer (1985) y Abbate *et al.*, (1997).

La tasa de crecimiento del cultivo promedio en el tratamiento control no se diferenció entre fecha óptima y fecha de siembra tardía en el mismo año, sin embargo la tasa de crecimiento del cultivo fue menor en ambas fechas de siembra en el año 2009 respecto al 2008. Estas diferencias entre años en la TCC no se asociaron con sus componentes ecofisiológicos, i.e. la radiación interceptada y la EUR; pero sí con la menor eficiencia reproductiva, i.e. NFF_TCC.

La temperatura media registrada en este trabajo, en ambas fechas de siembra, estuvo comprendida en el rango entre 15 y 25°C, en el cual son esperables pocas variaciones en la tasa de fotosíntesis (Fischer y Maurer, 1976).

La similar relación entre estructuras florales por unidad de TCC registrada en los controles entre años y fechas de siembra, indicaría sin embargo que las altas temperaturas máximas no tuvieron un impacto directo sobre la fijación de granos.

En efecto, el NFF_TCC fue similar entre fechas de siembra y años en los controles, lo que indica que el suministro de asimilados fue el determinante de la cantidad estructuras florales fértiles, más que cualquier efecto directo de las altas temperaturas.

La eficiencia de uso de la radiación registrada en este trabajo fue, en promedio, de 2,3 g MJ⁻¹, sin diferencias importantes entre fechas de siembra. Estos valores de eficiencia de EUR son similares a los mencionados por Caviglia *et al.*, (2001b), Abbate *et al.*, (1997); Lázaro *et al.*, (2010) y por Fischer (1985).

La EUR aumentó significativamente al disminuir la radiación incidente con la aplicación de sombreos. Este resultado fue consistente con los encontrados por Sophanodora (1989) en dos pasturas tropicales con metabolismo fotosintético C4, atribuyendo sus resultados al incremento en proporción de radiación difusa.

Asimismo, Sinclair y Tatsuhiko (1993) demostraron incrementos en la EUR en maíz, soja y poroto al disminuir la radiación incidente e incrementar la proporción de radiación difusa.

Healey *et al.*, (1998) trabajando con gramíneas atribuyeron las diferencias en el crecimiento como una respuesta directa a las diferentes proporciones entre la

radiación directa y la radiación difusa. Kemanian *et al.*, (2004) coincide con la explicación anteriormente mencionada, puesto que enfatiza que es esperable una mayor EUR cuando se reduce la radiación total y se incrementa la proporción de radiación difusa, ya que el área fotosintética opera en condiciones de no saturación radiativa.

Debido a las diferencias en el umbral de saturación entre especies con metabolismo fotosintético C3 y C4, los mayores incrementos en la EUR al incrementarse la radiación difusa por efecto del sombreado, serían esperables en las primeras, entre las que se encuentra el trigo.

La tasa de crecimiento de la espiga se relacionó linealmente con la tasa de crecimiento del cultivo, similares resultados fueron encontrados en los experimentos realizados por Fischer (1985), Abbate *et al.*, (1995, 1997) y Lázaro *et al.*, (2010).

En este experimento, la tasa de crecimiento de la espiga y el porcentaje de partición a espiga, fueron superiores en fecha de siembra tardía y en especial en el año 2009. Esto estaría relacionado con los mecanismos de compensación del cultivo que se expresan con condiciones más limitantes.

La proporción de peso seco acumulado por el cultivo y que fuera particionado a la espiga se incrementó en la mayoría de las situaciones analizadas hasta el nivel intermedio de sombreado, tal como fuera demostrado por Fischer (1985) y Abbate *et al.*, (1995). Pero cuando el nivel de sombreado superó el 40% de intercepción de la radiación incidente, el porcentaje de partición disminuyó.

Serrago *et al.*, (2011) al estudiar el efecto de un estrés biótico sobre el peso de grano, concluyeron que como respuesta a la demanda en ese período y frente a baja cantidad de fuente, probablemente el cultivo induce a una rápida utilización de reservas para cubrir las demandas. Pudiendo en este caso, el cultivo frente un estrés abiótico tener la misma respuesta. Es decir, que como estrategia, el cultivo removiliza sus reservas en respuesta a las demandas.

Fischer (1985), menciona reducciones significativas en el número de espiguillas y por consiguiente menor número de granos como respuesta en la aceleración del desarrollo.

En este trabajo, a pesar de que se comprobó una aceleración en el desarrollo en fecha de siembra tardía, no se encontraron diferencias en el número de espiguillas fértiles entre fechas de siembra.

El sombreado no afectó el número de espiguillas totales, ya que en trigo el número de espiguillas queda definido en el estadio de espiguilla terminal, i.e. estadio previo al inicio del sombreado. Sin embargo, se encontraron diferencias en el número de espiguillas fértiles, espiguillas infértiles y número de flores fértiles en los diferentes niveles de sombreado.

En todas las situaciones se registró mayor cantidad de flores fértiles en las espiguillas centrales de la espiga, lo que está de acuerdo a lo informado por Sibony y Pinthus (1988).

Al analizar la cantidad de componentes florales por unidad de tasa de crecimiento, estos se incrementaron, al incrementarse el nivel de sombreado, i.e. que a menor tasa de crecimiento del cultivo se logró mayor cantidad de componentes florales por unidad de tasa de crecimiento. Esto podría ser interpretado como una estrategia adaptativa del cultivo, ante situaciones no favorables, como ser un estrés abiótico durante el PCE.

Fischer (1985); Thorne y Wood (1986) y Abbate *et al.*, (1995 y 1997) demostraron un mayor NG_PAR (i.e. aumento del NG_TCC) al disminuir los niveles de radiación, en trabajos en los cuales la tasa de suministro de asimilados fue realizada en tiempo cronológico.

3.5 Conclusiones

En este capítulo se demostró que la tasa de crecimiento en los genotipos evaluados se relacionó positivamente con la radiación fotosintéticamente activa interceptada, presentando reducciones proporcionales a los niveles de radiación impuestos durante el período de crecimiento de la espiga.

A pesar de que la tasa de crecimiento de la espiga se relacionó positivamente con la tasa de crecimiento del cultivo, la proporción de asimilados asignados a las espigas no fue proporcional al nivel de sombreado. Incrementos en la partición de asimilados fueron registrados hasta el nivel medio de intercepción de radiación, la que disminuyó en los tratamientos con mayor intercepción de radiación.

En los tratamientos sin sombreado, en las diferentes fecha de siembra, el comportamiento de los componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo fue similar. Esto permitiría demostrar que el incremento de la temperatura no tuvo un efecto directo sobre los mismos. En este capítulo se determinó similar número de flores fértiles por unidad de tasa de crecimiento del cultivo, entre fechas de siembra y años, en los tratamientos sin sombreado, lo que evidenció que el suministro de asimilados fue el determinante en la cantidad florales fértiles por unidad de tasa de crecimiento, más que cualquier efecto directo de altas temperaturas.

Asimismo, al incorporar en este análisis los diferentes niveles de sombreado, se demostró que el número de componentes florales por unidad de tasa de crecimiento se incrementó al incrementarse los niveles de sombreado. Destacándose una mayor eficiencia de fijación de espiguillas fértiles y número de flores fértiles por unidad de tasa de crecimiento de cultivo.

En promedio, la eficiencia de uso de la radiación fue de $2,3 \text{ g MJ}^{-1}$, la que aumentó significativamente al disminuir la radiación incidente.

En el capítulo siguiente, se analiza, en base al cociente fototermal Q, el efecto combinado que la radiación solar y la temperatura ejercen sobre el número de granos potenciales en el Noreste santafesino.

Asimismo, y con el propósito de profundizar la comprensión en la determinación del número de granos, se analizará las relaciones entre el número de granos, crecimiento, porcentaje de partición a espiga y componentes florales por unidad de cociente fototermal Q

Capítulo IV

Cociente fototermal Q y su relación con el número de granos

En el capítulo anterior, se estudió el efecto de la radiación solar interceptada y la temperatura sobre el crecimiento del cultivo durante el periodo de crecimiento de la espiga, sus componentes ecofisiológicos, la partición a espiga y su relación con los componentes florales de la espiga.

El estudio permitió dilucidar los mecanismos que el cultivo desarrolla, frente a modificaciones en las condiciones ambientales, para mantener el número de granos.

En este capítulo, se analizará en base al cociente fototermal Q , el efecto combinado que la radiación solar y la temperatura ejercen sobre el número de granos potencial en el Noreste santafesino, en condiciones no limitantes.

Asimismo, y con el propósito de profundizar la comprensión en la determinación del número de granos, se analizará las relaciones entre el número de grano, crecimiento, porcentaje de partición a espiga y componentes florales por unidad de cociente fototermal (Q).

4.1 Introducción

La determinación del rendimiento en cultivos extensivos, como el trigo, ha sido frecuentemente analizada considerando sus componentes numéricos, i.e. número de grano por unidad de superficie (NG) y el peso individual del grano (PG) (Menéndez y Satorre, 2007).

Fischer (1975) empleando tratamientos de sombreado durante el ciclo del cultivo de trigo, demostró que el número de granos por unidad de superficie fue el componente que mejor explicó las variaciones en el rendimiento final, más que cualquier cambio en el peso.

Si bien los componentes de rendimiento son generados en todo el ciclo del cultivo (Slafer y Rawson, 1994; Miralles *et al.*, 2003), el rendimiento se define durante la última etapa de la elongación del tallo y la antesis; cuando el número de flores fértiles y por ende, el número potencial de granos es fijado. Fischer (1985) denominó como “período crítico” o período de crecimiento de la espiga (PCE), a esa etapa, comprendida 30 días previos a la antesis y 7 días posteriores a la misma; aunque la duración de la etapa podría modificarse con la temperatura.

Es decir, durante el período crítico o PCE, el número de granos es mucho más sensible a los cambios de disponibilidad de recursos, que si estos ocurriesen en otra fase de desarrollo del cultivo.

La temperatura como la radiación solar interceptada durante el período de crecimiento de la espiga, tienen efecto sobre el número de granos logrados. La temperatura gobierna la duración de la etapa del crecimiento de la espiga, mientras que la cantidad de radiación interceptada determina la energía disponible y la tasa de crecimiento del cultivo. Por ello, las variaciones en el número de granos han sido interpretadas como una función directa de la radiación incidente e inversa de la temperatura durante el período de crecimiento de la espiga (Fischer, 1985).

Esta relación en trigo fue definida por Fischer (1985) como cociente fototermal (Q), i.e. la relación entre la radiación interceptada promedio y la temperatura media, sobre la temperatura base de 4,5°C, durante el período de crecimiento de la espiga.

Para estudiar los efectos combinados de la radiación solar y temperatura sobre el número de granos, el cultivo debe desarrollarse en condiciones potenciales, i.e. sin limitaciones hídricas, nutricionales, libre de plagas y enfermedades (Fischer, 1985).

Esta relación entre los componentes de rendimiento y los factores ambientales ha sido utilizada para evaluar las diferencias en el rendimiento potencial en varios cultivos como el trigo (*Triticum aestivum* L.) (Fischer 1985; Abbate *et al.*, 1994); girasol (*Helianthus annuus* L.) (Cantagallo *et al.*, 1997); y maíz (*Zea mays* L.) (Andrade *et al.*, 2000).

En Balcarce, Argentina (latitud 37°S), Abbate *et al.*, (1994) utilizando el genotipo de trigo Buck Ñandú, validaron en condiciones potenciales, la relación lineal entre el número de granos por unidad de superficie y el cociente fototermal (Q).

Además, Magrin *et al.*, (1993) estimaron, en base a la relación establecida por Abbate *et al.*, (1994), el rendimiento potencial de varios genotipos nacionales en 4 localidades argentinas comprendidas entre las latitudes 31°S y 37°S. Estos autores concluyeron que el Q se asoció estrechamente con los máximos rendimientos, aún en condiciones no potenciales.

Similares conclusiones fueron citadas en trabajos realizados en Córdoba (latitud 31°S) por Cantarero *et al.*, (1998); Paraná (latitud 31°S) por Caviglia y Paparotti (2000), en Reconquista (latitud 29°S) por Caviglia *et al.*, (2006) y Lázaro *et al.*, (2000, 2010, 2011) con datos obtenidos en 4 localidades de Argentina, México y Francia.

En todos los casos, las relaciones ambientales y el rendimiento potencial resultaron razonablemente consistentes con lo observado en las zonas de estudio, a pesar de las diferencias en la potencialidad productiva y en los genotipos evaluados.

En Reconquista, el rendimiento potencial estimado fue inferior al de las regiones típicamente trigueras de Argentina (latitud 33° S a 40° S). La principal diferencia entre los factores ambientales que intervienen en esta relación, están dadas por la mayor temperatura registrada en la zona Norte de la provincia de Santa Fe (Caviglia *et al.*, 2006).

4.1.1 Objetivos

Determinar el cociente fototermal Q y validar la respuesta al mismo en genotipos comerciales de reciente liberación en el mercado nacional, ya que las relaciones anteriores han sido construidas en base a unos pocos y antiguos genotipos. También, es importante establecer si los genotipos de trigo actuales difieren en su capacidad para fijar granos.

Asimismo, con el propósito de profundizar o avanzar en la comprensión de la determinación del número de granos, cobra importancia analizar las relaciones entre número de granos, crecimiento, porcentaje de partición a espiga y estructuras florales por unidad de Q, ya que este cociente expresa el efecto combinado del ambiente, i.e. radiación y temperatura, sobre el crecimiento y el desarrollo durante el PCE.

4.2 Materiales y Métodos

4.2.1 Mediciones. Determinación del cociente fototermal Q

Sobre los experimentos descritos en el capítulo II, se determinó el cociente fototermal (Q) en cada unidad experimental.

La radiación global (RG) incidente fue calculada a partir de la heliofania efectiva diaria, obtenida en la estación meteorológica ubicada a 100 m del experimento. La radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente sobre el cultivo se calculó como $0,50 \times RG$ (Szeicz, 1974). La fracción de radiación solar interceptada por el cultivo en cada unidad experimental fue calculada como $(1-(R_b/R_s))$, donde R_b es la radiación medida en la última hoja verde inferior del cultivo y R_s es la radiación incidente sobre la canopia..

Los valores de R_b y R_s fueron medidos semanalmente al medio día solar (± 1 hora), con un sensor lineal cuántico (Cavadevices, B.A, Argentina). Las lecturas fueron realizadas colocando la barra en forma perpendicular a las líneas de siembra, cada 7 días desde el comienzo de PCE. La radiación solar interceptada por el cultivo entre lecturas fue obtenida por interpolación lineal en el tiempo.

En los tratamientos con sombreado, la proporción de la radiación incidente, retenida por las mallas, fue obtenida como el cociente entre la radiación incidente medida debajo de la malla y el correspondiente valor de la radiación incidente inmediatamente sobre las mallas (Estrada –Campuzano *et al.*, 2008).

La proporción de radiación interceptada por el cultivo no fue afectada por los sombreado

Los datos de temperatura de aire, a nivel del canopeo superior, en los diferentes niveles de sombreado fueron registrados por sensores térmicos, conectados a un data logger WatchDog (Modelo 450, Spectrum Technologies, Inc., Illinois, Estados Unidos), previamente calibrados.

El cociente fototermal Q fue determinado como el cociente entre la radiación media fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo y la temperatura media menos la temperatura base de desarrollo ($4,5^\circ\text{C}$) (Fischer, 1985; Abbate *et al.*, 1994), en el período de crecimiento de la espiga, en cada una de las unidades experimentales. En cada fecha de siembra, los valores de Q fueron promediados por tratamiento.

Asimismo, se calculó la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), partición a espiga (TCE_TCC), espiguillas fértiles (EspF), espiguillas infértiles (EspI) y número de flores fértiles (NFF) por unidad de cociente fototermal Q, como el cociente entre cada variable y el Q. En consecuencia se obtuvieron las siguientes relaciones: TCC_Q, (TCE_TCC)_Q, EspF_Q, EspI_Q y NFF_Q.

Los componentes florales (EspF, EspI y NFF) son datos promedio de los recuentos realizados de 5 espigas principales tomadas por unidad experimental en el momento de anthesis.

Se clasificó como EspF a todas aquellas espiguillas que en su interior poseían al menos una flor fértil, para posteriormente registrar el NFF por espiga.

Se consideró como flor fértil a aquella flor que poseía el estilo bífido bien desarrollado y curvado, las anteras verdes, turgentes con grano de polen. (Waddington y Cartwright, 1983; Sibony y Pinthus, 1988). Asimismo, se contaron las EspI, i.e. aquellas espiguillas verdes, sin flores fértiles en su interior

4.2.2 Funciones previamente obtenidas en la relación entre Q y el número de granos

La función entre el NG y el cociente fototermal Q, obtenida con los datos de estos experimentos fueron comparados con las funciones obtenidas por Fischer (1985) y Abbate *et al.*, (1994).

Fischer (1985) estudió la variación en el número de granos (NG) en trigo manejados bajo condiciones no limitantes. Las funciones obtenidas surgieron de experimentos llevados a cabo en México (latitud entre 19 y 27° N) y en Australia (latitud 35° S) utilizando cultivares de trigo ciclo corto, que fueron sometidos a variaciones en la radiación incidente (con sombreado artificial) y a temperatura, variando las fechas de siembra, obteniendo la siguiente función para rangos de Q entre 0,3 y 0,9 ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1} \text{°C}^{-1}$)

$$\text{NG} = 5800 + 12645 \text{ Q} \quad (r = 0,71)$$

Una réplica del trabajo de Fischer, fue realizada en Balcarce (latitud 37° S), Argentina, por Abbate, *et al.*, (1994), utilizando el cultivar Buck Nandú, en un rango de Q que varió entre 0,3 y 0,9 ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1} \text{°C}^{-1}$), logrando la siguiente función:

$$\text{NG} = 6763 + 9815 \text{ Q} \quad (r = 0,88)$$

4.2.3 Análisis estadístico

Los datos obtenidos, fueron analizados mediante análisis de regresión y correlación, tendientes a establecer las relaciones funcionales entre Q y el número potencial de granos por unidad de superficie.

Las pendientes de las regresiones lineales fueron comparadas utilizando variables dummy. Cuando la ordenada al origen de la regresión lineal no fue significativa ($p > 0,05$), las funciones fueron ajustadas considerando la ordenada al origen igual a cero.

Para determinar los efectos de los tratamientos se utilizó ANOVA y la diferencia significativa entre las medias de los tratamientos fueron determinadas por la prueba mínima diferencia significativa cuando el ANOVA indicó diferencias significativas entre factores ($P < 0,05$) y no fueron detectadas interacciones significativas entre factores.

Los procedimientos estadísticos fueron realizados utilizando paquetes informatizados (SAS Institute, 2003).

4.3 Resultados

4.3.1 Cociente fototermal Q

Con el empleo de sombreo artificiales y modificando las fechas de siembra, en el presente experimento se logró modificar la radiación incidente y la temperatura durante el PCE en 6 genotipos de ciclo corto. En consecuencia, se obtuvieron diferentes valores de cociente fototermal Q durante el PCE (Tabla 18).

Tabla 18: Cociente fototermal Q promedio en tres niveles de sombreo (Control 0, S 40: 40% de intercepción de radiación; S 80: 80 % de intercepción de radiación) en fechas de siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11' S 59° 52' W).

Fecha FS - Año	FS 1 - 2008	FS 2 - 2008	FS 1 - 2009	FS 2 - 2009
Nivel sombreo	Q (MJ m ⁻² d ⁻¹ °C ⁻¹)			
Control	0,60	0,61	0,50	0,49
S 40	0,38	0,38	0,28	0,28
S 80	0,10	0,09	0,10	0,09

4.3.2 Relación entre cociente fototermal y número de granos

La regresión entre cociente fototermal y número de granos fue significativa para todos los genotipos evaluados ($p \leq 0,01$). Las ordenadas al origen fueron coincidentes no diferenciándose de 0 ($p \leq 0,05$).

El valor de la pendiente no se diferenció entre cultivares, i.e. la relaciones fueron coincidentes ($p \leq 0,05$); la que estuvo comprendida entre 25.546 y 21.162 granos m⁻² por unidad de cociente fototermal.

La mayor pendiente correspondió a ACA 901 y Cronox (25.546 y 24.911 granos m⁻² por unidad de Q, respectivamente). Baguette Premium 13 e INIA Cóndor, presentaron valores intermedios en la pendiente (promedio 22.708); y los menores valores de pendiente (promedio 21.247) para BIOINTA 1001 y Klein Tauro.

El análisis de regresión entre el NG y el efecto combinado de los factores ambientales durante el PCE, en el desarrollo de este experimento, demostró ser una relación lineal, cuya función unificada fue:

$$NG = 24585 Q (r^2 = 88) \text{ gl: } 72 \text{ (Figura 15)}$$

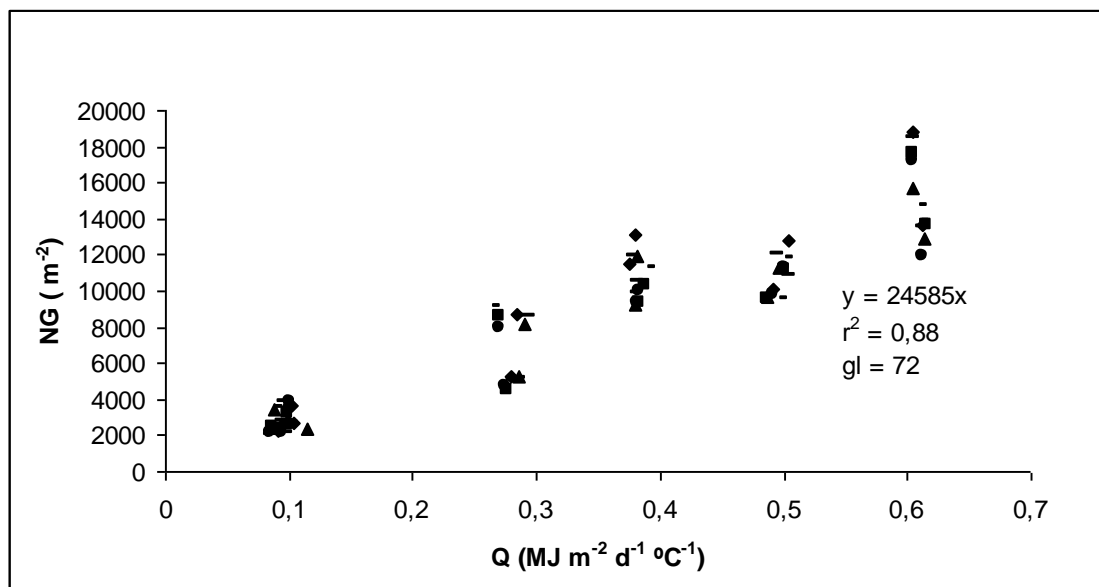


Figura 15. Número de grano (NG) en función de cociente fototermal Q promedio de 6 genotipos de trigo ciclo corto en varias fechas de siembra en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11' S 59° 52' W).

◆ ACA 901 ■ B.P.13 ▲ Bio. 1001 - Cronox ♦ I. Condor * K. Tauro

Esta función fue comparada con la obtenida por Fischer (1985) y Abbate *et al.*, (1994) (Figura 16).

Abbate *et al.*, (1994) concluyeron que la función obtenida no difirió de la obtenida por Fischer, (1985). Esta nueva función aquí obtenida, presenta mayor pendiente, con sobreestimación en el NG en valores más altos de Q, respecto a las funciones obtenidas previamente.

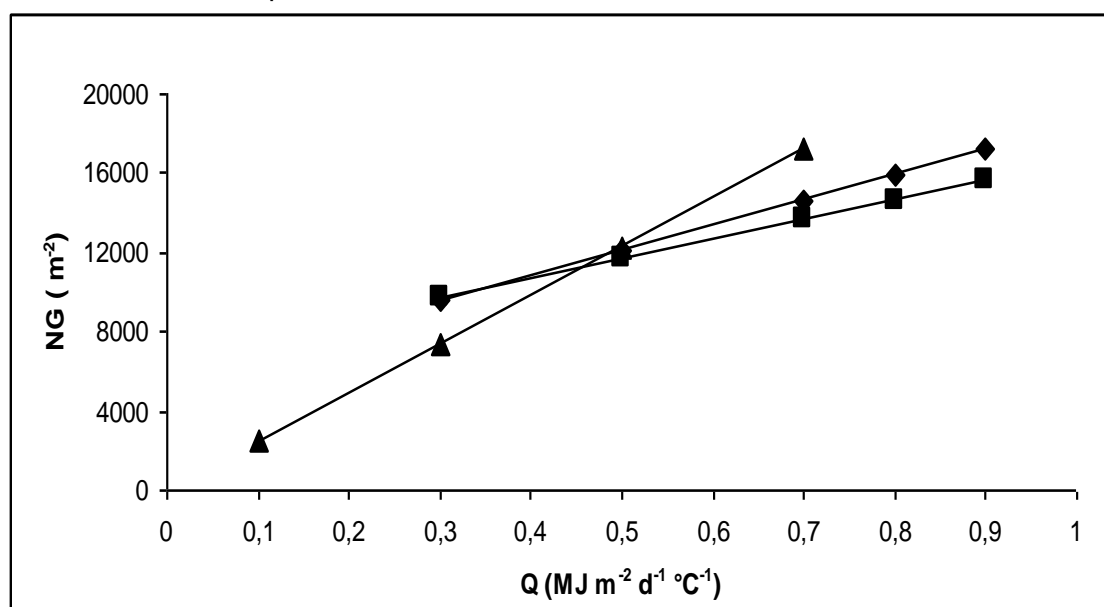


Figura 16: Relación entre el número de granos (NG) y el cociente fototermal Q obtenidas por
◆ Fischer (1985) ■ Abbate et al., (1994) ▲ Brach (2011)

4.3.3 Efecto de los tratamientos sobre el número de granos logrados por unidad de cociente fototermal (NG_Q)

El efecto del sombreado fue altamente significativo sobre el NG_Q, en todas las fechas de siembra, en los años 2008 y 2009 ($p \leq 0,0001$). En la mayoría de las FS se registraron aumentos en el NG_Q, al incrementarse el nivel de sombreado. Las excepciones fueron en FS 1 y FS 2 en el año 2009 en los niveles S 80 y S 40 respectivamente (Tabla 19).

Tabla 19: Número de granos por unidad de cociente fototermal Q (NG_Q) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra optima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11' S 59° 52' W).

FS	FS 1		FS 2	
Año	2008	2009	2008	2009
Nivel de sombreado	NG_Q			
Control	28.397	23.531	21.774	20.101
S 40	29.869	30.707	26.316	17.863
S 80	36.367	27.316	29.802	24.023
Genotipos				
ACA 901	34.001	27.797	25.948	22.753
Baguette Premium 13	29.445	26.793	24.362	21.146
BIOINTA 1001	32.126	26.537	27.812	19.935
Cronox	33.719	27.214	25.049	19.876
INIA Cóndor	31.388	25.327	23.118	20.433
Klein Tauro	28.685	29.442	29.494	19.841
ANOVA				
Genotipo	***	***	***	***
Sombreado	***	***	***	***
Genotipo x Sombreado	***	*	***	***

* ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ y $0,0001$) respectivamente.

En FS 1 del año 2008, el NG_Q se incrementó entre un 5 y 29% respecto al control en los niveles de sombreado S 40 y S 80 respectivamente.

En FS 1 del año 2009, los incrementos en el NG_Q en los niveles S 40 y S 80 con respecto al control fueron del 30 y 16 % respectivamente.

En FS 2 del año 2008, se registraron incrementos entre un 20 y 37% con respecto al control en los niveles S 40 y S 80, respectivamente. En tanto en FS 2 del año 2009, el NG_Q disminuyó un 10% en S 40 respecto al control. En S 80 el incremento en el NG_Q respecto al control fue de un 19%.

El NG_Q fue superior en FS 1 (2008-2009), respecto a FS 2 (2008-2009) en todos los niveles de sombreado.

En FS 1 del año 2008, el NG_Q en el tratamiento control fue un 17% superior que a igual FS del año 2009. Mientras que en FS 2 del año 2008, el NG_Q en el tratamiento control superó en un 7% a lo registrado en FS 2 del año 2009.

Los genotipos presentaron diferentes NG_Q según FS y año considerado, no evidenciándose un comportamiento consistente en las situaciones evaluadas (Figura 17).

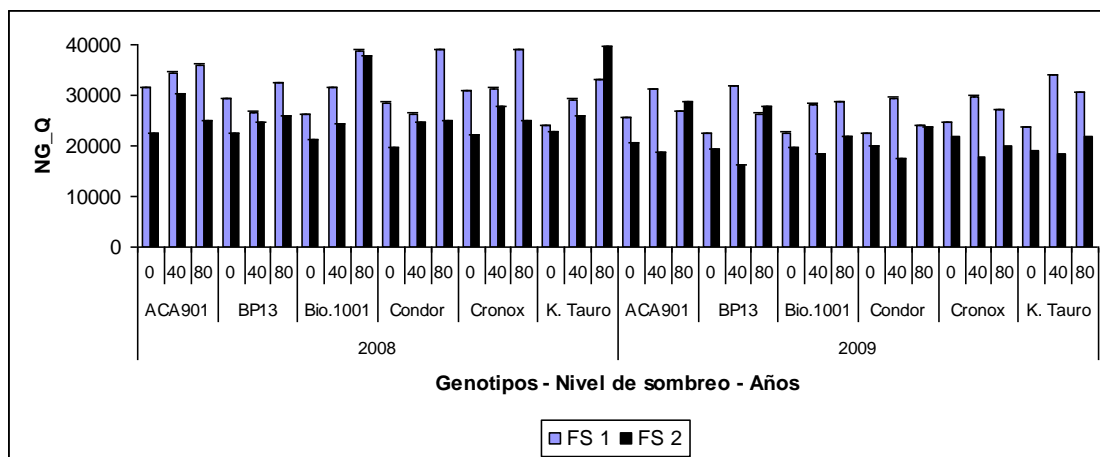


Figura 17: Número de granos logrados por unidad de cociente fototermal (NG_Q) en 6 genotipos de ciclo corto, logrados en 3 niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra optima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11' S 59° 52' W).

4.3.4 Relaciones entre crecimiento, partición a espiga, estructuras florales logradas por unidad de cociente fototermal (Q)

4.3.4.1 Tasa de crecimiento del cultivo por unidad de cociente fototermal Q (TCC_Q)

El efecto del sombreado fue altamente significativo sobre la TCC_Q ($p \leq 0,0001$), registrándose en la mayoría de las situaciones, incrementos en la TCC_Q, al incrementarse el nivel de sombreado (Tabla 20).

La TCC_Q en FS 1 del año 2008 fue similar entre el nivel S 40 y el tratamiento control. En tanto, en el nivel S 80 la TCC_Q registró un incremento promedio, respecto al tratamiento control de un 53%.

En FS 1 del año 2009, la TCC_Q se incrementó al incrementarse el nivel de sombreado, diferenciándose estadísticamente ($p \leq 0,05$). En FS 2, en el año 2008, se registraron diferencias significativas entre los diferentes niveles de sombreado ($p \leq 0,05$). Con respecto al control, en el nivel S 40 la TCC_Q disminuyó, pero en S 80 se incrementó nuevamente. Los genotipos no se diferenciaron en su TCC_Q ($p \leq 0,05$) entre FS y años.

En FS 2 del año 2009, la TCC_Q en el nivel S 40 se incrementó un 36 %, mientras que en el nivel S 80 el incremento fue un 70 % respecto al tratamiento control. En el tratamiento control, la TCC_Q fue similar entre FS y años.

Tabla 20: Tasa de crecimiento del cultivo por unidad de cociente fototermal Q (TCC_Q) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11'S 59° 52'W).

FS	FS 1		FS 2	
Año	2008	2009	2008	2009
Nivel de sombreado	TCC_Q			
Control	2,5	2,6 a	2,7 a	2,6
S 40	2,5	3,05 b	2,4 b	3,5
S 80	3,8	4,3 c	5 c	4,4
Genotipos				
ACA 901	2,9	3,4	3,4 a	3,7
Baguette Premium 13	2,9	3,2	3,5 a	3,6
BIOINTA 1001	3	3	3,3 a	3,2
Cronox	2,8	3,3	3,6 a	3,4
INIA Cóndor	2,8	3,6	3,3 a	3,5
Klein Tauro	3	3,2	3,4 a	3,3
ANOVA				
Genotipo	*	ns	ns	***
Sombreado	***	***	***	***
Genotipo x Sombreado	*	ns	ns	***

* ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ y $0,0001$) respectivamente; ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en columnas indican diferencias según test de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Los genotipos presentaron diferentes valores al relacionar la TCC_Q según FS y año considerado (Figura 18).

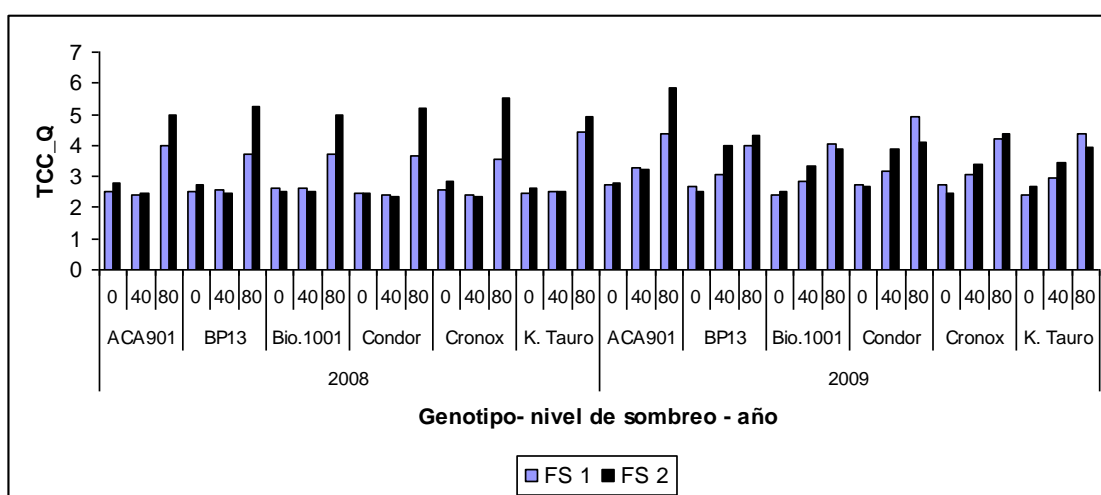


Figura 18: Tasa de crecimiento del cultivo por unidad de cociente fototermal (TCC_Q) en 6 genotipos de ciclo corto, logrados en 3 niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11'S 59° 52'W).

4.3.4.2 Partición a espiga por unidad de cociente fototermal (TCE_TCC)_Q

El efecto del sombreado fue altamente significativo sobre la (TCE_TCC)_Q ($p \leq 0,0001$), la cual se incrementó, al incrementarse el nivel de sombreado (Tabla 21)

En FS 1 del año 2008, en S 40 la (TCE_TCC)_Q se incrementó un 74% respecto al control. En S 80 la (TCE_TCC)_Q se cuadruplicó, respecto al control.

En FS 1 del año 2009 y en FS 2 del año 2008 el comportamiento de la (TCE_TCC)_Q fue similar, diferenciándose estadísticamente entre los niveles de sombreado ($p \leq 0,05$) e incrementándose en S 40 y S 80 respecto al control. Los genotipos no se diferenciaron estadísticamente entre sí, en su (TCE_TCC)_Q.

En FS 2 del año 2009, la (TCE_TCC)_Q se incrementó un 63% en el nivel S 40 respecto al control. En S 80 la (TCE_TCC)_Q se triplicó, respecto al control.

En todas las FS y años se registraron incrementos importantes en la (TCE_TCC)_Q a medida que se incrementó el nivel de sombreado.

La (TCE_TCC)_Q promedio fue un 40% superior en FS 1 del año 2009 respecto a igual fecha del año 2008. En FS 2 es diferencia fue aún mayor, alcanzando el 57%, siendo siempre superior en el 2009 (Figura 19).

Tabla 21: Partición a espiga por unidad de cociente fototermal Q (TCE_TCC)_Q de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra optima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008- 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11'S 59° 52'W).

FS	FS 1		FS 2	
Año	2008	2009	2008	2009
Nivel de sombreado	(TCE_TCC)_Q			
Control	0,7	0,9 a	0,82 a	1,3
S 40	1,2	1,6 b	1,4 b	2,1
S 80	3,2	2,6 c	4,4 c	6,5
Genotipos				
ACA 901	1,8	1,8 a	2,3 a	3,2
Baguette Premium 13	1,7	1,7 a	2,3 a	3,5
BIOINTA 1001	1,8	1,7 a	2,2 a	3,2
Cronox	1,7	1,6 a	2,1 a	2,8
INIA Cóndor	1,8	1,7 a	2,1 a	3,5
Klein Tauro	1,3	1,9 a	2,3 a	3,8
ANOVA				
Genotipo	*	ns	ns	*
Sombreo	***	***	***	***
Genotipo x Sombreo	*	ns	ns	***

* ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ y $0,0001$) respectivamente; ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en columnas indican diferencias según test de Tukey ($\alpha = 0.05$)

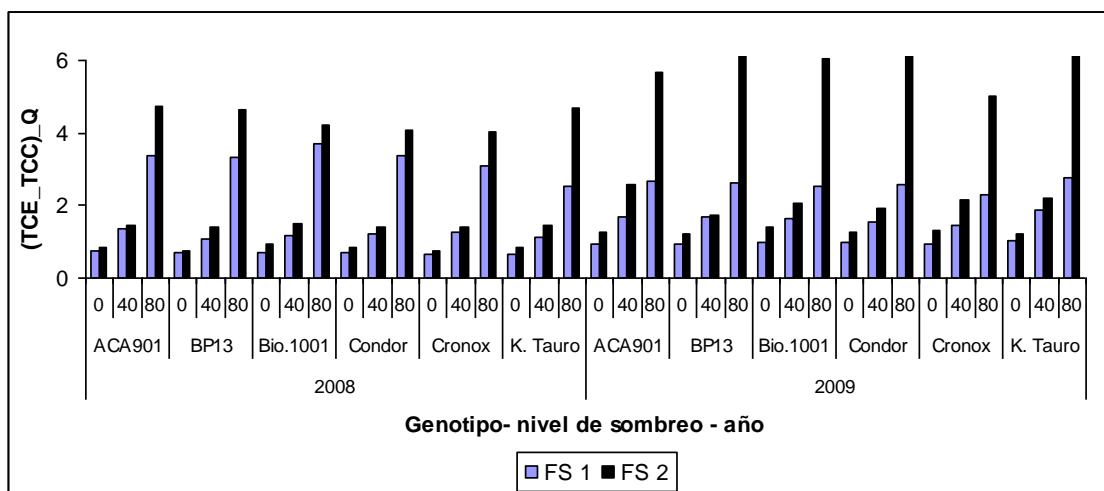


Figura 19: Partición a espiga por unidad de cociente fototermal (TCE_TCC_Q) en 6 genotipos de ciclo corto, logrados en 3 niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra optima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11' S 59° 52' W) .

4.3.4.3 Número de espiguillas fértiles por unidad de cociente fototermal ($EspF_Q$)

El efecto del sombreado fue altamente significativo sobre el número de $EspF_Q$ ($p \leq 0,0001$), donde el número de $EspF_Q$ se incrementó notablemente en los mayores niveles de sombreado (Tabla 22).

En FS 1 y FS 2 del año 2008 se registraron diferencias estadísticas en el número de $EspF_Q$ en los diferentes niveles de sombreado y entre genotipos ($p \leq 0,05$).

En FS 1 del año 2008, INIA Cóndor se diferenció estadísticamente de BIOINTA 1001 y Cronox, pero no de los demás genotipos. En FS 2 del año 2008, INIA Cóndor se diferenció estadísticamente de Baguette Premium 13, Cronox y Klein Tauro, pero no del resto de genotipos.

En FS 1 y FS 2 del año 2009, en S 40 se registraron incrementos en el número de $EspF_Q$ entre un 56 y 62 % respecto al tratamiento control. En S 80, el número de $EspF_Q$ se triplicó respecto al tratamiento control.

En todas las FS y años se registraron incrementos en el número de $EspF_Q$, al incrementarse el nivel de sombreado, pero a diferencia de lo registrado en la (TCE_TCC_Q), las diferencias entre años fueron mínimas (Figura 20)

Tabla 22: Número de espiguillas fértiles por unidad de cociente fototermal Q (EspF_Q) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11'S 59° 52'W).

FS	FS 1		FS 2	
Año	2008	2009	2008	2009
Nivel de sombreado	EspF_Q			
Control	32 a	38	30 a	36
S 40	49 b	59	47 b	58
S 80	146 c	147	168 c	154
Genotipos				
ACA 901	79 ab	80	85 ab	90
Baguette Premium 13	74 ab	77	75 b	81
BIOINTA 1001	72 b	80	83 ab	76
Cronox	69 b	78	75 b	73
INIA Cóndor	84 a	93	94 a	93
Klein Tauro	76 ab	81	77 b	83
ANOVA				
Genotipo	*	***	**	***
Sombreado	***	***	***	***
Genotipo x Sombreado	ns	***	ns	***

* ** ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$; 0,001 y 0,0001) respectivamente; ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en columnas indican diferencias según test de Tukey ($\alpha = 0.05$)

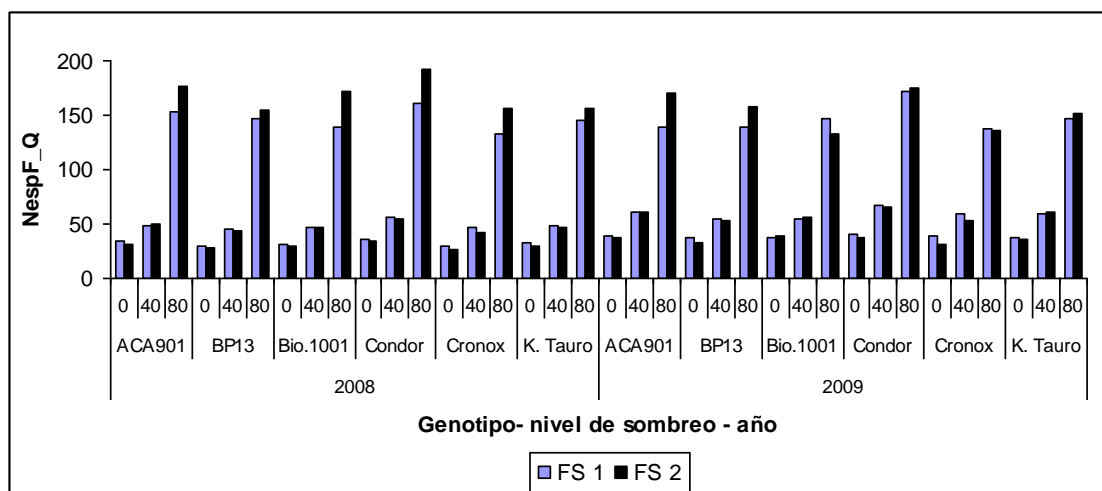


Figura 20: Número de espiguillas fértiles por unidad de cociente fototermal Q (NespF_Q) en 6 genotipos de ciclo corto, logrados en 3 niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11'S 59° 52'W).

4.3.4.4 Número de espiguillas infértiles por unidad de cociente fototermal Q (Espl_Q)

El efecto del sombreado fue altamente significativo sobre el número de Espl_Q ($p \leq 0,0001$), las que se incrementaron en los niveles de sombreado mas altos (Tabla 23).

En FS 1 y FS 2 del año 2008 se registraron diferencias estadísticas en el número de Espl_Q en los diferentes niveles de sombreado ($p \leq 0,05$).

Los genotipos no se diferenciaron estadísticamente en el número de Espl_Q ($p \leq 0,05$).

En la FS 1 del año 2009, el incremento en el número de Espl_Q entre los niveles de sombreado fueron similares a los registrados en FS 2 del mismo año. En S 40 el número de Espl_Q se triplicó respecto al tratamiento control, mientras que en S 80, el número de Espl_Q fue 10 veces superior al tratamiento control.

El número de Espl_Q en el tratamiento control fue similar en 3 de las 4 FS, en los años 2008 y 2009.

En todas las FS y años, en el nivel de sombreado S 80 se registró incrementos importantes en el número de Espl_Q (Figura 21).

Tabla 23: Número de espiguillas infértiles por unidad de cociente fototermal Q (Espl_Q) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra optima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11'S 59° 52'W).

FS	FS 1		FS 2	
Año	2008	2009	2008	2009
Nivel de sombreado	Espl_Q			
Control	4 a	4	4 a	5
S 40	8 b	14	8 b	12
S 80	59 c	52	63 c	50
Genotipos				
ACA 901	24 a	26	28 a	28
Baguette Premium 13	25 a	20	22 a	18
BIOINTA 1001	26 a	24	24 a	22
Cronox	25 a	21	26 a	20
INIA Cóndor	23 a	21	20 a	25
Klein Tauro	26 a	29	30 a	22
ANOVA				
Genotipo	ns	***	ns	*
Sombreado	***	***	***	***
Genotipo x Sombreado	ns	***	ns	*

* ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ y $0,0001$) respectivamente, ns, indica diferencias no significativas. Letras diferentes en cada año indican diferencias según test de Tukey ($\alpha = 0.05$)

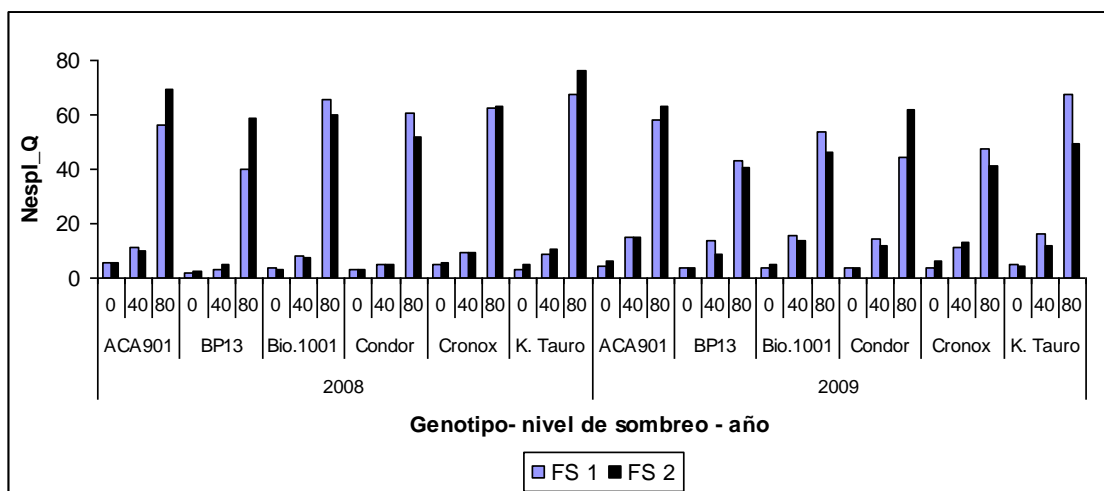


Figura 21: Número de espiguillas infértiles por unidad de cociente fototermal Q (Nespl_Q) en 6 genotipos de ciclo corto, logrados en 3 niveles de sombreado (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11' S 59° 52' W).

4.3.4.5 Número de flores fértiles por unidad de cociente fototermal Q (NFF_Q)

El efecto del sombreado fue altamente significativo sobre el NFF_Q ($p \leq 0,0001$), el cual se incrementó al incrementarse el nivel de sombreado (Tabla 24).

En FS 1 en los años 2008 – 2009, en S40, respecto al tratamiento control, el NFF_Q se incrementó entre un 12 y 39% respectivamente.

En FS 2, en ambos años, el incremento en el NFF en S 40 respecto al tratamiento control fue entre un 33 y 39% respectivamente.

En todas las FS, en los años 2008 – 2009, el NFF_Q se cuadruplicó en S 80 respecto al tratamiento control.

Es decir que en todas las FS y años se registraron incrementos en el NFF_Q, al incrementarse el nivel de sombreado. Los genotipos presentaron diferencias en el NFF_Q según FS y año considerado, no evidenciándose un comportamiento consistente en las situaciones evaluadas (Figura 22).

Tabla 24: Número de flores fértiles por unidad de cociente fototermal Q (NFF_Q) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreo (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11'S 59° 52'W).

FS	FS 1		FS 2	
Año	2008	2009	2008	2009
Nivel de sombreo	NFF_Q			
Control	86	74	76	76
S 40	96	103	101	106
S 80	258	231	240	271
Genotipos				
ACA 901	154	126	151	170
Baguette P. 13	138	124	122	145
BIOINTA 1001	158	135	146	141
Cronox	135	129	131	145
INIA Cóndor	145	154	138	162
Klein Tauro	151	149	145	142
ANOVA				
Genotipo	*	***	***	***
Sombreo	***	***	***	***
Genotipo x Sombreo	**	***	*	***

* ** ***, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$; 0,001 y 0,0001) respectivamente.

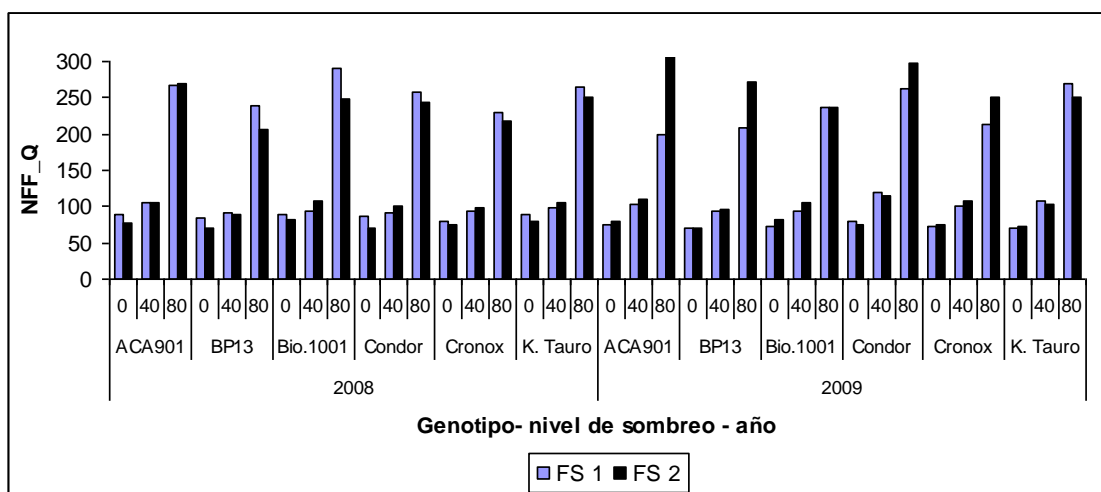


Figura 22: Número de flores fértiles por unidad de cociente fototermal Q (NFF_Q) de 6 genotipos de trigo ciclo corto en tres niveles de sombreo (Control 0; S 40: 40% intercepción radiación; S 80: 80% intercepción de radiación) en fecha siembra óptima (FS 1) y fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat. 29° 11'S 59° 52'W).

4.3.5 Respuesta a la fecha de siembra en la relación del crecimiento, partición de asimilados a espiga y estructuras florales logradas por unidad de cociente fotothermal

Cuando se analizó en comportamiento de los diferentes genotipos en el tratamiento control por FS, de las relaciones analizadas en el presente capítulo (Figura 23), se comprobó que el NG_Q fue menor en FS 2, no diferenciándose los genotipos entre sí a igual FS ($p \leq 0,05$).

La TCC_Q no se diferenció entre genotipos como así tampoco por FS ($p \leq 0,05$).

BIOINTA 1001 fue el único genotipo donde la (TCE_TCC)_Q se diferenció estadísticamente entre FS ($p \leq 0,05$). No se registraron diferencias en la (TCE_TCC)_Q en los restantes genotipos por FS ($p \leq 0,05$), si bien siempre fue superior en FS 2.

Los genotipos no se diferenciaron en el número de EspF_Q por FS, mientras que en el número de EspI_Q solo Cronox registró mayor cantidad de EspI_Q en FS 2, diferenciándose estadísticamente de la FS 1 ($p \leq 0,05$).

No se registraron diferencias estadísticas significativas cuando se analizó el NFF_Q entre FS, con excepción de INIA Cóndor, donde se registró menor NFF_Q en FS 2 ($p \leq 0,05$).

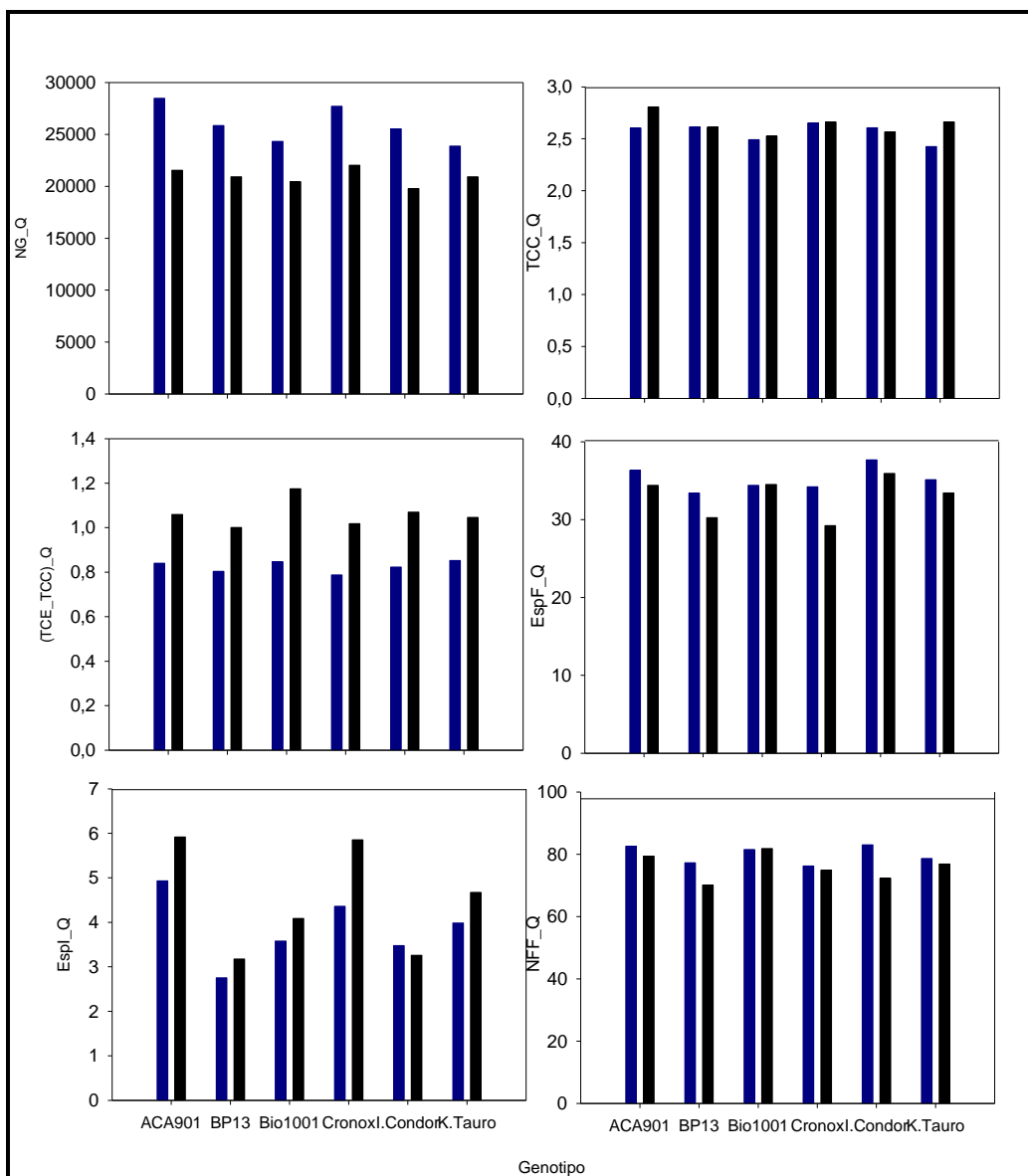


Figura 23: Relación entre número de grano por unidad de Q (NG_Q), tasa de crecimiento del cultivo por unidad de Q (TCC_Q), partición a espiga por unidad de Q (TCE_TCC)_Q, número de espiguillas fértiles por unidad de Q (EspF_Q), número de espiguillas infértiles por unidad de Q (EspI_Q) y número de flores fértiles por unidad de Q (NFF_Q). Los datos corresponden a los genotipos sembrados en fecha de siembra óptima (FS 1) y a fecha de siembra tardía (FS 2), en los años 2008 y 2009. Reconquista, Santa Fe (Lat 29° 11' S 59° 52' W). Barras azules: FS 1 (2008 -2009), barras negras: FS 2 (2008- 2009).

4.4 Discusión

En el desarrollo del experimento, mediante modificaciones en la radiación incidente (por sombreado) y de la temperatura (modificando fecha de siembra) se logró un rango de cociente fototermal comprendido entre 0,1 y 0,6 MJ m⁻² d⁻¹ °C⁻¹.

Fischer (1985) y Abbate *et al.*, (1994), realizaron sus clásicos trabajos con valores de cociente fototermal comprendido entre 0,3 y 0,9 MJ m⁻² d⁻¹ °C⁻¹.

El NG m⁻² se relacionó estrechamente con el cociente fototermal registrado durante el PCE. Esta asociación es consistente con similares respuestas encontradas en el cultivo de trigo por Fischer (1985); Abbate *et al.*, (1994), girasol (Cantagallo *et al.*, 1997) y maíz (Andrade *et al.*, 2000).

Abbate *et al.*, (1994) concluyeron que la función por ellos obtenida, no difería de la obtenida por Fischer (1985). Sin embargo, la función que surge del desarrollo de estos experimentos, donde participaron genotipos de reciente liberación en el mercado, presentó mayor pendiente que las mencionadas por los autores antes citados. Observándose una sobreestimación en el NG en valores más altos de Q.

Esta diferencia en el valor de la pendiente podría ser explicada por la diferencia en el rango de cociente fototermal explorado y por la capacidad de respuesta de los genotipos modernos, fijando estos, mayor cantidad de granos.

Sin embargo, para el rango de Q que el cultivo de trigo explora en condiciones naturales en el Norte de la provincia de Santa Fe, i.e. cercano a 0,5 Mj m⁻² d⁻¹ °C⁻¹, los valores predichos por la funciones de Fischer y Abbate *et al.*, son similares a los obtenidos en estos experimentos.

Los seis genotipos no se diferenciaron en el valor de la pendiente, cuyo ordenada al origen no fue diferente de cero ($p > 0,05$).

Lázaro (2000) encontró que la relación entre NG y el Q difirió entre genotipos, los que presentaron diferencias en la ordenada al origen, como conclusión de un trabajo que incluyó genotipos de trigo liberados en la década de 1980 y con sombreado de menor intensidad que los realizados en estos experimentos.

La respuesta de todas las variables analizadas por unidad de Q, integrando así los procesos de crecimiento y desarrollo, fue altamente significativa ($p \leq 0,0001$), registrándose incrementos en las mismas, al incrementarse el nivel de sombreado. Esto podría interpretarse como una estrategia compensatoria del cultivo, revelando algunos de los mecanismos involucrados en la alta plasticidad del cultivo de trigo ante condiciones ambientales contrastantes.

Sin embargo cuando se analizó a estas relaciones en los controles por fecha de siembra, solo se registró diferencia entre fecha de siembra en la relación NG_Q, siendo menor esa relación en fechas de siembra tardía.

Esta diferencia sería explicada por el efecto que la temperatura ejerce, no sobre el crecimiento sino sobre el desarrollo, i.e. acortando las etapas fenológicas. Por lo tanto las diferencias entre NFF_Q y NG_Q no serían causadas por insuficiencia de fotosintatos destinados al desarrollo de las flores, sino al acortamiento de las fases de desarrollo, especialmente reduciendo el PCE en FS 2 (Cap II).

Esto coincide con lo citado por Fischer (1985), quien mencionó que el incremento de la temperatura durante el PCE, acelera el desarrollo, reduciendo así el período de mayor acumulación de asimilados para el crecimiento de la espiga.

Lázaro *et al.* (2010) desestimaron el efecto de la temperatura en el análisis de la relación entre NG y cociente fototermal Q, puesto que la temperatura durante el PCE tuvo una variación inferior al 7%.

En general, no se registró en el presente trabajo diferencia en la respuesta entre los diferentes genotipos cuando se analizaron los componentes florales por unidad de cociente fototermal por fecha de siembra. La excepción a ello se registró en la relación EspI_Q, donde los genotipos Baguette Premium 13 e INIA Cóndor presentaron menores valores de EspI_Q.

4.5 Conclusiones

En este capítulo se obtuvo una nueva función entre el número de granos por unidad de superficie y el cociente fototermal (Q). Los 6 genotipos de trigo ciclo corto, en un ambiente del Norte de Santa Fe, no se diferenciaron entre sí, en su capacidad para fijar granos por unidad de Q.

En el análisis del efecto de los tratamientos sobre el crecimiento, número de granos y componentes florales por unidad de Q, se registró incrementos en dichas relaciones al incrementarse el nivel de sombreado. Esto podría poner en evidencias posibles mecanismos involucrados en la plasticidad del cultivo ante condiciones ambientales restrictivas para su crecimiento.

Al evaluar por fecha de siembra la relación entre crecimiento, número de grano y componentes florales por unidad de Q en los tratamientos sin sombreado, los resultados aquí encontrados sugieren que el menor número de granos fijados por unidad de Q en fechas tardías, no sería a causa de insuficiencia de fotosintatos destinados al desarrollo de flores, sino mas bien al acortamiento del período de desarrollo de la espiga por incremento en la temperatura.

En el siguiente capítulo se analiza en base al cociente fototermal Q, el efecto combinado que la radiación solar y la temperatura en la determinación del número potencial de granos en el Norte Santa Fe.

Capitulo V
Conclusiones

5.1 Conclusiones generales

Los experimentos realizados en este trabajo en el cultivo de trigo fueron diseñados para obtener un amplio rango de condiciones ambientales durante el período de crecimiento de la espiga, con el propósito de lograr un mejor entendimiento de la determinación del rendimiento potencial y sus componentes numéricos.

El cultivo de trigo fue expuesto durante el período de crecimiento de la espiga, a variaciones de temperatura y radiación incidente, i.e. atrasando la fecha de siembra y modificando la radiación incidente mediante la aplicación de sombreado.

Se analizó el efecto de la radiación incidente y temperatura sobre el rendimiento, sus componentes numéricos y crecimiento. Finalmente en base al cociente fototermal, función que integra el efecto combinado de la radiación y temperatura, se estudió el impacto que estos parámetros ambientales ejercen sobre el principal componente de rendimiento, i.e. sobre el número de granos por unidad de superficie.

Se destaca la importancia de haber incluido en el estudio niveles altos de sombreado, ya que esto permitió develar varios mecanismos de compensación del cultivo, antes condiciones de reducción extrema en el crecimiento.

Con los resultados obtenidos en el presente trabajo se demostró que el rendimiento de trigo fue particularmente sensible a la reducción en los niveles de radiación durante el PCE, lo que fue explicado por el menor número de granos por unidad de superficie, más que por cambios en el peso de los mismos.

En este trabajo se utilizó un enfoque novedoso al analizar los componentes florales por unidad de tasa de crecimiento del cultivo. Este enfoque permite dilucidar si la causa de los cambios en las variables ante condiciones contrastantes de radiación y/o temperatura son atribuibles al suministro de asimilados o a efectos directos de las temperaturas, lo que resulta crítico para llevar adelante el presente estudio.

En trabajos previos utilizando otros parámetros, Abatte *et al.*, (1995 y 1997) demostraron que la fertilidad de la espiga, i.e. NG_PSE, aumenta con menor radiación, mientras que Abbate *et al.*, (1998) encontraron diferencias sustanciales entre cultivares en la fertilidad de la espiga.

Si bien las temperaturas medias (Tmd) durante el PCE no difirieron mucho del rango obtenido por los trabajos previos (Fischer, 1985 y Abbate *et al.*, 1994, 1997), si se registraron temperaturas máximas medias (TMáx md) en un rango superior al previamente explorado.

El análisis de los componentes florales por unidad de TCC, permitió demostrar que el suministro de asimilados fue el determinante de la cantidad de estructuras florales fértiles, más que cualquier efecto directo de las altas temperaturas.

Además, la existencia de un umbral en la relación entre TCC y cantidad de estructuras florales fértiles por unidad de TCC, permitió demostrar que aún a muy bajas TCC, la cantidad de estructuras reproductivas se incrementaron de manera muy importante por debajo de dicho umbral. Destacándose además una mayor eficiencia de fijación en la cantidad de espiguillas fértiles y el número de flores fértiles por unidad de TCC, i.e el umbral de TCC por debajo del cual se incrementó la eficiencia de fijación fue menor para estas estructuras que para la cantidad de espiguillas infértiles por unidad de TCC.

El cultivo de trigo en las condiciones experimentales a las que fue sometido durante el PCE, incrementó la eficiencia de uso de la radiación (EUR) y partición a espiga, al incrementarse los niveles de sombreado. Evidenciando así estrategias de compensación en términos de los componentes ecofisiológicos, lo que demuestra el destino prioritario de los fotoasimilados en el PCE para mantener las estructuras florales.

Se destaca la importancia del análisis del crecimiento, componentes numéricos y florales por unidad de cociente fototermal (Q) pues permitió integrar el efecto conjunto de la radiación solar y la temperatura media durante el PCE dando respuesta a los interrogantes planteados sobre el efecto directo de las temperaturas en las variables estudiadas.,

Este enfoque, permitió determinar que las estrategias compensatorias llevan por diferentes vías a un comportamiento similar entre genotipos con respecto a Q, principalmente en los niveles altos de sombreado, independientemente de la fecha de siembra. De acuerdo con esto, el efecto combinado que la radiación y temperatura (Q) ejercen sobre el principal componente del rendimiento (NG), los genotipos no evidenciaron una respuesta diferencial entre sí.

La pendiente en la relación entre Q y NG fue mayor con respecto a las obtenidas en funciones previas, pero a pesar de estas diferencias, las funciones son semejantes, en el rango de Q que explora el cultivo de trigo en el Norte de Santa Fe

No obstante, este estudio brinda una nueva función validada para estimar el rendimiento potencial en función del Q, que puede ser utilizada con mayor nivel de confianza que las funciones previas, al ser obtenida en una zona con condiciones de altas temperaturas y con genotipos de reciente liberación en el mercado.

Los resultados aquí obtenidos demuestran que el menor rendimiento potencial en el Norte de Santa Fe en comparación con las zonas trigueras ubicadas más al sur del país es principalmente atribuible al menor Q y a la menor duración del PCE.

La información generada en estos experimentos permitió demostrar varios mecanismos de compensación que el cultivo de trigo desarrolla, principalmente ante reducciones del crecimiento a causa de factores ambientales, relativizando el impacto de las altas temperaturas registradas.

En el contexto productivo ambiental del noreste de Santa Fe, por lo tanto prácticas agronómicas que maximicen la tasa de crecimiento del cultivo durante el período de crecimiento de la espiga (PCE) y la duración del mismo serían las estrategias posibles para reducir la diferencia entre el rendimiento potencial y el real.

5.2 Resolución de hipótesis

Hipótesis I: la reducción del cociente fototermal Q durante el período de crecimiento de la espiga disminuye el número de grano de manera diferente entre genotipos de trigo, no se acepta con las evidencias logradas en esta tesis, debido a que podría haber diferencias entre otros genotipos no evaluados en este trabajo.

Hipótesis II: el menor número de granos, asociado a los menores valores de cociente fototermal Q , está explicado por la menor cantidad de flores fértiles por unidad de tasa de crecimiento del cultivo durante el período de crecimiento de la espiga, no se acepta.

Anexo

Fotos



Foto 1. Imagen satelital del sitio donde se realizó las experiencias durante los años 2008 – 2009. Estación Experimental INTA Reconquista. Santa Fe (Lat 29°11´ Sur, 59° 52´O)
Círculo rojo demarca la ubicación del experimento. Círculo azul, demarca la ubicación de la estación meteorológica de la Experimental agropecuaria de INTA Reconquista. Fuente: Google earth, Agosto 2009.



Foto 2. Sistema de riego por goteo mediante el empleo de mangueras de 1/2".



Foto 3. Mallas de polietileno de alta densidad para evitar vuelco del cultivo.

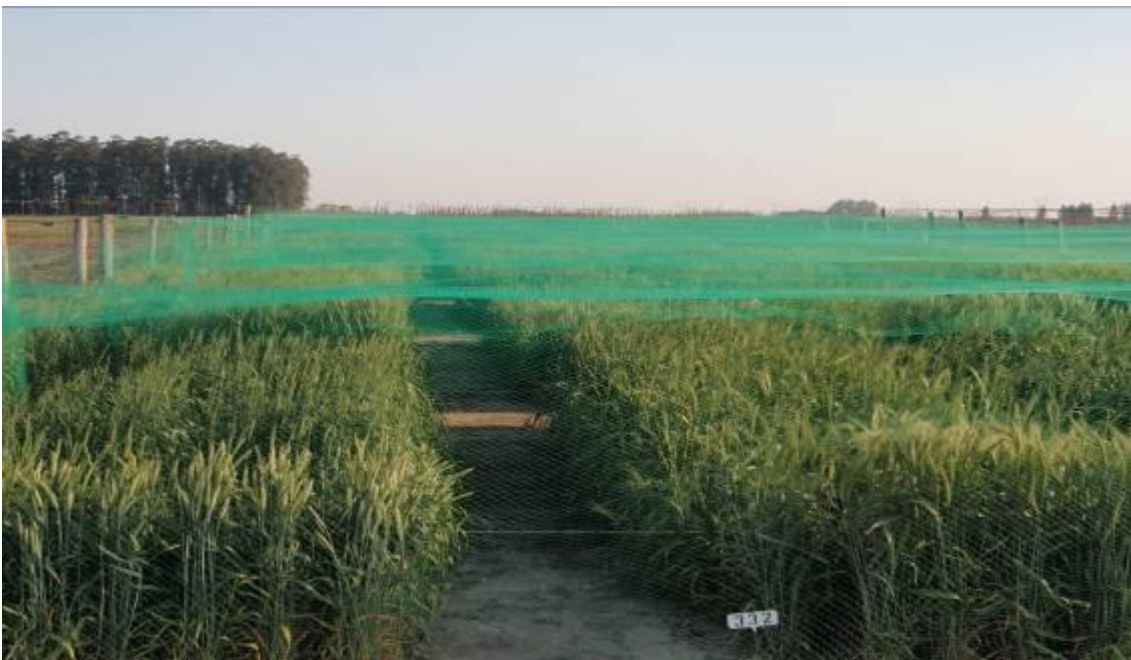


Foto 4: Malla de polietileno con tramas de 2 cm x 2 cm colocadas sobre los experimentos para evitar daños ocasionados por pájaros.



Foto 5. Vista general del experimento, tomada durante el período de crecimiento de la espiga.



Foto 6 a. Tratamiento control. El cultivo expuesto a niveles de radiación incidente natural durante todo su ciclo.



Foto 6 b. Tratamiento de sombreado S 40. Mediante la aplicación de una malla negra se interceptó el 40% de la radiación incidente durante el PCE.



Foto 6 c. Tratamiento de sombreado S 80. Mediante la aplicación de una malla negra se interceptó el 80 % de la radiación incidente durante el PCE.



Foto 7. Estado de espiguilla terminal.



Foto 8. Estado de flor fértil, tomada a través de una lupa binocular estereoscópica de 50X.



Foto 9. Pérdida de espigas en tallos durante el período de crecimiento de la espiga en los tratamientos con sombreo.

Bibliografía

- Abbate, P.E., Andrade, F.H., Culot, J., 1994. Determinación del rendimiento en trigo. EEA INTA Balcarce. Boletín Técnico N° 133
- Abbate, P.; Andrade, F.; y Culot, P. 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grain in wheat. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 124, 351-360.
- Abbate, P.E., Andrade, F.H., Culot, J., Bindraban, P.S., 1997. Grain yield in wheat: Effects and radiation during spike growth period. *Field Crops Research* 54, 245-257
- Abbate, P.; Andrade, F.; Lazaro, L.; Bariffi, J.; Berardocco, H.; V.Inza y Maturano, F. 1998. Grain yield increase in recent argentine wheat cultivars. *Crop Science*. 38:1203–1209.
- Alimentos Argentinos-MinAgri, 2010. Revistas Nro 48. http://www.alimentosargentinos.gov.ar/revistas/Nro_48.asp [con acceso 27/06/2010]
- Andrade, F.H., 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown al Balcarce, Argentina. *Field Crops Research*. 41,1-12
- Andrade, F.H.; Cirilo, A.; Uhuart, S.A.; y Otegui, M., 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. La Barrosa (Ed). Dekalpress.INTA, FCA UNMP.
- Andrade, F.H., Otegui, M.E., Vega, C., 2000. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. *Agronomic Journal*. 92, 92-97 .
- Angstrom, A., 1924. Solar & terrestrial radiation. *Q J R Met Soc*. 50, 121–125 p.
- Bolsa de cereales, 2011. Panorama agrícola. <http://www.bolcereales.com.ar/> [con acceso 15/04/2011]
- Antuña, J.C., 2011. Mapa agroalimentario mundial. Ediciones. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 359
- Borrás, L., Slafer, G.A., Otegui, M.E., 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research*. 86, 131-146
- Calderini, D.F., Abeledo, L.G., Savin, R. y Slafer, G.A., 1998. Effect of temperature and carpel size during pre-anthesis on potential grain weight in wheat. *Journal of agricultural Science, Cambridge*, 132, 453-459 .
- Calderini, D.F., Lizana, C., Riegel R., 2010. Determinación del peso potencial de los granos de trigo y su comparación con otros cultivos. Avances en ecofisiología de cultivos de granos. Capítulo 4. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires
- Cantagallo, J.E., Chimenti, C.A., Hall, A.J., 1997. Number of seeds per unit area in sunflower correlates well with a photothermal quotient. *Crop Science*. 37, 1780-1786
- Cantarero, M., Dardanelli, J., y Badiali, O., 1998. Factores ambientales que determinan el rendimiento potencial en trigo. En: Riego y Agricultura de Precisión. EEA INTA Manfredi, Córdoba, Argentina. 16–26

Caviglia, O.P., Papparotti, O.F., 2000. Fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo en Paraná. Efectos sobre crecimiento, rendimiento y sus componentes numéricos y ecofisiológicos. INTA EEA Paraná. Trigo. Actualización Técnica. Serie de Extensión N° 18, 55-60

Caviglia, O.P., Sadras, V.O., 2001a. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water-and radiation-use efficiency of wheat. *Field Crops Research* 69, 259-266.

Caviglia, O.P., Melchiori, R.J., Barbagelata, P.A., Papparotti, O.F., 2001b. Determinación del número de granos con diferentes disponibilidades hídricas durante el período de crecimiento de las espigas. V Congreso Nacional de Trigo/III Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invierno. Carlos Paz. Córdoba.

Caviglia, O.P., Melchiori, R.J., Brach, A.M., 2006. Factores ambientales y fisiológicos que determinan el rendimiento potencial del trigo. *Información para Extensión* N° 85 EEA INTA Reconquista, 5-15

Caviglia, O.P., Brach, A.M., 2008. Asociaciones entre el rendimiento del trigo y variables meteorológicas en Reconquista. *Publicación Miscelánea* N° 14 EEA INTA Reconquista 8-15

Caviglia, O.P.; Andrade, F.H. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean Pampas: Capture and use efficiency of environmental resources. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology* 3:1-8.

Dolferus, R., Ji, X., Richards, R.A. Abiotic stress and control of grain number in cereals, *Plant Science.*, 2011 doi:10.1016/j.plantsci.2011.05.015

Estrada-Campuzano, G., Miralles, D. J., Salfer, G. A., 2008. Yield determination in triticale as affected by radiation in different development phases. *European Journal of Agronomy* 28, 597-605

Evans, L.T., 1993. *Crop evolution, adaptation and yield.* Cambridge University Press. Cambridge, U.K. 500

FAOSTAT. Production. <http://faostat.fao.org/site/339>. [Con acceso 4/03/2011]

Fischer, R.A., 1975. Yield Potential in a Dwarf Spring Wheat and the Effect of Shading. *Crop Science* 15, 607- 613

Fischer, R.A., Maurer, R.O., 1976. Crop Temperature Modification and Yield Potential in a Dwarf Spring Wheat. *Crop Science* 16, 855-859

Fischer, R.A., 1983. Growth and yield of wheat. In: Smith, W.H., Banta, S.J. (Eds), *Potencial productivity of field crops under different environments.* IRRI, Los Baños, 129-154

Fischer, R.A., 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 105, 447-461

Gallagher, J.N., Biscoe, P. V., 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 91, 47-60

González, A., 2008. La sequía que afecta el Norte Santafesino. *Voces y Ecos.* Año X N° 21. *Publicaciones Regionales INTA Reconquista* 26-27

Hall, A.J., Rebella, C.M., Ghera, C.M., and Culot, J.P., 1992. Field crop systems of the Pampas. *Ecosystems of the world*. Vol. 18, 413-450 p.

Healey, K.D., Rickert, K.G., Hammer, G.L., Bange, M.P., 1998. Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incident radiation is enhanced under shade. *Australian journal Agriculture Research* 49, 665-672

INASE, 2011. RED-Red de ensayos comparativos de variedades de trigo. <http://inase.gov.ar> [con acceso 9/03/2011]

INTA Balcarce, 2011. Información Agrometeorológica. <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/meteorologia/meteoro2.htm> [con acceso 1/08/2011]

INTA Reconquista, 2010. Información meteorológica. <http://www.inta.gov.ar/reconquista/info/meteor.htm> [con acceso 4/03/2010]

Kemanian, A.R., Stöckle, C.O., Huggins, D.R., 2004. Variability of barley radiation-use efficiency. *Crop Science*, 44, 1662-1672

Kiniry, J.R., Jones, C.A., O'Toole, J.C., Blanchet, R., Caelguenne, M., y Spanel, D.A., 1989. Radiation – use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. *Field crop Research*, 20, 51-64

Kirby, E.J., 1988. Analysis of leaf, stem and ear growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. *Field Crops Research*, Vol 18, 127- 140

Lázaro L., Abbate P.E., Gutheim F., Montenegro A.A. y Bariffi J.H., 2000. Diferencias entre cultivares de trigo en la respuesta del número de granos al cociente fototermal. 8° Reunión Argentina y 2° Latinoamericana de Agrometeorología. Mendoza, 3

Lázaro, L., Abbate, P.E., Cogliatti, D.H., Andrade, F.H., 2010. Relationship between yield, growth and spike weight in wheat under phosphorus deficiency and shading. *Journal of Agricultural Science*, Vol 148 (1), 83-93

Lázaro, L., Abbate, P.E., 2011. Cultivar effects on relationship between grain Lumber and photothermal quotient or Spike dry weight in wheat. *Journal of Agricultural Science*. Page 1-18

Lobell, D.B., Cassman, K.G., y Field, C.B., 2009. Crop yield Gaps: Their importance, magnitudes, and Causes. *Annual Review of Environment and Resources*. 34, 179-204

Loomis, R.S. y Connor, D.J., 1992. *Crop ecology. Productivity and management in Agriculture systems*. Cambridge

Magrin, G.O., Hall, A.J., Baldy, C., Grondona, M.O., 1993. Spatial and interannual variations in the photothermal quotient: implications for the potential kernel number of wheat crops in Argentina. *Agricultural and Forest Meteorology*, 67,29-41

Magrin, G., 2004. Rendimiento potencial de trigo en las distintas zonas trigueras. <http://www.acopiadores.com/publico/atodotrigo/> [con acceso 21/07/2010]

Menéndez, F.J., Satorre, E.H., 2007. Evaluating wheat yield potencial determination in the Argentine Pampas. *Agriculture systems* 95, 1-10

- Midmore, D.J., Cartwright, P.M. y Fischer, R.A. 1984. Wheat in tropical environments. II. Crop growth and grain yield. *Field Crops Research.*, 8, 207-227.
- Miralles, D., Windauer, L. y Gomez, N., 2003. Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de grano. In: Satorre, E., Benech A, R., Slafer, G., De La Fuente, E., Miralles, D., Otegui, M. y Savin, R. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Editorial Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía. 61-71
- Miralles, D., y Gonzalez, F., 2011. EL trigo en la Argentina: Perspectivas ecofisiológicas del pasado, presente y futuro para aumentar el rendimiento. http://www.agro.faua.info/files/miralles_aapresid.pdf [con acceso 6/01/2011]
- Monteith, J.L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *The Journal Applied Ecology*, 9 (3) 747-766.
- Monteith, J.L., 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical transactions of the Royal Society of London, serie B, Biological Sciences*, 218, 277-294
- Prescott, J.A., 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans. R Soc S Aust.* 64, 114–118
- Rawson, H. M., Bagga A.K., 1979. Influence of Temperature between Floral Initiation and Flag Leaf Emergence on Grain Number in Wheat. *Australian Journal Plant Physiology* 6, 391-400
- SAGPyA, estimaciones agrícolas mensuales, 2009. www.sagpya.gov.ar/estimacionesagricolas [Con acceso 4/03/2010]
- Saini, H.S., y Aspinall, D., 1982. Abnormal sporogenesis in wheat (*triticum aestivum* L) induced by short period of high temperature. *Annals of Botany.* 49, 835-846
- Saini, H.S., Sedgley, M., y Aspinall, D., 1983. Effect of heat stress duringo floral development on pollen tube growth and ovary anatomy in wheat (*triticum aestivum* L.). *Australian Journal Physiology.*, 10, 137-144 p.
- SAS Institute. 2003. SAS procedures for personal computers.v.9.1.SAS Inst., Cary, NC
- Serrago, R.A., Carretero, R., Bancal, M.O., Miralles, D.J., 2011. Grain weight response to foliar diseases control in wheat (*Triticum aestivum* L.) *Field Crops Research* 120, 352-359
- Sibony, M., y Pinthus, M.J., 1988. Floret initiation and development in Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) *Annals of Botany* 61, 473-479
- Sinclair, T.S., y Tatsuhiko, S., 1993. Soybean radiation-Use efficiency as influenced by nonuniform specific leaf nitrogen distribution and diffuse radiation. *Crop Science.* 33, 808-812
- Sinclair, T., y Muchow, R., 1999. Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy* 65, 217-265

Slafer, G.A., Miralles, D.J., Savin, R., Whitechurch, E.M., Gonzalez, F.G., 2004. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. Capítulo 7. Editorial facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

Slafer, G., Rawson, H. M., 1994. Does temperature affect final number of primordia in wheat?. *Field Crops Research* 39, 111-117

Sophanodora, P., 1989. Productivity and nitrogen nutrition of some tropical pasture species under low radiation environments. PhD thesis, University of Queensland, Australia.

Stockman, Y.M., Fischer, R.A., Brittain, E.G., 1983. Assimilate supply and floret development within the spike of wheat (*Triticum aestivum* L). *Aust.J. Plant Physiology*. 10, 585 – 594

Szeicz, G., 1974. Solar radiation in crop canopies. *J. Appl. Ecol.* 11, 617-636

Thorne, G.N., y Wood, D.W., 1987. Effects of radiation and temperature on tiller survival, grain number and grain yield in winter wheat. *Annals of Botany* 59, 413-426

Ugarte, C., Calderini, D.F., Slafer, G.A., 2007. Grain weight and grain number responsiveness to pre-anthesis temperature in wheat, barley and triticale. *Field Crops Research* 100, 240-248

Van Ittersum, M.K., Rabbinge, R., 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input–output combinations. *Field Crops Research* 52, 197–208

Vidal, C. M., 2006 .Evaluación de la aptitud de las tierras para riego por aspersión en el Noreste Santafesino. Tesis Especialización en riego de tierras agrícolas.<http://www.inta.gov.ar/reconquista/info/documentos/agricultura/capitulo2.pdf>

Vivas, H. S., Speranza, V., Whutrich, A. F., Lacelli, G., y Sosa, M. A., 1992. Proyecto de agricultura conservacionista para el noreste de Santa Fe. Características edáficas, climáticas y productivas. *Miscelánea N° 10. INTA. E.E.A. Reconquista.*

Waddington, S. R., Cartwright, P. M., 1983. A quantitative Scale of spike initial and pistil development in barley and wheat. *Annals of Botany* 51, 119 -130

Wardlaw, I. F., Dawson, I. A., Munibi, P., y Fewster, R., 1989. The tolerance of wheat to high temperature during reproductive growth. Survey procedures and general response patterns. *Australian Journal of Agriculture Research*. 40 (1) 1-13

Warrington, I.J., Dunstone, R.L. y Green, L.M. 1977. Temperature effects at three development stages on the yield of the wheat ear. *Australian Journal Agriculture Research.*, 28, 11-27.

Zadoks, J. C., Chang, T. T., Konzak, C. F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*. 14, 415-421