

**Interacción genotipo por ambiente sobre caracteres de calidad comercial e industrial en trigo pan (*Triticum aestivum* L.)**

*Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,  
Área Producción Vegetal*

**Dionisio Tomás Gómez**

Ingeniero Agrónomo - Universidad Nacional de Río Cuarto - 2003

Estación Experimental INTA Marcos Juárez



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano  
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

## COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

**Daniel Julio Miralles**

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

Post-doctorado, Commonwealth Scientific, Industrial and Research Organization (CSIRO),  
Canberra, Australia

Consejero de Estudios

**Jorge Frascina**

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Magister en Mejoramiento Genético (Universidad Nacional de Mar del Plata)

## JURADO DE TESIS

Director de tesis

**Daniel Julio Miralles**

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

Post-doctorado, Commonwealth Scientific, Industrial and Research Organization (CSIRO),  
Canberra, Australia

JURADO

**Gabriela Edith Tanquilli**

Ingeniera Agrónoma (Universidad de Buenos Aires)

Doctora en Ciencias Agropecuaria (Universidad de Buenos Aires)

JURADO

**José Luis Rotundo**

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Magister en Recursos Naturales (Universidad de Buenos Aires)

Post-doctorado en Fisiología de Cultivos (Iowa State University)

Fecha de defensa de la tesis: 25 de Agosto de 2011

## AGRADECIMIENTOS

A mis directores de tesis Daniel Miralles y Jorge Fraschina por las horas dedicadas y por brindarme todos sus conocimientos y experiencia en el tema y por sus consejos cotidianos durante todo el proceso de investigación.

A mis compañeros del grupo Mejoramiento Genético Vegetal: Trichi, Jorge N, Carlos, Enrique, Guillermo, José por su vocación para transmitirme todas sus ideas y formarme profesionalmente.

Al personal de apoyo, Segundo, Abel, Bravo, Osvaldo, Haroldo, Enrique, Carlos, Cristian, Fernando, Leonardo, Luciano y Romina, por su colaboración en el la siembra, mantenimiento y cosecha de los ensayos utilizados para ésta tesis.

A las estadistas Bety y Belén por ofrecerme sus consejos y por su asistencia en los análisis e interpretación de los datos generados en éste trabajo.

Al grupo del laboratorio de calidad de trigo, Marta, Leti y a sus ayudante por su contribución en el procesamientos de muestras y medición de los parámetros de calidad.

Al resto de mis compañeros y amigos de la EEA INTA Marcos Juárez, por trasmitirme entusiasmos, por su predisposición a escucharme y ayudarme en lo que fuera necesario.

A los técnicos del INTA Pergamino, Omar e Ignacio por su cooperación para llevar adelantes los ensayos realizados en esa localidad.

Al INTA y la Universidad de Buenos aires por facilitarme el espacio y por darme la posibilidad de capacitarme profesionalmente.

A mis padres Dionisio y Agueda y a mis hermanos, Cecilia, Ariel, Horacio y Estefanía, por su confianza y apoyo en todos mis emprendimientos.

## INDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Pagina</b>
<b>SIGLAS Y ABREVIATURAS</b>	<b>VI</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>VIII</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>XII</b>
<b>DECLARACION</b>	<b>XIX</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XX</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>XXI</b>
<b>CAPITULO 1: INTRODUCCION</b>	
1.1 Problemática	1
1.2 Efecto ambiental sobre el rendimiento y la calidad	1
1.3 Control genético de la calidad	3
1.4 Interacción genotipo por ambiente sobre los parámetros de calidad	4
1.5 Relación rendimiento Calidad	5
1.6 Objetivo e hipótesis	6
1.6.1 Objetivo general	6
1.6.2 Objetivo específicos	6
1.7 Hipótesis	6
1.8 Estructura general de la tesis	7
<b>CAPITULO 2: MATERIALES Y METODOS</b>	
2.1 Descripción general del sitio experimental y diseño experimental	8
2.2 Material vegetal	9
2.3 Análisis estadísticos	9
<b>CAPITULO 3: CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL Y FENOLOGICA DURANTE LA ONTOGENIA DEL CULTIVO</b>	
3.1 Introducción	11
3.2 Materiales y Métodos	11
3.2.1 Variables medidas	11
3.3 Resultados	11
3.3.1 Descripción ambiental de los ensayos	11
3.3.2 Descripción fenológica en unidades calendarías	14
3.3.3 Descripción fenológica en unidades térmicas	15
3.4 Discusión	16
3.4.1 Impacto de la disponibilidad de nitrógeno sobre la fenología	16
<b>CAPITULO 4: GENERACION DE BIOMASA, RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES</b>	
4.1 Introducción	18
4.2 Materiales y Métodos	18
4.2.1 Variables medidas	18
4.2.1.2 Radiación Interceptada Acumulada	18
4.2.1.2 Biomasa acumulada	19
4.2.1.3 Componentes de rendimiento	19
4.3 Resultados	19
4.3.1 Componentes numéricos del rendimiento	19
4.3.2 Componente fisiológico de la biomasa	28

4.4 Discusión	33
4.4.1 Impacto de la disponibilidad de nitrógeno sobre el rendimiento y sus componentes	33

## **CAPITULO 5: DINAMICA DE LLENADO DE GRANOS**

5.1 Introducción	36
5.2 Materiales y Métodos	37
5.2.1 Variables medidas	37
5.2.1.1 Llenado de los granos	37
5.2.1.2 Dinámica del llenado de granos	37
5.3 Resultados	37
5.3.1 Parámetros que definen el llenado de granos	37
5.4 Discusión	42

## **CAPITULO 6: CALIDAD COMERCIAL Y PANADERA**

5.1 Introducción	44
5.2 Materiales y Métodos	44
5.2.1 Variables medidas	44
6.2.1.1 Calidad comercial e industrial	44
6.3 Resultados	45
6.3.1 Parámetros que definen la calidad comercial e industrial	45
6.3.2 Parámetros que determinan la calidad industrial	53
6.3.3 Parámetros de panificación	61
6.4 Discusión	68

## **CAPITULO 7: DISCUSIÓN**

7.1 Impacto de la disponibilidad de nitrógeno sobre la fenología	71
7.2 Disponibilidad de nitrógeno el rendimiento y sus componentes	71
7.3 Cambios en la disponibilidad de nitrógeno y su impacto sobre la calidad	73
7.4 Estabilidad de variedades con diferente aptitud panadera	74
7.5 Relación rendimiento calidad	76
7.6 Futuras investigaciones	79
7.7 Conclusiones	80
7.8 Bibliografía	82
7.9 Anexo	91

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

<b>Sigla/Abreviatura</b>	<b>Significado</b>	<b>Unidad</b>
AA	Absorción de agua	%
AACC	American Association of Cereal	''''
AG	klein Aguará	''''
ANVA	Análisis de varianza	''''
AUT	Agua útil total	mm
BIOM	Biomasa producida	g/m <sup>2</sup>
CCI	Comité de Cereales de Invierno	''''
CH	Klein Chacarero	''''
CP	Componentes Principales	''''
D	Duración del llenado de granos	°Cd
D visual	Duración visual del llenado de granos	°Cd
Def	Duración efectiva del llenado de grano	°Cd
EP	Momento de Espigazón	Fecha o °Cd
ES	Klein Escorpión	
EUR	Eficiencia del uso de la radiación	g/MJ
F	Contenido de fósforo en el suelo	ppm
FL	Momento de floración	Fecha o °Cd
G	Genotipo	''''
GxA	Interacción genotipo por ambiente	''''
GA	Klein Gavilán	''''
GC	Grupo de calidad	''''
GGE	Efecto del genotipo y de la interacción genotipo por ambiente	''''
GLH	contenido de gluten húmedo	%
IC	Índice de cosecha	''''
Ical	Índice de calidad panadera	''''
INASE	Instituto Nacional de Semillas	''''
L	Extensibilidad de la masa	mm
LLUV	Agua llovida	mm
LOC	Localidad	''''
MA	Mega ambientes	''''
MF	Momento de madurez fisiológica	Fecha o °Cd
N	Tratamiento de nitrógeno	''''
N0	Tratamiento sin fertilización inicial	''''
N0-0	Tratamiento sin fertilización inicial y sin fertilización foliar	''''
N0-1	Tratamiento sin fertilización inicial y con fertilización foliar	''''
N1	Tratamiento con fertilización inicial	''''
N1-0	Tratamiento con fertilización inicial y sin fertilización foliar	''''
N1-1	Tratamiento con fertilización inicial y con fertilización foliar	''''
NE	Numero de espiga	n°/m <sup>2</sup>
Nf	Tratamientos de fertilización foliar	''''
NG	Numero de granos	n°/m <sup>2</sup>
NG/ESP	Numero de granos por espigas	n°/espiga
Ni	Tratamiento de fertilización inicial	''''
NIRT	Near Infra Red Transmisión	''''
NS	No significativo	''''

P	tenacidad de las masas	mm
P/L	Relación de equilibrio de la masa Tenacidad/extensibilidad	,,,,,
PH	Peso hectolitrico	g/lts
PMG	Peso de mil granos	g
PROT	Contenido de Proteína	%
PSF	Peso seco final de los granos	mg
RADinc	Radiación solar incidente	MJ/m <sup>2</sup>
RADint	Radiación solar interceptada	MJ/m <sup>2</sup>
REND	Rendimiento en granos	g/m <sup>2</sup>
RET	Red Ensayos de Trigo	,,,,,
RGO	Agua de riego	mm
RI acum.	Radiación Interceptada acumulada	MJ/m <sup>2</sup>
SAGPyA	Secretaria de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentos	,,,,,
SU	Buck Sureño	,,,,,
TAM	Tiempo de amasado	min
TO	Inia Torcaza	,,,,,
T°MED	Temperatura media diaria	°C
TS	Tasa de llenado de los granos	mg/°Cd
TT	Tiempo térmico	°Cd
VAR	Variedades	,,,,,
Vol	Volumen de pan	cc
W	Fuerza de las masas	Jx10 <sup>-4</sup>

## INDICE DE TABLAS

Página

Tabla 2.1: Caracterización de las variedades utilizadas (VAR) por: Grupo de calidad (GC), variantes alélicas de los loci que codifican para Gliadinas (GLI), presencia o ausencias de la traslación de centeno (1BL/1RS) y los loci <i>Glu-A1</i> , <i>Glu-B1</i> y <i>Glu-D1</i> que codifican las Gluteninas de alto peso molecular (HMW).	9
Tabla 3.1 Aspectos nutricionales, hídricos y térmicos para las localidades de Marcos Juárez y Pergamino, en los años 2006 y 2007. Nitrógeno de nitratos (N0 -Kg/ha), fósforo (F -ppm), nitrógeno aplicado como urea (Ni -kg/ha), nitrógeno aplicado como foliar (Nf -kg/ha), agua útil total (AUT -mm), lluvias durante el ciclo de cultivo (LL -mm), riego aplicado durante el ciclo (RGO -mm) y temperaturas medias promedio del ciclo (T° MED -°C).	12
Tabla 3.2. Fecha de floración (FL) y de madurez fisiológica (MF) para los seis cultivares estudiados, agrupados por grupo de calidad y para los distintos tratamientos de fertilización inicial (N0 y N1), en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino y en los años 2006 2007.	15
Tabla 3.3: Tiempo térmico (TT -° Cd) calculados entre emergencia y floración (FL) y entre emergencia y madurez fisiológica (MF) promediando los tratamientos de fertilización nitrogenada inicial (N0 y N1) para los seis cultivares estudiados, agrupados por grupo de calidad, en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino y en los dos años de estudio (2006 y 2007).	16
Tabla 4.1. Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) del rendimiento (REND -g/m <sup>2</sup> ), biomasa (BIOM -g/m <sup>2</sup> ) e índice de cosecha (IC). ANVA realizado discriminando por variedad .	20
Tabla 4.2: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) del numero de granos (NG -granos/m <sup>2</sup> ) y peso de los granos (PMG -g). ANVA realizado discriminando por variedad .	24
Tabla 4.3 Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) de la radiación interceptada acumulada (RI acum -Mj./m <sup>2</sup> ) y la eficiencia del uso de la radiación (EUR -g/Mj.). ANVAS realizado discriminando por variedad.	29
Tabla 4.4: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) de la radiación interceptada acumulada durante todo el periodo pre antesis (RI AN) y durante post antesis (RI POS -Mj./m <sup>2</sup> ) y eficiencia del uso de la radiación (g/Mj) calculada durante pre (EUR pre) y post antesis (EUR pos). ANVAS realizado discriminando por variedad.	31

Tabla 5.1: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (Sig) de cada fuentes de variación (FV), para el peso seco final de (PSF -mg), tasa de llenado (TS -mg/°Cd), duración de llenado (D -°Cd) y duración efectiva del llenado de granos (D ef -°Cd). ANVA realizado discriminando por variedad.	38
Tabla 6.1: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (Sig) para cada fuentes de variación (FV) del peso hectolitrico (PH -g/l), del porcentaje de proteína (PROT -%) y porcentaje de gluten húmedo (GLH -%). ANVA realizado discriminando por variedad.	46
Tabla 6.2: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (Sig) para cada fuentes de variación (FV) para los parámetros del alveograma: tenacidad (P -mm), fuerza panadera (W $\times 10^{-4}$ J), extensibilidad (L -mm) y la relación de equilibrio (P/L), de la masa. ANVA realizado discriminando por variedad.	58
Tabla 6.3: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (Sig) para cada fuentes de variación (FV) de los parámetros de panificación: porcentaje de absorción de agua (AA. -%), tiempo de amasado (T AM -min) y volumen de pan (Vol. -cc). ANVA realizado discriminando por variedad.	62
Tabla 6.4: Valores promedio (Med), mínimos (Min), máximo (Max) y porcentaje de variación respecto de la media (% var), porcentaje de la variación total explicada por el genotipo (G), por el ambiente (A) y la interacción (G*A) y porcentaje de la variación ambiental explicada por la localidad (LOC) el AÑO y la disponibilidad de nitrógeno (N) de los parámetros de calidad y rendimiento.	69
Tabla 7.1: Biomasa en antesis (BIOM ANT -g/m <sup>2</sup> ), número de espigas por superficie (NE -espigas/m <sup>2</sup> ) y número de granos por espigas (NG/NE granos/espigas) para los tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1), para las dos localidades de M JUAREZ y PERGAMINO en los dos años de evaluación (2006 y 2007)	72
Tabla A1: Rendimiento (REND -g/m <sup>2</sup> ), biomasa (BIOM -g/m <sup>2</sup> ) e índice de cosecha (IC) para los seis cultivares estudiados, agrupados por grupo de calidad, y tratamientos de fertilización inicial (N0 y N1) en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino en los años 2006 y 2007.	92
Tabla A.2: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) del rendimiento (REND -g/m <sup>2</sup> ), biomasa (BIOM -g/m <sup>2</sup> ) e índice de cosecha (IC). En a) ANVAS realizados discriminando por variedad y b) agrupando las variedades por grupo de calidad.	93
Tabla A.3: Número de granos (NG -granos/m <sup>2</sup> ) y peso de mil granos (PMG -g), para los seis cultivares estudiados, agrupados por grupo de	94

calidad y tratamientos de fertilización inicial (N0 y N1) en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino en los años 2006 y 2007.

Tabla A.4: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) del numero de granos (NG -granos/m<sup>2</sup>) y peso de los granos (PMG -g). ANVA realizado agrupando las variedades discriminando por grupo de calidad. 95

Tabla A.5: Radiación interceptada acumulada (RI acum. -Mj/m<sup>2</sup>) y eficiencia del uso de la radiación (EUR -g/Mj), durante todo el ciclo, para los seis cultivares, agrupados por grupo de calidad, y tratamientos de fertilización inicial (N0 y N1) en la localidad de Marcos Juárez y en los años 2006 y 2007. 96

Tabla A.6 Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) de la radiación interceptada acumulada (RI acum -Mj./m<sup>2</sup>) y la eficiencia del uso de la radiación (EUR -g/Mj.). ANVA realizado agrupando las variedades por grupos de calidad. 96

Tabla A.7: Radiación interceptada acumulada (RI acum -Mj/m<sup>2</sup>) y eficiencia del uso de la radiación (EUR -g/Mj), para las etapas de PRE y POST antesis, para los seis cultivares, agrupados por grupo de calidad, y tratamientos de fertilización inicial (N0 y N1) en la localidad de Marcos Juárez y en los años 2006 y 2007. 97

Tabla A.8: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) de la radiación interceptada acumulada durante todo el periodo pre antesis (RI AN) y durante post antesis (RI POS -Mj./m<sup>2</sup>) y eficiencia del uso de la radiación (g/Mj) calculada durante pre (EUR pre) y post antesis (EUR pos). ANVA realizado discriminando por grupo de calidad. 97

Tabla A9: Peso seco final de los granos (PSF -mg), tasa (TS -mg/°Cd), duración (D °Cd) y duración efectiva del llenado de granos (D ef -°Cd), para los seis cultivares, agrupados por grupo de calidad (GC), y tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1 en la localidad de Marcos Juárez, en los años 2006 y 2007. 98

Tabla A.10: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) de cada fuentes de variación (FV), para el peso seco final de (PSF -mg), tasa de llenado (TS -mg/°Cd), duración de llenado (D -°Cd) y duración efectiva del llenado de granos (D ef -°Cd). ANVA realizado agrupando las variedades por grupos de calidad. 98

Tabla A.11: Parámetros de calidad: peso hectolitrico (PH -kg/l), porcentaje de proteína (PROT -%) y porcentaje de gluten húmedo (GLH -%), para los seis cultivares estudiados, agrupados por grupo de calidad, 99

y tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino en los años 2006 y 2007.

Tabla A.12: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) del peso hectolitrico (PH -g/l), del porcentaje de proteína (PROT -%) y porcentaje de gluten húmedo (GLH -%). ANVA realizados discriminando por grupos de calidad. 100

Tabla A.13: Parámetros del alveograma: tenacidad (P -mm), fuerza panadera (W  $-x10^{-4}$  J), extensibilidad (L -mm) y la relación de equilibrio (P/L), de las masas, para los 6 cultivares, agrupados por grupo de calidad, y tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino en los años 2006 y 2007. 101

Tabla A.14: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) para los parámetros del aveograma: tenacidad (P -mm), fuerza panadera (W  $-x10^{-4}$  J), extensibilidad (L -mm) y la relación de equilibrio (P/L), de la masa. ANVA realizados agrupando las variedades por grupos de calidad. 102

Tabla A.15: Parámetros de panificación: porcentaje de absorción de agua (AA. -%), tiempo de amasado (T AM -min) y volumen de pan (Vol -cc), para los seis cultivares estudiados, agrupados por grupo de calidad, y tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino en los años 2006 y 2007. 103

Tabla A.16: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) de los parámetros de panificación: porcentaje de absorción de agua (AA. -%), tiempo de amasado (T AM -min) y volumen de pan (Vol. -cc). ANVA realizado agrupando las variedades por grupos de calidad. 104

Tabla A.17: índice de calidad para los grupo de calidad (Ical-GC), y las variedades (Ical-VAR), en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino en los dos años de estudio. Tabla 7.1: valores promedio (Med), mínimos (Min), máximo (Max) y porcentaje de variación respecto de la media (% var). 105

## INDICE DE FIGURAS

Página

Figura 3.1. Registro de lluvias (mm) en la localidad de Marcos Juárez. Líneas de punto corresponden a datos del año 2006 y barras negras a datos del año 2007.	12
Figura 3.2. Registro de lluvias (mm) en la localidad de Pergamino. Líneas de punto corresponden a datos del año 2006 y barras negras a datos del año 2007.	13
Figura 3.3. Registro de temperatura media decádica (°C). Símbolos: triángulos corresponden a la localidad de Marcos Juárez, cuadrados a la localidad de Pergamino, símbolos blancos y negros corresponden a los años 2006 y 2007, respectivamente, símbolos grises indican la temperatura media decádica histórica.	14
Figura 4.1: Relación entre rendimiento (REND -g/m <sup>2</sup> ) medido con los tratamientos de fertilización foliar (N0-1 y N1-1), en función de los tratamientos de fertilización inicial combinados con la fertilización inicial (N0-0 y N1-0). Cada punto es el promedio de los cuatro tratamientos de fertilización en cada año y localidad en estudio, para cada variedad: Símbolos blancos (□Δ) y negros (■▲), corresponden a los tratamientos de fertilización foliar aplicado sobre la fertilización inicial N0 y N1 respectivamente.	20
Figura 4.2: Rendimiento para cada variedad, según los tratamientos de fertilización, N0 (barras blancas) y N1 (barras negras) para a) Marcos Juárez 2006, b) Marcos Juárez 2007, c) Pergamino 2006, y d) Pergamino 2007. Las barras verticales indican el desvío estándar de las medias.	21
Figura 4.3: Biomasa aérea (BIOM g/m <sup>2</sup> ) para cada tratamiento de fertilización. Barras blancas corresponden a los datos de Marcos Juárez y las barras negras a los datos de Pergamino. Las barras verticales indican el desvío estándar de las medias.	22
Figura 4.4: a) Rendimiento (REND -g/m <sup>2</sup> ) en función de la biomasa (BIOM -g/m <sup>2</sup> ) y b) en función del índice de cosecha (IC). Cada punto es el promedio de la combinación VAR, N, AÑO y LOC, los símbolos círculos, triángulos, cuadrados y rombos corresponden a los tratamientos de fertilización N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1 respectivamente, símbolos blancos corresponden a los datos del año 2006 y los negros a los datos del año 2007.	23
Figura 4.5: Relación entre el numero de granos (NG -granos/m <sup>2</sup> ) medido con los tratamientos con fertilización foliar (N0-1 y N1-1), en función de los tratamientos de fertilización inicial combinados con la fertilización inicial (N0-0 y N1-0). Cada punto es el promedio de cada año, localidad y variedad en estudio, para cada tratamiento de fertilización: Símbolos blancos (□Δ) y negros (■▲), corresponden a los tratamientos de	25

fertilización foliares aplicado sobre la fertilización inicial N0-0 y N1-1 respectivamente. Símbolos cuadrados corresponden al año 2006 y los triángulos al año 2007.

Figura 4.6: Relación entre el peso de los granos (PMG -g) medido con los tratamientos con fertilización foliar (N0-1 y N1-1), en función de los tratamientos de fertilización inicial combinados con la fertilización foliar (N0-0 y N1-0). Cada punto es el promedio de cada año, localidad y variedad en estudio, para cada tratamiento de fertilización. Símbolos blancos ( $\square\Delta$ ) y negros ( $\blacksquare\blacktriangle$ ), corresponden a los tratamientos de fertilización foliares aplicado sobre la fertilización inicial N0-0 y N1-1 respectivamente. Símbolos cuadrados corresponden al año 2006 y los triángulos al año 2007.

Figura 4.7: (a) Rendimiento (REND - $\text{g}/\text{m}^2$ ) en función del número de granos por superficie (NG - $\text{granos}/\text{m}^2$ ) y (b) en función del peso de mil granos (PMG -g). Cada punto es el promedio de la combinación VAR, N, AÑO Y LOC, los símbolos círculos, triángulos, cuadrados y rombos corresponden a los tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1 respectivamente. Símbolos blancos y negros corresponden a los datos de los años 2006 y 2007 respectivamente.

Figura 4.8: Peso de mil granos (PMG -g) en función del número de granos por superficie (NG - $\text{granos}/\text{m}^2$ ). Cada punto es el promedio de la combinación VAR, N, AÑO Y LOC, símbolos blancos y negros corresponden a los años 2006 y 2007 respectivamente. Líneas punteadas representan las isocurvas de rendimiento de 300, 400, 500 y 600  $\text{g}/\text{m}^2$ .

Figura 4.9: (a) Número de granos por superficie (NG - $\text{granos}/\text{m}^2$ ), en función del número de granos por espigas (NG/ESP - $\text{granos}/\text{espiga}$ ) y (b) en función del número de espigas por superficie (NE - $\text{espigas}/\text{m}^2$ ). Cada punto es el promedio de la combinación VAR, N, AÑO y LOC. Los símbolos círculos, triángulos, cuadrados y rombos corresponden a los tratamientos N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1 respectivamente.

Figura 4.10: Relación entre radiación interceptada acumulada (RI acum - $\text{Mj}/\text{m}^2$ ) medida con los tratamientos con fertilización foliar (N0-1 y N1-1), en función de los tratamientos de fertilización inicial combinados (N0-0 y N1-0). Cada punto es el promedio de cada año y variedad en estudio, para cada tratamiento de fertilización. Símbolos blancos y negros, corresponden a los tratamientos de fertilización foliares aplicado sobre la fertilización inicial N0-0 y N1-1, respectivamente.

Figura 4.11: Relación entre la eficiencia del uso de la radiación (EUR - $\text{g}/\text{Mj}$ ) medidas con los tratamientos con fertilización foliar (N0-1 y N1-1), en función de los tratamientos de fertilización inicial (N0-0 y N1-0). Cada punto es el promedio de cada año y variedad en estudio, para cada tratamiento de fertilización. Símbolos blancos y negros,

corresponden a los tratamientos de fertilización foliares aplicado sobre la fertilización inicial N0-0 y N1-1, respectivamente.

Figura 4.12 (a) Radiación interceptada acumulada con el tratamiento de fertilización al inicio del cultivo (RI acum N1 -MJ/m<sup>2</sup>) en función de la radiación interceptada acumulada con el tratamiento de fertilización testigo (RI acum N0 -MJ/m<sup>2</sup>), (b) eficiencia del uso de la radiación con el tratamiento de fertilización al inicio del cultivo (EUR N1 -g/MJ) en función de la eficiencia del uso de la radiación con el tratamiento de fertilización testigo (EUR N0 -g/MJ). Símbolos cuadrados corresponden a los datos de preantesis, símbolos triángulos a los datos de post antesis. Colores negros corresponden a datos del año 2007 y los blancos a los del año 2006.

Figura 4.13: (a) Biomasa (BIOM -g/m<sup>2</sup>) en función de la radiación interceptada acumulada (R I acum -Mj./m<sup>2</sup>) y (b) en función de la eficiencia del uso de la radiación (EUR -g/Mj.). Cada punto es el promedio de la combinación de variedades, año y tratamientos de fertilización.

Figura 4.14: Relación entre el peso de mil granos (PMG -g), en función de la relación fuente-destino (Radiación Interceptada acumulada post antesis disponible por grano durante el periodo de llenado de los granos -RI POST/NG Mj/grano).

Figura 5.1: Relación entre el peso seco final (PSF -mg) y Tasa de llenado (TS mg/°Cd) (a), duración del llenado (D -°Cd) (b) y duración efectiva (D ef °Cd) (c). Cada punto es el promedio de los cuatro tratamientos de fertilización para cada variedad en los dos años de estudio.

Figura 5.2: Relación entre la tasa de llenado de granos (TS -mg/°Cd) y (a) la duración total (D -°Cd) y (b) entre efectiva del llenado de granos (D ef -°Cd). Cada punto es el promedio de los cuatro tratamientos de fertilización para cada variedad en cada año de estudio.

Figura 5.3: Relación entre la duración del llenado de grano medida visualmente (D VISUAL -°Cd) y la duración del llenado hasta madurez fisiológica determinada a través del peso de los granos utilizando un modelo bi-lineal (D °Cd). Cada punto es el promedio de los cuatros tratamientos de fertilización para cada variedad en cada año de estudio para los cultivares.

Figura 6.1: Peso hectolitrico (PH -Kg./l) en función del peso de mil granos (PMG -g). Cada punto es el promedio de los cuatros tratamientos de fertilización en cada año de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. En el inset del grafico se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y R<sup>2</sup> para las regresiones de cada variedad.

Figura 6.2: Porcentaje de proteína con los tratamientos de fertilización foliar (PROT -% N0-1 y N1-1) en función del porcentaje de proteína con los tratamientos de fertilización inicial (PROT -% N0-0 y N1-0) sin aplicación de fertilizante foliar. Cada punto surge de la combinación de los tratamientos foliar-inicial en cada año y localidad de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. En el inset del grafico se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y los ajustes ( $R^2$ ) de las regresiones de cada variedad.

Figura 6.3: (a) dendograma (b) GGE Biplot para el porcentaje de proteína (PROT -%) símbolos blancos representan los ambientes, los cuales surgen de la combinación de las localidades Marcos Juárez (M) o Pergamino (P), los años 2006 (6) o 2007 (7) y los tratamientos de fertilización: N0-0 (T), N0-1 (Y) N1-0 (I) y N1-1 (C). Símbolos negros representas a las variedades (AG, CH, ES, GA, SU y TO).

Figura 6.4: Porcentaje de gluten húmedo con los tratamientos de fertilización foliar (GLH -% N0-1 y N1-1) en función del porcentaje de gluten húmedo para los tratamientos de fertilización inicial (GLH -% N0-0 y N1-0). Cada punto surge de la combinación de los tratamientos foliar-inicial de cada año y localidad de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. En el inset del grafico se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y los ajustes ( $R^2$ ) de las regresiones de cada variedad.

Figura 6.5: (a) Dendograma (b) GGE Biplot para el porcentaje de gluten húmedo (GLH -%) Símbolos blancos representan los ambientes, los cuales surgen de la combinación de las localidades Marcos Juárez (M) o Pergamino (P), los años 2006 (6) o 2007 (7) y los tratamientos de fertilización: N0-0 (T), N0-1 (Y), N1-0 (I) y N1-1 (C). Símbolos negros representas a las variedades (AG, CH, ES, GA, SU y TO).

Figura 6.6: Porcentaje de gluten húmedo (GLH -%) en función del porcentaje de proteína (PROT -%). Cada punto es el promedio de los tratamientos de fertilización inicial (N0-0 y N1-0 en cada año y localidad de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. en el inset se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y los ajustes ( $R^2$ ) de las regresiones de cada variedad. Líneas punteadas horizontales representan los límites inferiores para que el GLH sea considerado de baja, media o alta calidad panadera (Cuniberti 2002).

Figura 6.7: Efecto de los tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) sobre la tenacidad (P mm) de cada variedad (SU, TO, CH, ES, AG, y GA), para cada localidad (Marcos Juárez y Pergamino)

según el grupo de calidad (GC). Las líneas verticales indican el desvío estándar de las media.

Figura 6.8: Efecto de los tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) sobre la fuerza panadera ( $W \times 10^{-4}$  J) para las distintas variedades (SU, TO, CH, ES, AG, y GA). Los datos son promedio de ambas localidades y dos años de evaluación. Las líneas verticales indican el desvío estándar de las medias. 55

Figura 6.9: Fuerza panadera ( $W$ ) correspondiente a los tratamientos de fertilización foliar ( $W -J$  N0-1 y N1-1) en función de la fuerza panadera registrada en los controles (sin fertilización foliar) para los tratamientos de fertilización inicial ( $W -\times 10^{-4}$  J N0-0 y N1-0). Cada punto surge de la combinación de los tratamientos de fertilización inicial-foliar en cada año y localidad para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. En el inset de la figura se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y los ajustes ( $R^2$ ) de las regresiones de cada variedad. 55

Figura 6.10 (a) dendograma y (b) GGE Biplot para la fuerza panadera ( $W -\times 10^{-4}$  J). Símbolos blancos representan los ambientes, los cuales surgen de la combinación de las localidades Marcos Juárez (M) o Pergamino (P), los años 2006 (6) o 2007 (7) y los tratamientos de fertilización: N0-0 (T), N0-1 (Y), N1-0 (I) y N1-1 (C). Símbolos negros representas a las variedades (AG, CH, ES, GA, SU y TO). 56

Figura 6.11: Fuerza panadera ( $W -\times 10^{-4}$  J) en función del porcentaje de proteína (PROT -%). Cada punto es el promedio de los tratamientos de fertilización inicial (N0-0 y N1-0 en cada año y localidad de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. En el inset de la figura se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y los ajustes ( $R^2$ ) de las regresiones de cada variedad. Líneas punteadas horizontales representan los límites inferiores para que el  $W$  sea considerado de baja, media o alta calidad panadera (Cuniberti 2002). 59

Figura 6.12: Fuerza panadera ( $W -\times 10^{-4}$  J) en función del porcentaje de gluten húmedo (GLH -%). Cada punto es el promedio de los tratamientos de fertilización inicial (N0-0 y N1-0) en cada año y localidad de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. Inserto en la figura se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y los ajustes ( $R^2$ ) de las regresiones de cada variedad. Líneas punteadas horizontales representan los límites inferiores para que el  $W$  sea considerado de baja, media o alta calidad panadera (Cuniberti, 2002). 60

Figura 6.13: Fuerza panadera ( $W \times 10^{-4}$  J) en función de la relación de equilibrio tenacidad/extensibilidad de la masa (P/L). Cada punto pertenece a los tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) promedio de los dos años y las dos localidades de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. Líneas punteadas horizontales representan los límites inferiores para que el W sea considerado de baja, media o alta calidad panadera (Cuniberti 2002).

61

Figura 6.14: Efecto de los tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) sobre el volumen de pan (Vol. cc) de cada variedad (SU, TO, CH, ES, AG, y GA), para: a) Marcos Juárez en el año 2006, b) Marcos Juárez 2007, c) Pergamino 2006 y d) Pergamino 2007. Para referencias de los tratamientos nitrogenados ver Fig. 6.7. Las líneas verticales indican el desvío estándar de las medias.

63

Figura 6.15 Volumen de pan con los tratamientos de fertilización foliares ( $W - J$  N0-1 y N1-1) en función del Volumen de pan con los tratamientos de fertilización inicial ( $W \times 10^{-4}$  J N0-0 y N1-0). Cada punto es el promedio de la combinación de los tratamientos de fertilización inicial-foliar en cada año y localidad y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. Inserto en la figura se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y los ajustes ( $R^2$ ) de las regresiones de cada variedad.

63

Figura 6.16: (a) dendograma (b) GGE Biplot para el volumen de pan (Vol. -cc). Símbolos blancos representan los ambientes, los cuales surgen de la combinación de las localidades Marcos Juárez (M) o Pergamino (P), los años 2006 (6) o 2007 (7) y los tratamientos de fertilización: N0-0 (T), N0-1 (Y), N1-0 (I) y N1-1 (C). Símbolos negros representan a las variedades (AG, CH, ES, GA, SU y TO).

64

Figura 6.17: Volumen de pan (Vol. -cc) en función de la fuerza panadera ( $W \times 10^{-4}$  J). Cada punto es el promedio de los tratamientos de fertilización (N0-0 y N1-0) en cada año y localidad de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. Líneas punteadas horizontales y verticales representan los límites inferiores para que el Vol. y el W respectivamente sean considerados de baja, media o alta calidad panadera (Cuniberti 2002).

65

Figura 6.18: Efecto de los tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) sobre el índice de calidad (Ical) de cada variedad (SU, TO, CH, ES, AG, y GA), para: a) Marcos Juárez en el año 2006, b) Marcos Juárez 2007, c) Pergamino 2006 y d) Pergamino 2007. Para referencias correspondientes a los tratamientos de fertilización nitrogenada ver Fig. 6.7. Las líneas verticales indican los desvíos estándar de las medias.

66

Figura 6.19: Biplot para los parámetros de calidad y rendimiento (símbolos blancos) considerando los ambientes de evaluación (símbolos negros) los cuales surgen de la combinación de las localidades Marcos Juárez (M) o Pergamino (P), los años 2006 (6) o 2007 (7) y los tratamientos de fertilización: N0-0 (T), N0-1 (Y), N1-0 (I) y N1-1 (C) en a) y considerando los cultivares (AG, CH, ES, GA, SU y TO), símbolos negros en b). En el inset debajo de la figura se muestra una tabla con el peso de cada variable sobre las componentes principales (CP) de cada biplot. 67

Figura 7.1: a) volumen de pan (Vol. -cc) en función del rendimiento (REND -g/m<sup>2</sup>), cada punto es el promedio de tres repeticiones para cada localidad, año, tratamiento de fertilización y cada variedad (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3, línea sólida indica la frontera para máximo Vol. b) y c) frecuencia de datos de los distintos grupos de calidad (GC) para los distintos rangos de volumen de pan (Vol. -cc) y de rendimiento (REND g/m<sup>2</sup>) respectivamente. Los números sobre las barras indican los valores de la frecuencia obtenidos. 77

Figura 7.2: volumen de pan (Vol. -cc) en función del índice de calidad (Ical). Cada punto es el promedio de tres repeticiones para cada, localidad año tratamiento de fertilización y cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. Líneas punteadas horizontales representa los límites inferiores para que el Vol. sea considerado de baja, media o alta calidad panadera (Cuniberti 2002). 79

Figura 7.3: índice de calidad panadera (Ical) en función del índice de calidad simplificado (Ical simplificado). 80

**DECLARACION**

*Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, producto de mi propio trabajo y que este material no ha sido presentado, en forma parcial o total, como tesis en ésta u otra institución.*

**DIONISIO TOMAS GOMEZ**

<b>INTERACCION GENOTIPO POR AMBIENTE SOBRE CARACTERES DE CALIDAD COMERCIAL E INDUSTRIAL EN TRIGO PAN (<i>Triticum aestivum L.</i>)</b>
--

**RESUMEN**

El genotipo (G), el ambiente (A) y la interacción GxA pueden influir de manera diferente sobre las características que definen la calidad comercial e industrial de trigo pan. Los objetivos de esta tesis fueron: 1) Caracterizar el rendimiento y a sus componentes en cultivares de trigo pertenecientes a diferentes grupos de calidad, expuestos a ofertas de nitrógeno contrastantes. 2) Estudiar el impacto de distinta disponibilidad de nitrógeno sobre los componentes fisiológicos del llenado de los granos (i.e tasa y duración) en distintas variedades de trigo pan y su posible efecto sobre los parámetros de calidad y 3) Caracterizar y cuantificar la interacción genotipo por ambiente sobre la expresión de los parámetros que determinan el rendimiento y la calidad comercial e industrial del trigo pan en ambientes con diferentes disponibilidades de nitrógeno. Se realizaron ensayos en dos localidades, durante dos años, utilizando seis variedades de distinta aptitud panadera (2 de cada grupo de clasificación por grupo de calidad –GC-), aplicando cuatro tratamientos de fertilización nitrogenadas. Se evaluó el efecto genético, ambiental y la interacción GxA, sobre el rendimiento y sus componentes, el peso de los granos y sus componentes y sobre los parámetros de calidad comercial e industrial. Los resultados mostraron que el rendimiento y sus componentes (numero de granos, biomasa aérea, eficiencia de uso de la radiación y radiación interceptada acumulada) fueron afectados principalmente por el ambiente y el manejo nutricional dentro de cada ambiente. Para el peso de los granos y sus componentes (tasa y duración) el efecto del manejo del nitrógeno no fue importante, aunque sí lo fue el efecto genotipo. Para los parámetros de calidad el efecto genotipo fue mas importante solo para la tenacidad, mientras que el peso hectolitrico, gluten húmedo, fuerza panadera, la relación de equilibrio (P/L) y volumen de pan fueron modificados principalmente por el efecto ambiente no manejable como son el año y la localidad, en tanto la proteína fue afectada principalmente por el factor ambiental asociado al manejo nutricional. La interacción GxA fue el efecto que explicó en mayor medida las variaciones de rendimiento de harina, absorción de agua y tiempo de amasado. La fuerte interacción GxA observada para la mayoría de los parámetros de calidad determinó que variedades de un determinado GC cambien de grupo asociado principalmente a factores ambientales como la localidad y el año, mientras que el manejo nutricional tuvo un impacto menor.

Palabras claves: Rendimiento, Calidad comercial e industrial, Interacción G\*A, Nitrógeno, trigo pan (*Triticum aestivum L.*)

<b>GENOTYPE BY ENVIRONMENT INTERACTION ON COMMERCIAL AND INDUSTRIAL QUALITY IN BREAD WHEAT (<i>Triticum aestivum</i> L.)</b>
--

**SUMMARY**

The genotype (G), the environment (A) and the GxA interaction affects the parameters that define bread wheat commercial and industrial quality. The objectives of this thesis were: 1) To analyse the yield and yield components in commercial wheat genotypes classified by different aptitude for commercial and industrial quality, 2) To analyse the incidence of different nitrogen rates on grain weight and the physiological attributes that determine the final grain weight and 3) To study the GxA interaction on the attributes that determine the commercial and industrial grain quality in bread wheat. Experiments were carried out in two different sites, during two consecutive years, combining six wheat varieties (two of them belonging to each of the three different groups of quality –GC–), and four different nitrogen availabilities. The effect of G, A and GxA were evaluated on yield and its components, weight of grains and its components as well as on the commercial and industrial quality parameters. Results showed that yield and its components (grain number, aerial biomass, radiation use efficiency and accumulated intercepted radiation) were mainly affected by the environment and nutritional management within each environment. Average grain weight and its components (rate and duration of grain filling) were not affected by nitrogen supply, although genotype effects were found. Genotype effects were found to be significant only for dough tenacity while average grain weight, wet gluten, baking strength, tenacity and extensibility of dough relationship and loaf volume were mainly modified by non-manageable environmental effects, such as year and location. Protein content was mainly affected by nutritional management. Genotype by environment interaction mainly explained variations for flour yield, water absorption and mixing time. The strong GxA found for most of the quality parameters studied determined that wheat varieties belonging to a particular quality group could change to another GC due to environmental factors like location and year, while nutritional management had low impact.

Key words: Yield, Commercial and industrial quality, GxA interaction, nitrogen, bread wheat (*Triticum aestivum* L.).

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION

### 1.1 PROBLEMÁTICA

En el área triguera Argentina, las variedades de trigo pan (*Triticum aestivum L.*) comienzan su difusión con la información de rendimiento y calidad generada por cada criadero en un número limitado de ambientes de evaluación.

La variabilidad climática y ambiental en ocasiones modifica los límites caracterizados para los principales parámetros de calidad descriptos para cada variedad (Johansson *et al.*, 2002; Rharrabti *et al.*, 2003b; Cuniberti *et al.*, 2004; Mortarini *et al.*, 2004). Aún en regiones geográficamente próximas, tanto los rendimientos como la calidad obtenidos, varían significativamente poniendo en evidencia los efectos del ambiente de producción (Carbajo *et al.*, 2001).

Actualmente se dispone de información (nacional e internacional) que caracteriza genéticamente a la mayoría de variedades de trigo difundidas, por la presencia de alelos de gluteninas de alto y bajo peso molecular, y de gliadinas (Dubcovsky *et al.*, 1998; Branlard *et al.*, 2001; Wallace *et al.*, 2003; Cuniberti *et al.*, 2004). Sin embargo, esta información explica parcialmente la variabilidad observada en la aptitud industrial de la producción. La bibliografía reconoce una relación entre la expresión cuantitativa de las proteínas de reserva (gliadinas / gluteninas) en determinados ambientes de producción y su efecto sobre la aptitud reológica de las harinas (Gupta *et al.*, 1992; Ruiz *et al.*, 1998; Liu *et al.*, 2005; y Zhang *et al.*, 2007). Así, a pesar de que la combinación de genes dentro de un determinado fondo genético de un cultivar de trigo pan determina inicialmente su aptitud industrial, los parámetros de calidad pueden verse modificados por el ambiente. De este modo, un material que puede ser clasificado como de alta calidad industrial por su combinación génica, podría cambiar su aptitud cuando es expuesto a un ambiente no favorable para la expresión de dichos genes. Estudiar estos aspectos vinculados con la interacción genotipo por ambiente en cuanto a la expresión de la calidad reológica de los granos es muy importante, debido a que numerosas evidencias y ejemplos de los países más desarrollados, muestran una tendencia a la segregación de la producción de trigo en diferentes calidades para satisfacer la demanda de los mercados cada vez más especializados. Países como Australia, Estados Unidos, Francia, etc. discriminan su producción de trigo en diferentes calidades lo que permite un valor diferencial de la producción y una exportación diferenciada de los granos de acuerdo a los requerimientos del mercado. Para poder aplicar estas políticas de segregación de la producción de trigo en Argentina no sólo es necesario caracterizar a los materiales por su aptitud genotípica, sino que es imprescindible comprender la interacción genotipo por ambiente, a los efectos de establecer la estabilidad de los materiales en los principales parámetros utilizados para su clasificación, como consecuencia de cambios en el ambiente.

### 1.2 EFECTO AMBIENTAL SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD

El rendimiento de un cultivo puede ser explicado a través de la producción de biomasa total y el índice de cosecha (Cárcova *et al.*, 2006). A su vez, el rendimiento en grano de un cultivo, es una función de la disponibilidad de asimilados en los momentos críticos de definición de los componentes del rendimiento. Los compuestos derivados de la asimilación del carbono representan más del 80% del rendimiento, mientras que

las proteínas representan menos del 20% del peso seco de los granos (DuPont & Altenbach, 2003). El origen del carbono orgánico es la asimilación del dióxido de carbono, por lo que la productividad es una función de la cantidad de energía solar y del dióxido de carbono interceptado y usado para varios procesos, en donde el nitrógeno juega un rol fundamental.

Sinclair (1998) demostró que manteniendo concentraciones constantes de nitrógeno en el tejido vegetativo y en los granos a cosecha, existe una relación directa y lineal entre el contenido de nitrógeno de la planta total con la biomasa producida y con el índice de cosecha. De este modo, para mantener constante la composición de los granos al incrementar el rendimiento, se requieren mayores acumulaciones de nitrógeno en la planta. Debe considerarse también que el flujo y la cantidad de nitrógeno varía con la relación fuente-destino que a su vez está regulada por factores ambientales y por características propias de cada cultivar (Barneix & Guitman, 1993 y Martre *et al.*, 2003). Los asimilados nitrogenados disponibles para los granos se utilizan en la síntesis de proteína que luego se almacenan en el endosperma. Esas proteínas tienen funciones metabólicas como es el caso de las albúminas y globulinas o funcionales como las gluteninas (Shewry *et al.*, 1995). Por otro lado, los asimilados carbonados son usados para la síntesis de almidón que también se almacenan en el endosperma y la relación entre estos compuestos varía entre cultivares, y en la capacidad de adaptación de estos a los distintos ambientes (Triboi & Triboi-Blonde, 2002).

La disponibilidad de nitrógeno también tiene una fuerte influencia en la cantidad de proteínas en granos de trigo. En un estudio detallado de la composición proteica de 13 cultivares de trigo creciendo bajo diferentes ofertas nitrogenadas Wieser & Seilmeier (1998) encontraron que al incrementar la fertilización nitrogenada decrecía la proporción de gluteninas de bajo peso molecular incrementándose la proporción de gluteninas de alto peso molecular. Sin embargo, este comportamiento era variable con el cultivar de trigo considerado, mostrando una interacción de genotipo por ambiente significativa.

Si el número de granos por planta es estable y si la demanda de nitrógeno es regulada por la temperatura, el desbalance entre el nitrógeno demandado y absorbido puede ser mayor y así la respuesta a un incremento de la temperatura es una caída en el flujo de nitrógeno y por lo tanto en la cantidad de proteína en los granos (Blumenthal *et al.*, 1994 y Daniel & Triboi 2001). A su vez tiene importancia el estado nutricional en el momento de antesis ya que si la deficiencia de nitrógeno ocurre previa a la antesis, la estructura de la canopia puede modificarse y como en el caso de sequía, el efecto final dependerá de la relación fuente-destino (Triboi & Ntonga, 1993). Si la deficiencia de nitrógeno previa a antesis reduce el número de granos por planta, y si ésta persiste después de antesis se disminuye el flujo de nitrógeno por grano y como consecuencia la cantidad de proteína por grano también decrece.

Es importante considerar que en el período post antesis, durante el cual muchos de los asimilados carbonados acumulados previamente se consumen durante dicho periodo contribuyendo al llenado de los granos (Triboi y Triboi-Blondel, 2002). Algunas evidencias demuestran que el crecimiento de los granos es dependiente de la duración del período post antesis (Bindi *et al.*, 1999), ya que se incrementaría la permanencia por más tiempo del área foliar fotosintéticamente activa, asegurando un completo llenado de los granos. Hay, (1995) y Triboi y Triboi-Blondel (2002), proponen que para aumentar el rendimiento, manteniendo constante el índice de cosecha, es necesario incrementar la producción de asimilados carbonados y por ende la biomasa total, modificando la actividad fotosintética post antesis. A pesar de estas evidencias que demuestran el activo rol del nitrógeno durante el llenado de granos

afectan el peso final obtenido, otros trabajos muestran efectos menores del nitrógeno durante post anthesis en la determinación del rendimiento. Altembach *et al.* (2003) han encontrado que la fertilización post anthesis presentó un efecto menor sobre el crecimiento de los granos aunque éste influyó en el tiempo de deposición de las proteínas y el periodo de comienzo de senescencia de las hojas. En la misma línea Cossani *et al.* (2011), no encontraron efectos significativos de la fertilización aplicada al inicio del cultivo sobre el peso de los grano ni de sus componentes (tasa y duración), posiblemente porque el mayor destino de la aplicación de nitrógeno a la siembra sea destinado a la conformación del número de granos por unidad de área como principal componente del rendimiento.

### 1.3 CONTROL GENETICO DE LA CALIDAD

Se reconoce que entre las proteínas de reserva del grano las gluteninas y las gliadinas son las responsables de las propiedades reológicas de las harinas (Ruiz *et al.*, 1998; Tatham *et al.*, 1990; Zhang *et al.*, 2007). Las gliadinas y gluteninas son las principales determinantes de la extensibilidad y de la elasticidad de la masa, respectivamente (Gupta *et al.*, 1992; Liu *et al.*, 2005 y Zhang *et al.*, 2007). Entre las gluteninas se reconocen sub unidades de agregados poliméricos tanto de alto peso molecular como de bajo peso molecular. Las sub unidades de gluteninas de alto peso molecular están codificadas por los loci *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1* ubicados en el brazo largo de los cromosomas 1A, 1B y 1D, respectivamente, mientras que las gluteninas de bajo peso molecular están codificadas en los loci *Glu-A3*, *Glu-B3* y *Glu-D3* ubicados en el brazo corto de los mismos cromosomas. Los locus que codifican las gliadinas *Gli-1* y *Gli-2*, están ubicados en el brazo corto de los cromosomas homeólogos del primer y sexto grupo respectivamente (Peña *et al.*, 1998), estando el locus *Gli-1* estrechamente vinculado al locus *Glu-3*. Está demostrado que las gluteninas de alto peso molecular confieren buena calidad panadera a las harinas (Shewry *et al.*, 1995), en cambio el rol de las gluteninas de bajo peso molecular ha sido menos estudiado (Dupont & Altembach, 2003).

Durante episodios de estrés térmico, tanto la síntesis de gliadinas como de gluteninas de bajo peso molecular no sufre modificaciones, mientras que la síntesis de gluteninas de alto peso molecular se reduce y hasta puede detenerse (Blumenthal *et al.*, 1994 y Daniel & Triboi, 2001). Debido a que el tamaño relativo de las proteínas poliméricas depende de su composición y de la relación entre subunidades de gluteninas de alto y bajo peso molecular (HMW/LMW respectivamente), la reducción o supresión de la síntesis de gluteninas de alto peso puede afectar negativamente la formación de los grandes agregados responsables de la cohesividad del gluten y por lo tanto de la fuerza de la masa (Graybosch, 2001)

La composición de las gluteninas de alto peso molecular explica entre el 47 y el 60% de la variación de la calidad panadera de los trigos en Inglaterra. Sin embargo, el valor predictivo del índice *Glu-1* mejoró cuando se introdujo un factor de corrección que considera la presencia de la traslación 1BL/1RS del brazo 1B de centeno, el que reemplaza el brazo corto del cromosoma 1B de trigo (Payne, *et al.*, 1987). Esta traslación fue incorporada en muchos programas de mejoramiento de trigo con el fin de aumentar el rendimiento y la estabilidad en distintos ambientes (Moreno Sevilla *et al.*, 1995). Sin embargo, en contraste a las mejoras agronómicas, la presencia de dicha traslación produce menor volumen de sedimentación y una reducción en la fuerza de la masa (Graybosch *et al.*, 1993). Tal como fue indicado al inicio de la introducción, si bien la composición genética de los cultivares define gran parte de la aptitud en cuanto a

la calidad panadera, ésta puede variar en función de las condiciones del ambiente a las que se exponga el cultivar. Mortarini *et al.* (2004), utilizando variedades caracterizadas como de distinta aptitud panadera (grupos 1, 2 y 3 de acuerdo a la clasificación del INASE) demostró que existe una importante interacción genotipo por ambiente. De este modo, si bien en términos generales los grupos extremos (i.e. de alta y baja calidad reológica), se mantuvieron separados, el grupo intermedio podía ubicarse en cualquiera de los grupos inmediatamente superior o inferior. Este cambio de categoría también ocurría en los grupos extremos (G1 y G3) aunque en menor proporción.

#### 1.4 INTERACCION GENOTIPO POR AMBIENTE SOBRE LOS PARAMENTOS DE CALIDAD

El genotipo tiene una significativa contribución a la calidad industrial, pero el contenido de proteína del grano, así como otros parámetros reológicos, está fuertemente definido por las condiciones ambientales (Peterson *et al.*, 1998, Corbellini *et al.*, 1997)

Peterson *et al.* (1998) evaluaron treinta cultivares de trigo rojos duros invernales en diez localidades de Nebraska durante los años 1990 y 1991, confirmando que la interacción genotipo por ambiente tuvo una significativa influencia en la calidad. Los autores mencionan que ésta interacción contribuye a la variabilidad en menor proporción que el efecto ambiental o el de genotipo y que los parámetros de calidad panadera variaron más con las condiciones ambientales que entre cultivares.

Branland *et al.* (2001) analizaron 22 parámetros de calidad en 162 variedades de trigo en tres localidades de Francia y encontraron que todos los parámetros excepto los del mixograma estuvieron significativamente influenciados por las variedades y por la localidad. La variabilidad evaluada en el mixografo solamente se vio afectada por las variedades, mientras que otros parámetros como el test de Zeleny, el contenido de proteína en grano y la extensividad de las masas estuvieron fuertemente afectados por la interacción genotipo por localidad

Zhang *et al.* (2004), en un estudio con 39 cultivares primaverales en diez localidades de China durante dos años (1998 y 1999), determinaron que los parámetros; rendimiento de harina, test de sedimentación, los parámetros del mixograma y la viscosidad de almidón estuvieron más influenciados por el genotipo que por el ambiente. El ambiente resultó una importante fuente de variación en caracteres como el peso de mil granos, el peso hectolitrico y la actividad de la alfa amilasa (falling number), mientras que la interacción genotipo por ambiente generó una importante variación en el peso hectolitrico, el tiempo de desarrollo de la masa y algunas características del almidón

En un análisis de componentes principales sobre la información de calidad generada por la RET (Red de Ensayos de Trigo, SAGPyA) a partir de ensayos conducidos en el período 1991-2001 en 7 localidades, Mortarini *et al.* (2004) determinaron que el ambiente es la variable más importante que influye sobre los parámetros de calidad industrial como son el contenido de proteína en grano, gluten húmedo, relación P/L y volumen de pan; mientras que el genotipo tuvo mayor influencia sobre las características de viscosidad de la masa. De este modo, los autores concluyen que el uso industrial de un genotipo de trigo depende de los efectos de la interacción genotipo por ambiente.

Fraschina *et al.* (2007), analizaron el comportamiento de 8 variedades de trigo pertenecientes a dos grupos de calidad (G1 y G2) durante tres años (2003, 2004 y 2005) en 4 localidades del área triguera argentina (Paraná, Marcos Juárez, Pergamino y Balcarce), y concluyen que la interacción genotipo por ambiente interfiere en la

comparación de variedades para las variables rendimiento de harina, gluten húmedo fuerza del alveograma, relación tenacidad/extensibilidad, y volumen de pan. Los autores observaron interacción significativa grupo de calidad por ambiente, sólo para el valor fuerza del alveograma. Pero cuando se consideró al cultivar como fuente de variación, se encontró interacción significativa, cultivar por localidad, cultivar por año y cultivar por año por localidad para todos los parámetros de calidad industrial.

### 1.5 RELACION RENDIMIENTO CALIDAD

A través del mejoramiento se han logrado cultivares modernos de alto rendimiento, aunque, para expresar ese rendimiento requieren de mayores cantidades de fertilizantes químicos (Austin, 1999), lo que sugiere que los cultivares modernos seleccionados bajo condiciones de alta fertilidad estarían menos adaptados a condiciones de baja fertilidad (Guarda *et al.*, 2004). Esta sugerencia es sostenida en parte por el hecho de que los cultivares modernos usualmente muestran menor concentración de proteína en grano, que los cultivares más viejos (Calderini *et al.*, 1995; Ortiz-Monasterio *et al.*, 1997 y Reynolds *et al.*, 1999). Este menor contenido de proteína en los cultivares modernos no parece estar vinculado a efectos genéticos directamente, sino a un efecto de dilución de la cantidad de proteína debido a un incremento en la cantidad de carbohidratos más que proporcional. Bajo condiciones de crecimiento favorables, el almidón y la proteína de los granos aumentan simultáneamente, mientras que bajo condiciones de estrés hídrico o de altas temperaturas durante el período de llenado de granos, se impide la conversión de azúcares a almidón, afectando en menor medida la formación de proteína (Brooks *et al.*, 1982; Stone y Nicolas, 1994; Savin y Nicolas 1999).

La negativa relación entre rendimiento y concentración de proteína en granos es una realidad en muchos sistemas de producción, sin embargo se podrían aumentar ambos parámetros con un adecuado manejo de nitrógeno (Borghetti *et al.*, 1997; Lopez-Bellido *et al.*, 1998). Esta relación negativa entre proteína y rendimiento se evidencia cuando la cantidad de nitrógeno disponible para el cultivo es insuficiente para alcanzar el potencial rendimiento (Brown *et al.*, 2005; Calvo *et al.*, 2006).

La aplicación de fertilizantes foliares en espigazón es una práctica bien adaptada para lograr trigos de alta calidad (Woolfolk *et al.*, 2002). El nitrógeno aplicado en antesis incrementa el contenido de proteína ya que es rápidamente absorbido y particionado hacia los granos una vez definido el número de granos, es decir la capacidad de destinos del cultivo (Gooding *et al.*, 2007). Bly & Woodard (2003) y Lloveras *et al.* (2001) demostraron que el nitrógeno aplicado en antesis no sólo aumentó el contenido de proteína en los granos, sino que también mejoró la calidad panadera de los trigos; mientras que la respuesta en rendimiento con ésta práctica fue ampliamente variable, donde el rendimiento incrementó únicamente cuando la aplicación de nitrógeno previa en el suelo fue sub óptimas (Readman *et al.*, 1997).

Vargas & Sveenjak, (2006) reportaron diferencias entre cultivares, caracterizados como de alta y baja proteína, difiriendo en la respuesta a la fertilización foliar en antesis. Por el contrario Bly & Woodard, (2003) y Gooding *et al.* (1991) encontraron similar respuesta de los cultivares a ésta fertilización sobre la proteína, aunque detectaron diferencias entre cultivares sobre algunos parámetros reológicos que definen la calidad industrial.

Por lo antes mencionado surge que, el ambiente de producción tiene un profundo impacto, no sólo en el rendimiento sino también en la proteína, con considerables efectos en la calidad panadera de los trigos (Borghetti *et al.*, 1997; Stone & Savin, 1999;

Lopez-Bellido *et al.*, 2001). Aquellos autores también reportaron que la estrategia para controlar el contenido de proteína en los granos de trigo está más relacionado al manejo de la fertilización que a la elección de cultivares.

Sobre la base de la información descrita en la introducción, es importante, a la hora de establecer cómo se genera la calidad comercial e industrial del cultivo de trigo, comprender como interactúa la composición genética de los cultivares con el ambiente, a los efectos de entender cual/es parámetro/s que definen dicha calidad, son diferencialmente afectados, y en qué medida, por el ambiente en interacción con el genotipo. La generación de ésta información es la base para establecer políticas de segregación de granos como estrategia para aumentar el valor agregado de los commodities.

## 1.6 OBJETIVO E HIPÓTESIS

### 1.6.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este trabajo es generar información para una mejor interpretación de los cambios que se observan a través de años, localidad y disponibilidad de nitrógeno en los principales parámetros de calidad industrial de la producción de trigo.

### 1.6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1) Caracterizar el rendimiento y a sus componentes en cultivares de trigo pertenecientes a diferentes grupos de calidad, expuestos a ofertas de nitrógeno contrastantes.

2). Estudiar el impacto de distinta disponibilidad de nitrógeno sobre los componentes fisiológicos del llenado de los granos (i.e tasa y duración) en distintas variedades de trigo pan y su posible efecto sobre los parámetros de calidad.

3) Caracterizar y cuantificar la interacción genotipo por ambiente sobre la expresión de los parámetros que determinan el rendimiento y la calidad comercial e industrial del trigo pan en ambientes con diferentes disponibilidades de nitrógeno.

## 1.7 HIPOTESIS

1) Aquellos cultivares pre clasificado como de baja calidad (GC3) presentarán mayor potencial de rendimiento que el pre clasificado como de mayor calidad (GC1).

2) Aumentos en la disponibilidad de nitrógeno se traduce en aumentos en el peso de los granos en los cultivares de de menor calidad (GC3) debido a su mayor colimitancia fuente:destino. Dicho aumento estará mediado por variaciones en la tasa de llenado más que por cambios en la duración del llenado de granos.

3) Existe interacción genotipo por ambiente sobre los parámetros de calidad comercial e industrial que son utilizados para caracterizar las variedades de trigo pan. De este modo, un cultivar caracterizado como perteneciente a un grupo determinado de

calidad, podría cambiar de grupo asociado a cambios en el manejo nutricional del cultivo.

4) Los cambios en el manejo nutricional modifican diferencialmente los parámetros de calidad comercial e industrial. De este modo, aumentos en la oferta de nitrógeno por encima de los niveles de saturación de respuesta a rendimiento incrementan el contenido de proteína en los granos (aspecto beneficioso), determinando mayores valores de elasticidad de la masa (L) sin que se esperen mayores modificaciones en el valor de tenacidad (P).

## 1.8 ESTRUCTURA GENERAL DE LA TESIS

La tesis consta de siete capítulos, el primero de ellos (Capítulo 1) corresponde a la introducción general donde se describen los antecedentes que permitieron postular las hipótesis de este trabajo. En el Capítulo 2 se describen los materiales y métodos generales, y luego continúan tres capítulos de resultados. En el primer capítulo de resultados, Capítulo 3, se hace una caracterización ambiental y fenológica durante la ontogenia del cultivo, mientras que en el Capítulo 4, se abordan los resultados de generación de biomasa, rendimientos y sus componentes. En el Capítulo 5 se tratan los resultados correspondientes a la dinámica del llenado de granos, mientras que en el último capítulo de resultados (Capítulo 6) se analizan los aspectos correspondientes a la calidad comercial y panadera de las variedades de trigo. Por último se elaboró un capítulo de discusión general (capítulo 7) donde se discute de manera integrada los resultados de los capítulos anteriores, en relación a los objetivos e hipótesis plantadas en el capítulo 1, se definen los aportes y futuras investigaciones que surgen de este trabajo y por último se formulan las conclusiones a las que se arriban en esta investigación.

## CAPITULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. DESCRIPCION GENERAL DEL SITIO EXPERIMENTAL Y DISEÑO EXPERIMENTAL,

Se realizaron experimentos durante dos años (2006 y 2007), en dos localidades: Pergamino (Lat. 33° 53' S, Long. 60° 35' O, Alt. 68 m snm, provincia de Buenos Aires), en un suelo Argiudol típico, serie Pergamino fase moderadamente erosionada, con capacidad de uso IIe (Argentina, INTA, 1978); el clima de la región es templado húmedo con una precipitación media anual de 950 mm y en Marcos Juárez (Lat. 32,35° S, Long. 62,05° O, Alt. 107 m, provincia de Córdoba) cuyo suelo es un Argiudol típico de la serie Marcos Juárez, que posee una capacidad de uso 1, el cual es oscuro, profundo y bien drenado de las lomas casi planas. El clima de la región es sub húmedo con precipitaciones medias de 894 mm. Se utilizaron 6 variedades de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) pertenecientes a los tres grupos de calidad (GC) de acuerdo a la clasificación del Comité de Cereales de Invierno, INASE, SAGPyA ([www.inase.gov.ar](http://www.inase.gov.ar)). De este modo, se utilizaron dos variedades del GC1, dos del GC2 y dos del GC3, todas de similar ciclo a floración (Tabla 2.1).

Se aplicaron dos niveles de fertilización inicial de nitrógeno, un testigo (N0), donde las parcelas se mantuvieron con el nivel inicial de nitrógeno del suelo a la siembra y otro fertilizado al inicio (N1) donde se agregaron 95 kg de nitrógeno en forma de urea en el momento de la siembra del cultivo. A su vez cada nivel de nitrógeno inicial se combinó con dos niveles de fertilización de nitrógeno foliar en el momento de antesis, uno sin aplicación de fertilizante foliar y otro con la aplicación de 20 kg/ha de nitrógeno foliar (Foliarsol U), con el objetivo de incrementar el contenido de proteína en los granos, quedando así definidos cuatro tratamientos de fertilización (i) sin fertilizante al inicio y sin fertilizante foliar (N0-0), (ii) sin fertilización al inicio y con fertilización foliar (N0-1), (iii) fertilizado al inicio y sin fertilización foliar (N1-0) y (iv) fertilizado al inicio y con fertilización foliar (N1-1).

El diseño experimental utilizado en cada localidad y año fue en bloques completos aleatorizados con un arreglo de parcelas divididas y tres repeticiones, donde la parcela principal correspondió a las variedades, la sub parcela a los tratamientos de fertilización con nitrógeno.

Para la preparación de los ensayos se utilizó semilla de categoría original provista por los criaderos y los ensayos se condujeron sin deficiencias de fósforo ni de azufre. Los ensayos se mantuvieron libres de incidencia de plagas, malezas y enfermedades a través del uso de insecticidas, herbicidas y fungicidas cuando fue necesario. Durante el ciclo del cultivo se registró la información climática básica necesaria para la interpretación de los resultados (temperaturas medias, precipitaciones, radiación solar diaria). La fecha de siembra fue el 6 de junio en los dos años en las dos localidades, la densidad de siembra fue de 250 semillas viables por m<sup>2</sup> utilizando una sembradora experimental (Agrometal) de siete surcos separados a 20 cm.

En la localidad de Marcos Juárez la unidad experimental fue de 10 m<sup>2</sup> donde la mitad de cada parcela se utilizó para las mediciones destructivas a lo largo del ciclo del cultivo (biomasa, componentes de rendimiento y llenado de granos), y la otra mitad se

utilizó para la cosecha de granos para determinar rendimiento, calidad comercial e industrial y fenología. En la localidad de Pergamino las parcelas fueron de 5 m<sup>2</sup> donde se determinó rendimiento, calidad industrial, fenología y componentes de rendimiento.

## 2.2. MATERIAL VEGETAL

Como material vegetal se utilizaron las variedades: INIA Torcaza (TO) y Buck Sureño (SU) del grupo de calidad 1 (GC1), Buck Chacarero (CH) y Klein Escorpión (ES) del grupo de calidad 2 (GC2) y Buck Aguará (AG) y Klein Gavilán (GA) del grupo de calidad (GC3), según la caracterización del Comité de Cereales de Invierno del INASE, SAGPyA. En la Tabla 1 se presenta la caracterización de estas variedades según los genes que codifican para las principales proteínas que definen la calidad industrial (Helguera *et al.*, 2005 datos no publicados).

Tabla 2.1: caracterización de las variedades utilizadas (VAR) por: Grupo de calidad (GC), variantes alélicas de los loci que codifican para Gliadinas (*GLI*), presencia o ausencias de la traslación de centeno (*IBL/IRS*) y los loci *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1* que codifican las Gluteninas de alto peso molecular (HMW).

VAR	GC	GLI	TRASLOCACION	GLU HMW		
		CNN/CS	IBL/IRS	<i>GLU-A1</i>	<i>GLU-B1</i>	<i>GLU-D1</i>
TO	1	CS	NO	2*	17+18	5+10
CH	2	CNN	NO	2*	17+18	5+10
AG	3	CNN	NO	2*	17+18	5+10
SU	1	CS	SI	2*	7+8	5+10
ES	2	CS	SI	1	7+9	5+10
GA	3	CS	SI	2*	7+9	5+10

Referencias: Variedades (VAR) (ver codificación en el texto), 1, 2 y 3 indica el grupo de calidad (GC), de cada variedad; CNN/CS son las sub unidades proteicas codificadas por el locus *Gli-D1*; SI (presencia) y NO (ausencia) de la traslación de centeno *IBL/IRS* codificada por el locus *Gli-B3*; 2\* y 1 son sub unidades proteicas codificadas por el locus *Glu-A1*; 17+18, 7+9 y 7+8 son sub unidades proteicas codificadas por el locus *Glu-B1* y 5+10 sub son unidades codificadas por el locus *Glu-D1*.

## 2.3. ANALISIS ESTADISTICOS

En todos los casos se realizaron análisis estadísticos de la información obtenida a través de análisis de varianzas (ANVA), discriminando por variedades y por otro lado agrupando a las variedades por grupo de calidad (estos análisis se incluyeron en la sección del Anexo). A la fuente de variación nitrogenada se la trató con 4 factores (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1), los cuales fueron combinaciones de la fertilización inicial (primer número del índice) y foliar (segundo número del índice). Así, la fertilización no se la trató como dos fuentes de variación (inicial y foliar) debido a que en la mayoría de los análisis estadísticos no se encontraron interacciones estadísticamente significativas, entre ambos factores (inicial y foliar) para la mayoría de los parámetros analizados. En aquellos casos en lo que si hubo interacción inicial\*foliar significativa (Ej. Volumen de pan), esta fue aclarada y tratada adecuadamente en el texto.

Se realizaron regresiones, correlaciones, y modelos estadísticos uni y multivariados para el análisis de la interacción genotipo por ambiente. Los datos se

analizaron mediante análisis de varianzas y las diferencias de medias se calcularon a través del test de diferencias mínimas significativas de Fisher y contrastes a priori, al 1, 5 y 10% de significancia. Para cada atributo estudiado se estimó la contribución de cada fuente de variación (FV) del ANVA sobre la variabilidad de estos atributos, para ello se dividió la suma de cuadrados de cada fuente de variación sobre la suma de cuadrados del modelo (Singh *et al.*, 1993).

Para determinar cómo se agrupan los cultivares por su parecido según, el rendimiento y los principales parámetros de calidad, se realizaron análisis de cluster o conglomerados (Anderberg, 1973 y Everitt, 1974). Este método aglomerativo realiza grupos (i.e. agrupamientos jerárquicos) por el procedimiento de uniones sucesivas, los que se muestran en un *dendrograma* (diagramas de árboles en dos dimensiones). Las ramas en el árbol, las que representan los conglomerados, se unen en un nodo cuya posición a lo largo del eje de distancias (distancia Euclidea) indica el nivel en el cual la fusión ocurre. El proceso continúa de manera similar hasta que, eventualmente, se forma un solo conglomerado que contiene todos los objetos como integrantes del mismo. El método de agrupamiento fue el de Encadenamiento promedio (*average linkage*) (Sokal & Michener, 1958).

También para el rendimiento y los principales parámetros de calidad se realizaron modelos de regresión por ambiente, los cuales remueven el efecto del ambiente y sólo expresan la respuesta en función del genotipo (G) más la interacción genotipo por ambiente (G\*A). Para visualizar los patrones de interacción con remoción de los efectos de ambiente se utilizaron los gráficos GGE Biplot (Yan *et al.*, 2000). A partir de estos gráficos se puede determinar la diferenciación de mega-ambientes (MA) entre los ambientes en estudio y seleccionar cultivares superiores en un mega-ambiente dado.

## **CAPITULO 3**

### **CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL Y FENOLOGICA DURANTE LA ONTOGENIA DEL CULTIVO**

#### **3.1 INTRODUCCION**

La fenología es el atributo más importante involucrado en la adaptación de un cultivo a un ambiente de crecimiento (Passioura *et al.*, 1993; Sadras & Trapani, 1999) ya que tanto el ciclo total como la duración relativa de las fenofases claves, son críticas para la determinación del rendimiento (Miralles *et al.*, 2000; Slafer *et al.*, 2001). El desarrollo del cultivo de trigo está asociado a una secuencia de eventos fenológicos controlado por factores externos, produciendo cambios morfológicos y funcionales (Slafer & Rawson 1995; Miralles & Slafer, 1999). También ha sido ampliamente reportado que la temperatura y fotoperíodo son los factores ambientales más determinantes de la tasa de desarrollo (Slafer & Rawson 1995, 1996). Sin embargo existen algunas evidencias que dan indicios de que deficiencias nutricionales podrían alterar, aunque en menor magnitud la tasa de desarrollo del cultivo de trigo. Longnecker & Robson (1994) reportaron cambios en el tiempo a floración y madurez fisiológica, asociados a deficiencias de nitrógeno en trigo.

En el presente capítulo se detalla (i) una caracterización de los ambientes donde se llevaron a cabo los experimentos y (ii) el comportamiento fenológico de los cultivares que serán utilidad en los capítulos posteriores, para explicar la relación de éstos factores con los cambios en el rendimiento, el llenado de granos, la calidad panadera y sus componentes.

#### **3.2 MATERIALES Y METODOS**

Los sitios experimentales, los tratamientos impuestos y el diseño utilizado, así como las observaciones meteorológicas y de suelo utilizados, fueron descritos en el capítulo 2 de materiales y métodos generales. Por ello aquí, sólo se realizará una descripción de las variables respuestas vinculadas con la fenología del cultivo.

##### **3.2.1 VARIABLES MEDIDAS**

Durante la conducción de los ensayos se registraron visualmente los principales estadios fenológicos tales como: Espigazón (EP), cuando en la parcela, el 50 % de las espigas emergieron de las vainas en un 50 % de su longitud final (EC Zadoks 5.5); Floración (FL), cuando el 50 % de las espigas se observaron con los estambres visibles en el tercio medio (EC Zadoks 6.5), y Madurez Fisiológica (MF), cuando el 50 % de las plantas mostraron el pedúnculo completamente amarillo (EC Zadoks 9.0).

#### **3.3 RESULTADOS**

##### **3.3.1. DESCRIPCION AMBIENTAL DE LOS ENSAYOS.**

Teniendo en cuenta que el nivel de nitrógeno aplicado a través de la fertilización con urea al inicio del cultivo en los tratamientos N1-0 y N1-1, fue la misma en los cuatro ensayos (95 kg/ha), la disponibilidad de nitrógeno total al inicio del establecimiento del cultivo fue mayor en la localidad de Pergamino ya que en el suelo

había por lo menos un 40% más de nitrógeno de nitratos al comienzo de los experimentos con respecto a Marcos Juárez. A su vez la cantidad de nitratos en ambas localidades fue mayor en el año 2007, respecto de la registrada en el año 2006 (Tabla 3.1). Por otro lado la disponibilidad de fósforo a la siembra no fue limitante ya que en todos los casos los análisis de suelo indicaron una cantidad mayor a 20 ppm. El nitrógeno foliar (N-FOL) aplicado en antesis en los tratamientos N0-1 y N1-1 fue la misma en ambas localidades y en los dos años (22 kg/ha) (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Descripción de las características de los ambientes donde fueron conducidos los experimentos. Nitrógeno de nitratos (N-NO<sub>3</sub> -Kg/ha), fósforo (F -ppm), nitrógeno aplicado como urea (N-UREA -kg/ha), nitrógeno aplicado como foliar (N-FOL -kg/ha), agua útil total (AUT -mm), lluvias durante el ciclo de cultivo (LL -mm), riego aplicado durante el ciclo (RGO -mm) y temperaturas medias promedio del ciclo (T° MED -°C) para los localidades de Marcos Juárez (MJ) y Pergamino (PE), en los años 2006 y 2007.

LOC	AÑO	FERTILIDAD				AGUA DISPONIBLE			
		N0	F	Ni	Nf	AUT	LLUV	RGO	T° MED
M Juárez	2006	31	42	95	22	218	216	120	15,6
	2007	52	30	95	22	189	176	105	13,9
Pergamino	2006	60	25	95	22	230	339		14,4
	2007	70	21	95	22	215	285		12,7

Considerando el agua disponible como la suma del agua útil en el suelo (AUT -mm) al momento de la siembra, más el agua llovida y más el agua de riego aplicada durante el ciclo de cultivo, en ambos años, en la localidad de Pergamino a pesar de no haberse aplicado riego, hubo mayor disponibilidad de este recurso (569 y 500 mm para los años 2006 y 2007, respectivamente) que en la localidad de Marcos Juárez (554 y 470 mm para los años 2006 y 2007, respectivamente). Si bien el agua almacenada en el suelo a la siembra fue siempre algo mayor en Pergamino, la principal diferencia entre las localidades fueron las lluvias, ya que en Pergamino llovieron 120 y 110 mm más que en Marcos Juárez en los años 2006 y 2007, respectivamente.

En relación con la distribución de las precipitaciones en Marcos Juárez, en los dos años de evaluación, la mayoría de las lluvias ocurrieron hacia el final del ciclo de cultivo (Fig. 3.1).

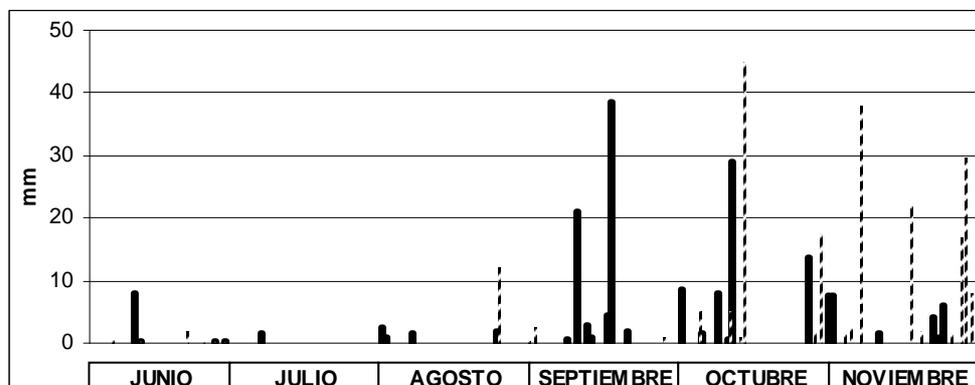


Figura 3.1. Registro de lluvias (mm) en la localidad de Marcos Juárez. Líneas de punto corresponden a datos del año 2006 y barras negras a datos del año 2007.

Sin embargo los riegos fueron distribuidos en los meses de Julio, Agosto y Septiembre, los cuales evitaron el estrés hídrico del cultivo en estos meses. En cuanto a la disponibilidad de agua para el cultivo en Pergamino en el año 2006, del total de 339 mm de agua de lluvia en todo el ciclo, sólo 36 mm ocurrieron entre Junio y Septiembre, mientras que en el año 2007 en el mismo periodo llovieron 25 mm de los 285 mm que llovieron en todo el ciclo. La mayor diferencia entre ambos años estuvo en el mes de Septiembre, donde en el año 2006 llovieron 22 mm, mientras que en el 2007 las precipitaciones fueron de 102 mm es decir que en el 2007 los cultivares dispusieron de mayor cantidad de agua durante el período crítico para la definición del rendimiento (Fig. 3.2).

En cuanto a la temperatura se observó que en Pergamino la temperatura media durante el ciclo fue 1,2 °C más baja que la de Marcos Juárez en los dos años, no obstante la mayor diferencia se vio entre años, donde en promedio la temperatura media diaria durante el ciclo en el año 2006 fue 1,7 °C más alta respecto de la registrada en el 2007 (Tabla 3.1).

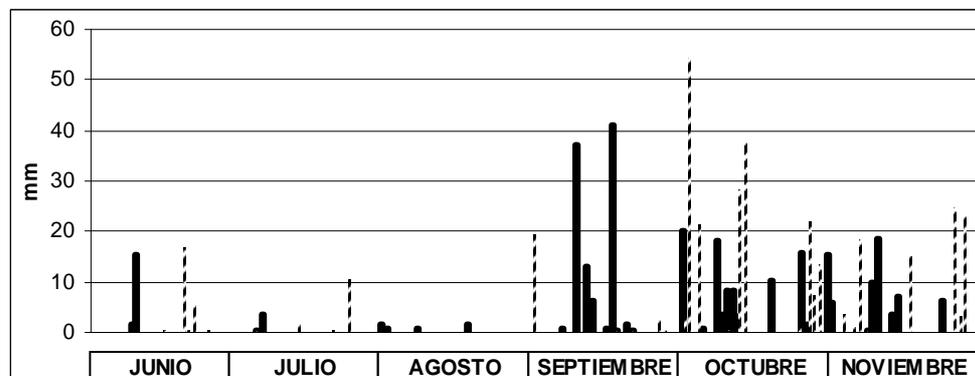


Figura 3.2. Registro de lluvias (mm) en la localidad de Pergamino. Líneas de punto corresponden a datos del año 2006 y barras negras a datos del año 2007.

Analizando con mayor detalle la dinámica de las temperaturas, se puede ver que en ambas localidades las temperaturas medias del año 2007 se mantuvieron por debajo de la media histórica en los meses de Junio, Julio y Agosto, haciendo luego un pico de casi 5 °C sobre la media en la primer década de Septiembre, para luego mantenerse cerca de la media histórica en el resto del ciclo (Fig. 3.3). Por el contrario en el año 2006 las temperaturas medias se mantuvieron por encima de la media histórica en los meses de Junio y Julio, mientras que en el mes de Agosto y la primera década de Septiembre se registraron temperaturas algo más bajas a las del promedio histórico pero superiores a las del mes de Agosto del año 2007 (Fig. 3.3).

También cabe destacar que se observaron importantes diferencias en cuanto a la temperatura media en la semana previa al comienzo del periodo crítico para la definición del rendimiento (primer década de Septiembre), ya que en el año 2007 se produjo un pico de temperatura, llegando a casi 20 °C, mientras que en el año 2006 la temperatura media de ésta misma década fue cercana a 12 °C (Fig. 3.3).

Durante el período de llenado de grano (Octubre y mediados de de Noviembre) en la localidad de Marcos Juárez, la temperatura media promedio de éste periodo en el año 2006 fue de 20,5 °C) esto es 0,7 °C más alta que la del año 2007 (19,8 °C). En ambos años la temperatura media estuvo por encima de la temperatura media histórica en la mayor parte de este período (Fig. 3.3).

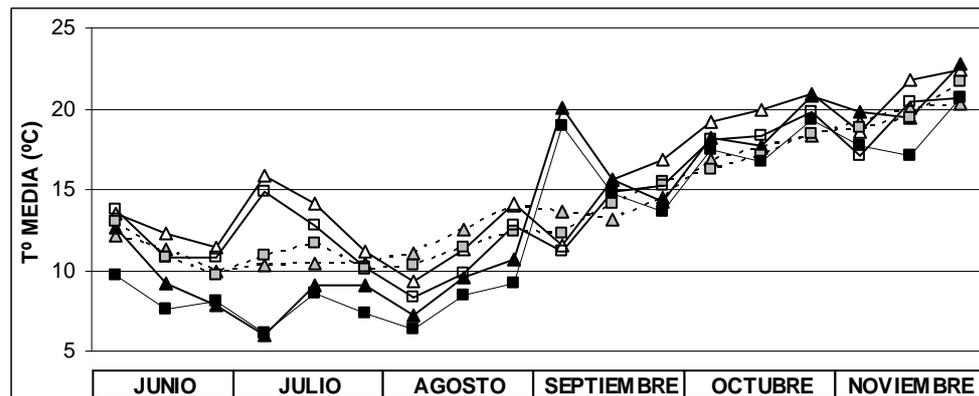


Figura 3.3. Registro de temperatura media decádica (°C). Símbolos: triángulos corresponden a la localidad de Marcos Juárez, cuadrados a la localidad de Pergamino, símbolos blancos y negros corresponden a los años 2006 y 2007, respectivamente, símbolos grises indican la temperatura media decádica histórica.

En Pergamino las temperaturas medias durante los meses de Octubre y Noviembre fueron en promedio 1,4 y 1,6 °C más bajas que las registradas en Marcos Juárez en los años 2006 y 2007 respectivamente. También en esta localidad la temperatura media del año 2007 (18,2 °C) fue 0,9 °C más baja que la del 2006 (19,1 °C) (Fig. 3.3).

### 3.3.2. DESCRIPCION FENOLOGICA EN UNIDADES CALENDARIAS

En términos generales el registro de la ontogenia del cultivo, los que se midieron a nivel de parcela en forma visual, no mostró diferencias entre las repeticiones de los distintos tratamientos, tanto para el momento de floración (FL) como para madurez fisiológica (MF).

A pesar de que las variedades fueron seleccionadas por similar ciclo a floración sobre la base de datos previos, éstas mostraron variaciones en la fecha de floración medida en tiempo calendario (Tabla 3.2), observándose que el cultivar TO fue el de ciclo más largo, y la variedad CH fue la de menor ciclo, excepto en Pergamino en el año 2007 donde la de menor ciclo fue la variedad ES. En general la diferencia entre la primera y la última variedad en alcanzar la floración fue menor en el año 2007 (9 días en Marcos Juárez y 6 días en Pergamino), comparado con el año 2006 (12 días para Marcos Juárez y 9 en Pergamino). Promediando los valores de fecha de floración para los dos años y localidades, el orden de floración de las variedades fue TO (23-oct), SU y GA (17-oct), ES y AG (15-oct) y CH (14-oct).

Se registró una tendencia general a demorar el momento de floración en los tratamientos fertilizados al inicio del ciclo. En promedio los cultivares en el tratamiento N1 florecieron ca. 2 días más tarde respecto del control (aunque esta diferencia no es relevante en términos agronómicos). En la localidad de Pergamino la floración ocurrió en promedio 6 días después respecto de Marcos Juárez. Entre años se detectaron diferencias similares ya que la floración ocurrió en promedio 6 días más tarde en el año 2007 (año con menores temperaturas) con respecto al 2006, manteniéndose estas diferencias en ambas localidades (Tabla 3.2).

La tendencia en la ocurrencia de la MF fue similar a las observadas en la FL aunque con algunas diferencias entre localidades. Así, la variedad TO fue la última en

completar su ciclo hasta MF en todos los casos, mientras que al igual a lo observado para FL la variedad CH fue la que más temprano alcanzó la madurez fisiológica en todos los casos excepto en Pergamino en el año 2006 donde el cultivar SU fue el que completó dicho estadio antes. En general la diferencia entre la primera y la última variedad en llegar a MF fue de 5 días, excepto en Pergamino en el año 2006 cuya diferencia fue de 7 días. Promediando los valores de fecha calendario para ambos años y localidades, el orden de alcanzar MF de las variedades fue: TO (22-nov), GA (20-nov), ES y AG (18-nov) y por último SU y CH (17-nov).

Tabla 3.2. Fecha de floración (FL) y de madurez fisiológica (MF) para los seis cultivares estudiados, agrupados por grupo de calidad y para los distintos tratamientos de fertilización inicial (N0 y N1), en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino y en los años 2006 2007.

GC	VAR	N	M. JUAREZ				PERGAMINO			
			2006		2007		2006		2007	
			FL	MF	FL	MF	FL	MF	FL	MF
1	TO	N0	18-oct	15-nov	21-oct	21-nov	23-oct	22-nov	28-oct	26-nov
		N1	19-oct	17-nov	23-oct	23-nov	24-oct	24-nov	29-oct	28-nov
	SU	N0	10-oct	12-nov	17-oct	18-nov	16-oct	16-nov	22-oct	23-nov
		N1	12-oct	12-nov	19-oct	20-nov	17-oct	17-nov	24-oct	24-nov
2	CH	N0	05-oct	11-nov	13-oct	17-nov	13-oct	16-nov	22-oct	22-nov
		N1	07-oct	12-nov	14-oct	18-nov	15-oct	18-nov	23-oct	24-nov
	ES	N0	07-oct	12-nov	16-oct	20-nov	14-oct	17-nov	21-oct	22-nov
		N1	11-oct	14-nov	14-oct	21-nov	16-oct	19-nov	22-oct	24-nov
3	AG	N0	08-oct	13-nov	14-oct	19-nov	13-oct	16-nov	22-oct	23-nov
		N1	10-oct	14-nov	16-oct	21-nov	15-oct	18-nov	24-oct	25-nov
	GA	N0	10-oct	13-nov	16-oct	20-nov	16-oct	20-nov	23-oct	25-nov
		N1	12-oct	15-nov	18-oct	21-nov	17-oct	21-nov	25-oct	26-nov

Al igual que en la FL, la MF registró en promedio 2 días de diferencia entre los tratamientos de fertilización al inicio donde la MF con N0 ocurrió antes que con N1. En la localidad de Marcos Juárez la MF ocurrió en promedio 5 días antes con respecto a Pergamino. También se observó que la MF del año 2007 fue ca. 6 días más tardía respecto del año 2006.

### 3.3.3. DESCRIPCION FENOLOGICA EN UNIDADES TERMICAS

La fenología expresada en unidades térmicas calculada con temperatura base igual a cero ( $^{\circ}\text{Cd}$ ), para los estadios de FL y MF también mostró diferencias entre variedades, manteniéndose en términos generales, el ranking de cultivares respecto de lo observado en unidades calendarías (Tabla 3.3). Al igual que lo indicado en la tabla 3.2 la variedad TO fue la de floración más tardía (1759  $^{\circ}\text{Cd}$ ), seguida por GA (1653  $^{\circ}\text{Cd}$ ), SU (1644  $^{\circ}\text{Cd}$ ), AG (1599  $^{\circ}\text{Cd}$ ), ES (1598  $^{\circ}\text{Cd}$ ) y CH (1587  $^{\circ}\text{Cd}$ ). Las diferencia extrema entre cultivares para la ocurrencia de la floración fue de 172  $^{\circ}\text{Cd}$  (Tabla 3.3).

Con respecto a las localidades no se encontraron diferencias significativas en cuanto al tiempo térmico a FL. Contrariamente a lo observado en días calendarios, el tiempo térmico requerido para llegar a floración fue menor en el año 2007 (144  $^{\circ}\text{Cd}$  menos en ambas localidades) respecto del registrado en el año 2006.

Tabla 3.3: Tiempo térmico (TT °Cd) calculados entre emergencia y floración (FL) y entre emergencia y madurez fisiológica (MF) promediando los tratamientos de fertilización nitrogenada inicial (N0 y N1) para los seis cultivares estudiados, agrupados por grupo de calidad, en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino y en los dos años de estudio (2006 y 2007).

GC		M. JUAREZ				PERGAMINO			
		2006		2007		2006		2007	
		FL	MF	FL	MF	FL	MF	FL	MF
1	TO	1875	2455	1674	2257	1837	2404	1649	2169
	SU	1758	2400	1592	2231	1694	2296	1531	2129
2	CH	1634	2374	1499	2184	1664	2296	1550	2116
	ES	1634	2374	1548	2257	1678	2327	1531	2116
3	AG	1634	2400	1548	2279	1664	2296	1550	2129
	GA	1758	2428	1569	2279	1712	2428	1573	2169

Las diferencias entre variedades en el momento de ocurrencia de la MF fueron menores a las diferencias observadas en la floración, con una diferencia entre los extremos de ca. 83 °Cd, es decir la mitad de las diferencias registradas en floración, donde en todos los casos la variedad CH fue la más temprana en alcanzar MF y la variedad GA fue la última, excepto en Marcos Juárez en 2006 donde TO fue la más tardía (Tabla 3.3). Promediando los tiempo térmico de los dos años y dos localidades para alcanzar MF el orden de las variedades fue: GA (2326 °Cd), TO (2321 °Cd), AG (2276 °Cd), ES (2269 °Cd), SU (2264 °Cd) y CH (2243 °Cd).

En cuanto a las diferencias observadas entre las localidades, en Pergamino las variedades alcanzaron el estadio de MF más temprano (64 °Cd antes en el año 2006 y 110 °Cd en el año 2007), que en Marcos Juárez. Al igual que lo observado en floración, la MF ocurrió antes en el año 2007 (157 °Cd menos en Marcos Juárez y 203 °Cd menos en Pergamino) respecto al año 2006.

### 3.4 DISCUSIÓN

#### 3.4.1. IMPACTO DE LA DISPONIBILIDAD DE NITROGENO SOBRE LA FENOLOGIA

La variación del ciclo promedio a espigazón de los seis cultivares, entre las localidades y años evaluados fue de 5 a 7 días respectivamente, debido principalmente a diferencias de temperatura promedio durante el ciclo del cultivo, ya que cuando el ciclo se midió en unidades térmicas (°Cd) estas diferencias fueron sustancialmente menores.

El impacto de la fertilización inicial (N1) sobre la fenología fue pequeño y prácticamente despreciable en términos agronómicos, modificando el ciclo sólo en un par de días, tal como los resultados obtenidos por Guarda *et al.* (2004), en tanto que la fertilización foliar como era previsible no modificó de manera visible la fenología del cultivo, tal lo mostrado por Borghi *et al.* (1997). Estos resultados confirman las conclusiones de varios autores (Botwright *et al.*, 2001; Gastal *et al.*, 1992 y Ludlow & Muchow, 1990) que la temperatura y el fotoperíodo son los principales determinantes de las modificaciones en el ciclo de cultivo de trigo.

Si bien otras evidencias de la literatura (Arisnabarreta & Miralles, 2004; Salvagiotti & Miralles, 2008) mostraron efecto de los nutrientes sobre la duración de las etapas, mediados en general por cambios en el filocrono, sin que se modifique el

número final de hojas, en este trabajo no fue evidenciado dicho efecto. Estas diferencias de resultados podrían estar asociadas a que la magnitud de las deficiencias de nutrientes no fue lo suficiente como para afectar los procesos de desarrollo del cultivo.

En este capítulo se hizo una breve descripción del comportamiento fenológico de los cultivares y de la caracterización de los ambientes donde se desarrollaron los experimentos. En los capítulos siguientes se tratará de relacionar estos factores, con los cambios observados en el rendimiento (Capítulo 4), en el llenado de granos (Capítulo 5) y en la calidad de los granos (Capítulo 6).

## CAPITULO 4

### GENERACION DE BIOMASA, RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

#### 4.1 INTRODUCCION

El objetivo de todo plan de mejora está dirigido a procurar obtener materiales de rendimientos competitivos con los disponibles en el mercado manteniendo altos niveles de calidad, de modo que pueda combinar calidad y potencial de producción. Sin embargo, numerosas evidencias han mostrado una relación negativa entre rendimiento y calidad de los granos en el cultivo de trigo (Lopez-Bellido *et al.*, 1998, Stewart & Dwyer, 1990; Brancourt-Hulmel *et al.*, 2003; Calvo *et al.*, 2006).

A lo largo de los años (1960-2005) se ha demostrado un continuo incremento de rendimientos en el cultivo de trigo en el mundo a una tasa de 40 Kg/ha/año, aunque en los últimos 25 años esta tasa de incremento de los rendimientos cayó a 36 Kg./ha/año, reduciéndose a ca. 20 Kg./ha/año si se toman los últimos 10 años (Miralles & Slafer, 2007). Los aumentos en los rendimientos también han traído consecuencias en la calidad de los granos ya que existen evidencias que demuestran que aumentos en el rendimiento potencial han sido acompañados de una menor relación proteína/almidón (Calderini *et al.*, 1999, Le Buanec, 1999). Sin embargo esta relación negativa entre el potencial del rendimiento y los atributos de la calidad podría minimizarse cuando el rendimiento ha sido incrementado con tratamientos que consideren altos niveles de oferta de nutrientes, como por ejemplo el nitrógeno, especialmente cuando la respuesta del nitrógeno para incrementar rendimiento ha sido saturada (Brown *et al.*, 2005; Calvo *et al.*, 2006).

En este capítulo se aborda el estudio de la generación del rendimiento y de los componentes que lo definen, analizando el impacto que tiene las fuentes de variación genéticas (G) y ambientales (A), haciendo hincapié en el manejo nutricional y la interacción genotipo por ambiente (G\*A) de modo de cumplir con el objetivo específico 1.

#### 4.2 MATERIALES Y METODOS

Los sitios experimentales, los tratamientos, el diseño y los análisis estadísticos utilizados, están descriptos en los materiales y métodos generales (capítulo 2).

##### 4.2.1 VARIABLES MEDIDAS

Durante el ciclo ontogénico del cultivo se midieron los componentes fisiológicos de la biomasa aérea (i.e. Radiación interceptada acumulada por el cultivo (RIacum - MJ/m<sup>2</sup>) y la eficiencia del uso de la radiación (EUR -g/MJ)). Es importante aclarar que estos registros sólo se pudieron llevar a cabo en la localidad de Marcos Juárez. A continuación se detalla la metodología de registro de cada uno de los componentes fisiológicos.

4.2.1.1 Radiación Interceptada Acumulada (RIacum): Se calculó como la suma de la radiación interceptada diaria (RADint -MJ/d) para distintos períodos del ciclo del cultivo. Para ello se midió la radiación solar incidente sobre el cultivo (RADinc -MJ) y la radiación que atravesó el estrato verde del cultivo (RADs -MJ), que fue el promedio de la radiación tomada en el centro y a los dos costados del surco central de cada

parcela. El porcentaje de intercepción de radiación (RI -%) surgió de relacionar ambas variables (RADs/RADinc). Luego a la radiación solar diaria se la multiplicó por el porcentaje de intercepción, obteniendo el valor de la radiación diaria interceptada por el cultivo, el cual sumado a lo largo de las etapas permitió obtener el valor de la radiación acumulada por el cultivo. Los registros de intercepción de la radiación se tomaron entre las 11 y 14 horas en días completamente despejados de nubosidad, con una frecuencia de dos veces por semana a partir de la segunda semana de la emergencia del cultivo, hasta madurez fisiológica utilizando un radiómetro lineal (Cavadevices).

4.2.1.2 Biomasa acumulada (BIOM -g/m<sup>2</sup>): Para establecer la evolución de la biomasa acumulada a lo largo del ciclo del cultivo se realizaron siete muestreos de biomasa aérea cortando las plantas de 50 cm lineales al ras del suelo en los surcos centrales de las parcelas. Dichos cortes de biomasa fueron realizados en los estadios de: inicio de macollaje (cultivo 5 hojas), mediados de encañazón (2 nudos), fin de encañazón (4 nudos), inicio de espigazón (aparición de aristas), antésis, 15 días pos antésis y madurez fisiológica. La eficiencia del uso de la radiación (EUR -g/Mj) se calculó como el cociente entre la biomasa acumulada para los distintos estadios y la cantidad de RIacum por el cultivo.

4.2.1.3 Componentes de rendimiento: En madurez fisiológica se extrajeron dos muestras de biomasa aérea de 1 m. lineal de los surcos centrales de cada parcela, cortando las plantas al ras de suelo. A éstas muestras se les contaron manualmente el número de espigas (NE -espigas/m<sup>2</sup>), para luego ser llevadas a estufa por 48 horas a 80 °C, registrándose luego de dicho período el peso seco total (BIOM -g/m<sup>2</sup>).

Posteriormente se realizó la trilla con una máquina experimental de plantas individual (Forty), los granos obtenidos se contaron con un contador de granos (Cavadevices) para determinar el número de grano por unidad de superficie (NG -granos/m<sup>2</sup>), mientras que el peso de mil granos (PMG -g), se obtuvo del peso promedio de dos muestras de cien granos cada una y su posterior extrapolación a mil granos.

El número de granos por espiga (NG/ESP -granos/esp) se calculó como la relación entre el número de granos y el número de espigas por m<sup>2</sup>. El índice de cosecha (IC) se calculó como la relación entre peso de los granos y la biomasa total de la muestra (REND/BIOM).

Cuando los granos del cultivo alcanzaron aproximadamente el 13 % de humedad se cosecharon 5 m<sup>2</sup> de cada parcela con una cosechadora experimental (Wintersteiger), los granos obtenidos se pesaron y fueron corregidas a 0% de humedad para determinar el rendimiento (REND -g/m<sup>2</sup>). Todas las mediciones de peso se llevaron a cabo con una balanza electrónica de precisión 0, 1 gramos (Sartorius).

## 4.3 RESULTADOS

### 4.3.1 COMPONENTES NUMÉRICOS DEL RENDIMIENTO

En la tabla 4.1) se muestra la influencia de cada fuente de variación sobre el rendimiento y los componentes fisiológicos que lo definen, donde se puede observar que el rendimiento fue afectado principalmente por el año de evaluación, luego por los tratamientos de fertilización y en tercer orden por las variedades en estudio, en tanto las localidades evaluadas no fueron importantes para explicar las diferencias en rendimientos encontradas. El rendimiento mostró diferencias significativas entre

variedades, año y tratamientos de fertilización, como así también interacciones significativas LOC\*AÑO y N\*LOC y LOC\*AÑO\*VAR (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) del rendimiento (REND - g/m<sup>2</sup>), biomasa (BIOM -g/m<sup>2</sup>) e índice de cosecha (IC). ANVA realizado discriminando por variedad.

FV	REND R <sup>2</sup> =0,67 CV=16			BIOM R <sup>2</sup> =0,59 CV=16			IC R <sup>2</sup> =0,52 CV=9		
	SC	%	Nsig	SC	%	Nsig	SC	%	Nsig
VAR	296110	13,5	**	1126481	8,5	**	0,050	22,7	***
AÑO	841667	38,4	***	4371777	33,2	***	0,020	9,1	***
LOC	849	0,0	N/S	336979	2,6	***	0,020	9,1	***
N	415575	19,0	***	3277700	24,9	***	0,001	0,6	N/S
VAR*AÑO	35111	1,6	N/S	136616	1,0	N/S	0,020	9,1	***
VAR*LOC	23366	1,1	N/S	129931	1,0	N/S	0,010	4,5	N/S
VAR*N	37034	1,7	N/S	428627	3,3	N/S	0,010	4,5	N/S
AÑO*LOC	81581	3,7	***	107857	0,8	N/S	0,010	4,5	***
AÑO*N	17535	0,8	N/S	123800	0,9	N/S	0,010	4,5	**
LOC*N	144887	6,6	***	1215788	9,2	***	0,001	0,4	N/S
VAR*AÑO*LOC	74433	3,4	**	374693	2,8	N/S	0,005	2,1	N/S
VAR*AÑO*N	43507	2,0	N/S	360881	2,7	N/S	0,010	4,5	N/S
VAR*LOC*N	58883	2,7	N/S	221000	1,7	N/S	0,010	4,5	N/S
AÑO*LOC*N	10858	0,5	N/S	88210	0,7	N/S	0,020	9,1	***
VAR*AÑO*LOC*N	108728	5,0	N/S	883809	6,7	N/S	0,010	4,5	N/S

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales VAR, AÑO, LOC y N y sus interacciones. R<sup>2</sup> indica el ajuste del modelo y CV el coeficiente de variación del ANVA.

Con el objetivo de establecer si los tratamientos de fertilización foliar provocaron efectos significativos sobre el rendimiento, en la Fig. 4.1 se compararon los resultados de fertilización inicial cuando éstos tuvieron o no fertilización foliar, observándose que la fertilización foliar no modificó significativamente el rendimiento ya que la mayoría de los puntos se ubicaron sobre la recta 1:1, por lo que es posible afirmar que las diferencias de rendimientos observadas a través de la fuente de variación N en la tabla 4.1a, fueron provocados principalmente por los tratamientos de fertilización inicial.

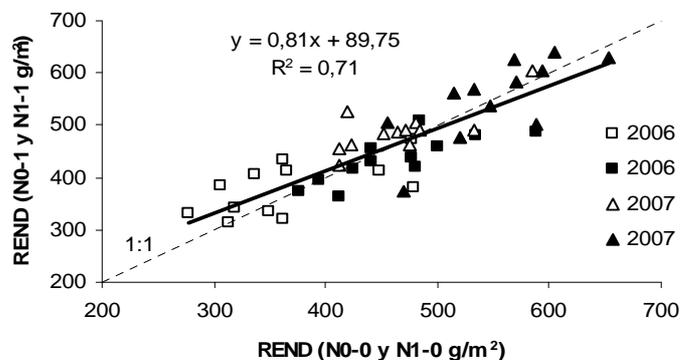


Figura 4.1: Relación entre rendimiento (REND -g/m<sup>2</sup>) medido con los tratamientos de fertilización foliar (N0-1 y N1-1), en función de los tratamientos de

fertilización inicial combinados con la fertilización inicial (N0-0 y N1-0). Cada punto es el promedio de los cuatros tratamientos de fertilización en cada año y localidad en estudio, para cada variedad: símbolos blancos ( $\square\Delta$ ) y negros ( $\blacksquare\blacktriangle$ ), corresponden a los tratamientos de fertilización foliar aplicado sobre la fertilización inicial N0 y N1 respectivamente.

De esta manera la fertilización al inicio del cultivo (N1) incrementó el rendimiento, respecto a los tratamientos sin fertilización (N0), aunque la magnitud dependió de la localidad ya que en Marcos Juárez se detectó un incremento medio del 24% (519 y 393  $\text{g/m}^2$  para N1 y N0, respectivamente), mientras que en Pergamino este fue del 12% (496 y 440  $\text{g/m}^2$  para N1 y N0, respectivamente). Efectos similares se encontraron entre años de evaluación ya que los rendimientos del año 2006 (414  $\text{g/m}^2$ ) fueron ca. 20% menores (i.e. 25 y 12% menores para Marcos Juárez y Pergamino, respectivamente) respecto del año 2007 (510  $\text{g/m}^2$ ) (Fig. 4.2).

Solamente en la localidad de Marcos Juárez se encontró diferencias significativas entre VAR, donde el cultivar que más rindió fue GA (561  $\text{g/m}^2$ ) que superó en un 16 % al que menos rindió (AG con 484  $\text{g/m}^2$ , Tabla A1 –ver Anexo-). Promediando los rendimientos de las dos localidades, para ambos años experimentales, el comportamiento de las variedades en cuanto al ranking de rendimiento fue en orden decreciente: GA (521  $\text{g/m}^2$ ), SU (472  $\text{g/m}^2$ ), ES (470  $\text{g/m}^2$ ), TO (460  $\text{g/m}^2$ ), CH 435 ( $\text{g/m}^2$ ) y AG (420  $\text{g/m}^2$ ).

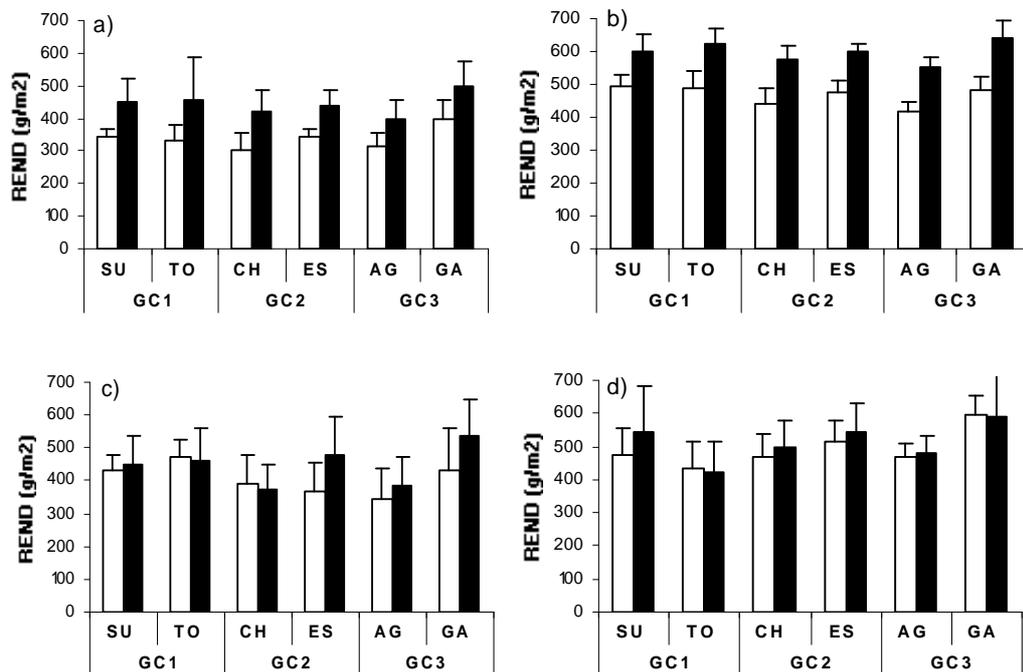


Figura 4.2: Rendimiento para cada variedad, según los tratamientos de fertilización, N0 (barras blancas) y N1 (barras negras) para a) Marcos Juárez 2006, b) Marcos Juárez 2007, c) Pergamino 2006, y d) Pergamino 2007. Las barras verticales indican el desvío estándar de las medias.

Considerando un modelo simple para expresar el rendimiento del cultivo que contemple la biomasa producida (BIOM  $\text{g/m}^2$ ) y la partición de la misma hacia los órganos reproductivos, i.e. el índice de cosecha (IC), es posible analizar cómo se

comportaron cada uno de estos sub-componentes en las distintas variedades ante distinta oferta nitrogenada en cada localidad. Así, para la variable BIOM se registraron diferencias significativas para los cuatro efectos principales (VAR, AÑO, LOC y N). También se detectó interacción significativa N\*LOC. Al igual a lo observado en REND las fuentes de variación que explican en mayor medida las variaciones en BIOM fueron en orden decreciente: AÑO, N y VAR (Tabla 4.1).

Al igual que lo observado en la variable REND, la aplicación de nitrógeno al inicio del cultivo incrementó la BIOM, aunque éste efecto dependió de la localidad, así, en Marcos Juárez los tratamientos con fertilización inicial provocaron un aumento en BIOM del 25% (de 1111-N0 a 1475-N1  $\text{g/m}^2$ ), mientras que en Pergamino el aumento fue del 10% (de 1313-N0 a 1456-N1  $\text{g/m}^2$ ) con respecto al testigo N0 (Fig. 4.3). Al igual que en rendimiento, la fertilización foliar no provocó efectos significativos en la producción de biomasa (Fig. 4.3).

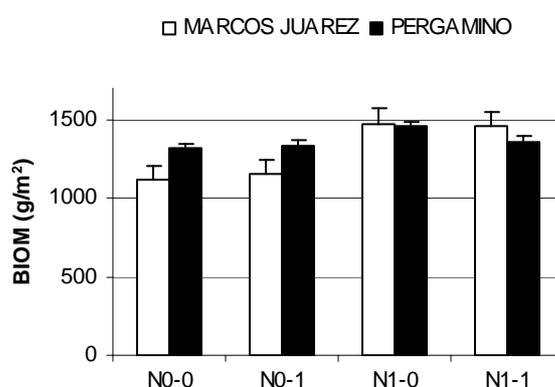


Figura 4.3: Biomasa aérea (BIOM  $\text{g/m}^2$ ) para cada tratamiento de fertilización. Barras blancas corresponden a los datos de Marcos Juárez y las barras negras a los datos de Pergamino. Las barras verticales indican el desvío estándar de las medias.

La comparación entre localidades mostró que en Pergamino la producción de BIOM fue aproximadamente un 7% mayor que en Marcos Juárez (1384 vs. 1293  $\text{g/m}^2$ , respectivamente Fig. 4.3), estas diferencias pueden ser atribuidas a las mejores condiciones de crecimiento que tuvieron los cultivares en Pergamino principalmente debido a la disponibilidad de nitrógeno a la siembra ya que en ambos años hubo más de 30 kg N/ha de diferencia, con respecto a Marcos Juárez. Por otro lado, las temperaturas medias durante el ciclo en Pergamino (14,4 y 12,7 °C para los años 2006 y 2007 respectivamente) fueron más favorables para la producción de BIOM que en Marcos Juárez (15,6 y 13,9 7 °C para los años 2006 y 2007 respectivamente).

Promediando la producción de BIOM de las dos localidades, en ambos años experimentales y los cuatros tratamientos de fertilización nitrogenados, el ranking de variedades en orden decreciente fue: GA (1429  $\text{g/m}^2$ ), SU (1393  $\text{g/m}^2$ ), TO (1329  $\text{g/m}^2$ ), CH (1315  $\text{g/m}^2$ ), ES (1281  $\text{g/m}^2$ ), y AG (1245  $\text{g/m}^2$ ) (Tabla A1 –ver Anexo-).

Para la variable IC sólo se encontraron diferencias significativas entre VAR, LOC y AÑO ( $p < 0,01$ ), observándose una interacción significativa VAR\*AÑO y AÑO\*LOC ( $p < 0,05$ ), N\*AÑO y N\*LOC\*AÑO. Donde las variedades, de mayor IC fueron ES y GA (3,37), seguidas por TO (0,35), AG (0,34), SU (0,34) y por último CH cuyo IC fue de 0,33 (Tabla 4,1).

Promediando las dos localidades en los dos años de evaluación los IC se mantuvieron en valores cercanos a 0,34 excepto en Marcos Juárez en el año 2007, donde este parámetro se incrementó a 0,37. El tratamiento de fertilización solo mostró efectos significativos en el IC en la localidad de Marcos Juárez, aunque dicho efecto fue distinto según los años de evaluación, ya que en el año 2006 los tratamientos con fertilización inicial disminuyeron el IC de 0,36 a 0,33, tuvieron o no fertilización foliar, mientras que en el 2007 se incrementó de 0,36 a 0,38 con respecto a los tratamiento sin fertilización inicial.

El análisis del efecto año mostró que en general los IC fueron ligeramente mayores en el año 2007, respecto del 2006, aunque este incremento dependió del cultivar, sobre todo en Pergamino, ya que hubieron variedades como CH que aumentaron el IC (0,31 vs. 0,35 para el año 2006 y 2007 respectivamente), mientras que otras como TO lo disminuyeron (0,31 vs. 0,35).

De acuerdo al ANVA agrupando las variedades por grupo de calidad, no se registraron diferencias significativas entre GC, en ninguno de los tres parámetros analizados hasta el momento (REND, BIOM e IC) sólo se detectó interacción significativa LOC\*AÑO\*GC y AÑO\*GC en REND e IC respectivamente (Tabla A.2 - Anexo).

Los resultados muestran que gran parte de las variaciones observadas en el rendimiento fueron explicadas por variaciones en la materia seca generada por el cultivo ya que la partición de dicha biomasa (IC) no mostró diferencias significativas para los tratamientos de variedad y fertilización inicial. En este sentido, la Fig. 4.4 demuestra como las variaciones en el rendimiento fueron explicadas en más del 80% por cambios en la BIOM aérea ( $R^2 = 0,82$ ,  $p < 0,01$ , Fig. 4.4a), mientras que el IC explicó cerca del 25% de las variaciones en el rendimiento ( $R^2 = 0,25$   $p < 0,01$ , Fig. 4.4b).

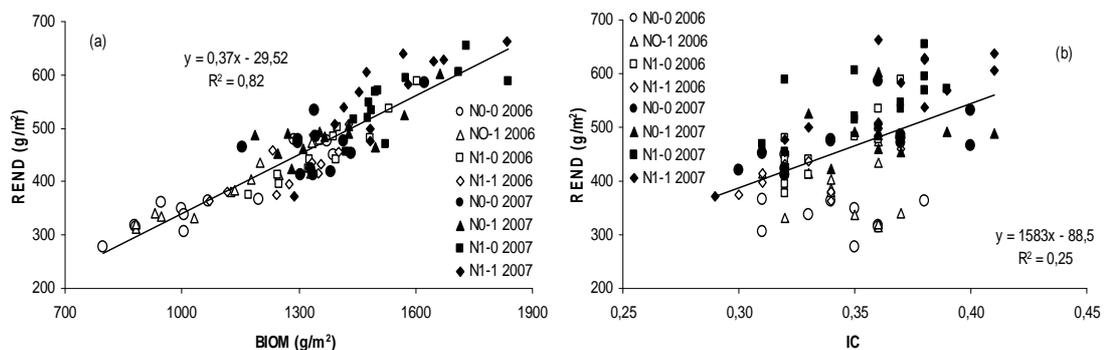


Figura 4.4: a) Rendimiento (REND - $g/m^2$ ) en función de la biomasa (BIOM - $g/m^2$ ) y b) en función del índice de cosecha (IC). Cada punto es el promedio de la combinación VAR, N, AÑO y LOC, los símbolos círculos, triángulos, cuadrados y rombos corresponden a los tratamientos de fertilización N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1 respectivamente, símbolos blancos corresponden a los datos del año 2006 y los negros a los datos del año 2007.

En la misma figura se puede observar como los puntos correspondientes a los tratamientos de fertilización se alinean en una sola regresión ubicándose los datos correspondientes a los tratamientos sin fertilización inicial (N0-0 y N0-1) a la izquierda de la regresión mientras que los tratamientos con fertilización inicial (N1-0 y N1-1), con

mayores niveles de REND y BIOM se distribuyen a la derecha de la misma, mostrando que la partición hacia órganos reproductivos (IC) no fue significativamente modificado por la oferta de nitrógeno. De hecho esto se confirma en la Fig. 4.4b donde el rango de IC que se explora en ambos tratamientos nitrogenados fue similar.

El análisis estadístico de los componentes numéricos del rendimiento, i.e. número de granos (NG -granos/m<sup>2</sup>) y peso de mil granos (PMG -g), mostró que hubo diferencias significativas en el NG entre VAR, N (p< 0,01), LOC (p<0,05) y AÑO (p<0,01), registrándose interacción significativa VAR\*AÑO y N\*LOC (p< 0,01). El análisis de la suma de cuadrados del ANVA mostró que los cultivares y los tratamientos de fertilización, fueron las fuentes de variación que más aportaron a la variabilidad en el NG (Tabla 4.2).

Tabla 4.2: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) del número de granos (NG -granos/m<sup>2</sup>) y peso de los granos (PMG -g). ANVA realizado discriminando por variedad.

FV	NG R <sup>2</sup> =0,63 CV=16,05				PMG R <sup>2</sup> =0,87 CV=5,87		
	SC	%	NSig	SC	%	NSig	
VAR	407708008	23,5	***	2622	54,7	***	
AÑO	185916402	10,7	***	1161	24,2	***	
LOC	59810443	3,4	***	138	2,9	***	
N	416176364	23,9	***	102	2,1	***	
VAR*AÑO	166448955	9,6	***	88	1,8	***	
VAR*LOC	36329471	2,1	N/S	120	2,5	***	
VAR*N	41608645	2,4	N/S	15	0,3	N/S	
AÑO*LOC	809798	0,0	N/S	289	6,0	***	
AÑO*N	12139541	0,7	N/S	10	0,2	N/S	
LOC*N	161194484	9,3	***	7	0,1	N/S	
VAR*AÑO*LOC	42926972	2,5	N/S	58	1,2	***	
VAR*AÑO*N	47348584	2,7	N/S	50	1,0	N/S	
VAR*LOC*N	51031626	2,9	N/S	77	1,6	N/S	
AÑO*LOC*N	20016005	1,2	N/S	32	0,7	**	
VAR*AÑO*LOC*N	88742973	5,1	N/S	23	0,5	N/S	

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales VAR, AÑO, LOC y N y sus interacciones. R<sup>2</sup> indica el ajuste del modelo y CV el coeficiente de variación del ANVA.

Observando la Fig. 4.5. se deduce que la fertilización foliar no provocó efecto significativo sobre el NG ya que los puntos se ubicaron próximos a la recta 1:1, cuando se contrastó los resultados con fertilización foliar versus los tratamientos sin fertilización foliar. Por lo que cuando hablemos de efecto de fertilización, sólo nos referiremos al efecto de la fertilización inicial.

La fertilización nitrogenada, en línea con lo observado en el rendimiento, produjo incrementos significativos el número de granos por unidad de superficie, aunque la magnitud de este efecto fue distinta según la localidad. Así en la localidad de Marcos Juárez el NG con tratamientos de fertilización inicial, se incrementó un 27% (de 11748 a 16740 granos/m<sup>2</sup>), mientras que en Pergamino dicho incremento fue de 7%,

respecto a los tratamientos sin fertilización inicial (de 14484 a 15563 granos/m<sup>2</sup>). Por otro lado no se detectaron diferencias significativas entre las variedades en cuanto a la repuesta a la fertilización nitrogenada (Tabla A.3 –ver Anexo-).

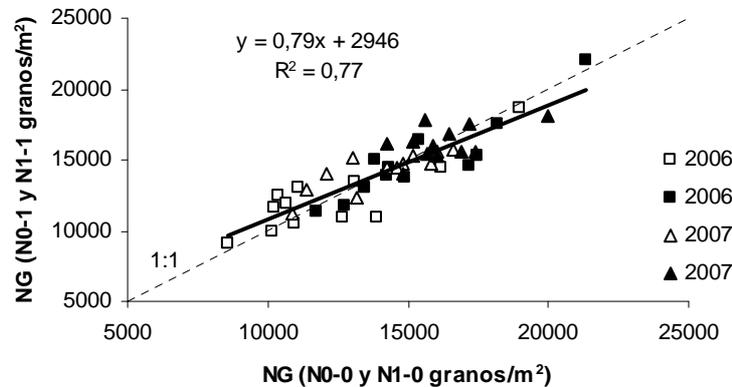


Figura 4.5: Relación entre el número de granos (NG -granos/m<sup>2</sup>) medido con los tratamientos con fertilización foliar (N0-1 y N1-1), en función de los tratamientos de fertilización inicial combinados con la fertilización inicial (N0-0 y N1-0). Cada punto es el promedio de cada año, localidad y variedad en estudio, para cada tratamiento de fertilización: símbolos blancos (□△) y negros (■▲), corresponden a los tratamientos de fertilización foliares aplicado sobre la fertilización inicial N0-0 y N1-1 respectivamente. Símbolos cuadrados corresponden al año 2006 y los triángulos al año 2007.

Si bien la mayoría de las variedades tuvieron una tendencia a aumentar el NG en el año 2007, algunas como TO mostraron una disminución en éste atributo, por lo que el ranking de variedades no siempre se repitió en ambos años. Por ejemplo, la variedad TO fue la que registró el mayor NG en ambos años (17034 y 16285 granos/m<sup>2</sup>, para los años 2006 y 2007 respectivamente), mientras las variedades de menor NG fueron AG (11730 granos/m<sup>2</sup>) en el año 2006 y GA (14282 granos/m<sup>2</sup>) en el año 2007 (Tabla A.3 – ver Anexo).

Agrupando las variedades por grupo de calidad, no se detectaron diferencias significativas entre GC, aunque se detectó interacción GC\*AÑO (Tabla A.4 – ver Anexo), donde en ambos años el GC de mayor NG fue el GC1 (15941 y 15975 granos/m<sup>2</sup>, para los años 2006 y 2007 respectivamente), en tanto los de menor NG fueron GC2 y GC3 (12155 y 14771, en los años 2006 y 2007, respectivamente) (Tabla A.4)

En cuanto al PMG se encontraron diferencias significativas para los cuatros efectos principales (VAR, N, LOC y AÑO p<0,001). Según la suma de cuadrados del ANVA los cultivares y los años de evaluación fueron las fuentes de variación que más aportaron a la variabilidad en el PMG (Tabla 4.2). Los PMG promedio de las variedades de mayor a menor, contemplando ambos años y las dos localidades y tratamientos de fertilización fueron: GA (37,03 g), ES (34,27 g), CH (33,27 g), AG (32,05 g), SU (31,32 g), y TO (27,14 g) (Tabla A.3 -Anexo).

En cuanto al efecto año, si bien en el año 2007 se lograron mayores PMG, la magnitud de éste efecto dependió del cultivar, donde SU fue el que más varió el PMG pasando de 29,36 a 34,28 g en los años 2006 y 2007 respectivamente, mientras que el

más estable fue CH, cuyos PMG fueron 31,72 y 34,82 g, en los años 2006 y 2007 respectivamente (Tabla A.3 –ver Anexo-).

La localidad mostró un efecto significativo en el PMG. En promedio Marcos Juárez alcanzó un PMG 4% mayor que Pergamino. Sin embargo, se registró una interacción VAR\*LOC significativa, ya que hubo cultivares que no modificaron su peso de grano como AG, CH y ES, mientras que otros como SU incrementaron el PMG aproximadamente un 12% en Marcos Juárez respecto a Pergamino (de 30 a 33 g) (Tabla A.3 –ver Anexo-).

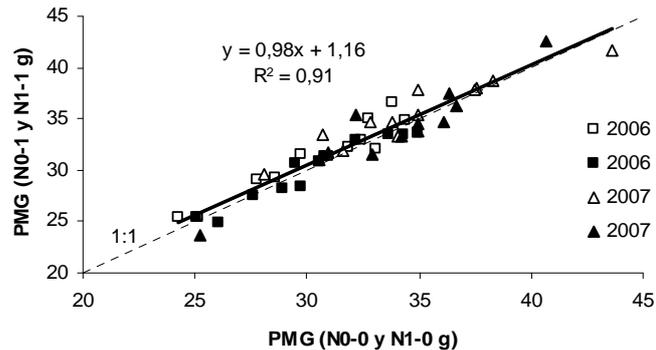


Figura 4.6: Relación entre el peso de los granos (PMG -g) medido con los tratamientos con fertilización foliar (N0-1 y N1-1), en función de los tratamientos de fertilización inicial combinados con la fertilización foliar (N0-0 y N1-0). Cada punto es el promedio de cada año, localidad y variedad en estudio, para cada tratamiento de fertilización. Símbolos blancos ( $\square\Delta$ ) y negros ( $\blacksquare\blacktriangle$ ), corresponden a los tratamientos de fertilización foliares aplicado sobre la fertilización inicial N0-0 y N1-1 respectivamente. Símbolos cuadrados corresponden al año 2006 y los triángulos al año 2007.

Si bien se detectó un efecto significativo de la fertilización nitrogenada sobre el PMG, dicho efecto fue como máximo del 3% en Marcos Juárez, a favor de los tratamientos sin fertilización inicial (33,4 g) con respecto a los tratamientos con fertilización inicial (32,5 g, ver Tabla A.3 -Anexo). También en este caso la fertilización foliar no provocó efecto significativo sobre el PMG, ya que en la Fig. 4.6 los puntos se ubicaron sobre la recta 1:1, cuando se contrastó la fertilización foliar con la inicial. Al igual que lo observado en el NG, en el PMG no hubo diferencias estadísticamente significativas entre cultivares en cuanto a la respuesta a la fertilización nitrogenada.

Agrupando los cultivares por grupos de calidad, se detectaron diferencias entre los GC e interacción GC\*LOC (Tabla A.4 -Anexo). Aunque el ranking de GC no se modificó, en ambas localidades el GC1 fue el de menor PMG (30,5 y 28,0 g, para Marcos Juárez y Pergamino respectivamente), y el GC3 fue el de mayor PMG (35,3 y 33,8 g, para Marcos Juárez y Pergamino, respectivamente) (Tabla A.3 –Anexo-).

EL análisis de correlación entre el rendimiento y los componentes que lo definen, demostró que las variaciones en el rendimiento fueron explicadas principalmente por cambios en el NG ( $R^2 = 0,47$   $p < 0,01$ ) más que por cambios en el PMG ( $R^2 = 0,20$   $p < 0,05$ ). Sin embargo, la relación entre rendimiento y NG fue mejor ajustada por un modelo curvilíneo, más que por un modelo de tipo lineal, sugiriendo compensaciones en el PMG ante aumentos en el NG (Fig. 4.7).

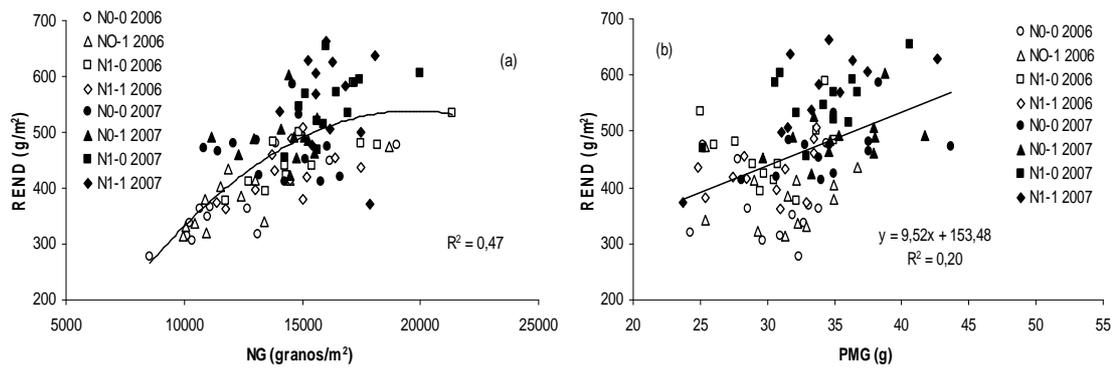


Figura 4.7: (a) Rendimiento (REND -g/m<sup>2</sup>) en función del número de granos por superficie (NG -granos/m<sup>2</sup>) y (b) en función del peso de mil granos (PMG -g). Cada punto es el promedio de la combinación VAR, N, AÑO y LOC, los símbolos círculos, triángulos, cuadrados y rombos corresponden a los tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1 respectivamente). Símbolos blancos y negros corresponden a los datos de los años 2006 y 2007 respectivamente.

De este modo, se evidencia que a partir de valores de NG mayores a 17.000 el rendimiento no mostró un incremento consistente, debido posiblemente a compensaciones en el peso de los granos (Fig. 4.7a). De hecho, cuando el PMG fue contrastado con el NG se observó una relación negativa entre ambas variables (Fig. 4.8). Debido a que el PMG fue mayor en el año 2007 respecto del 2006 se ajustó una regresión lineal para cada uno de los años, mostrando en ambos casos una tendencia similar. Así, consistentemente dentro de cada año se observó una asociación negativa entre ambas variables, donde a mayor NG hay una caída en el PMG ( $R^2 = 0,29$ ,  $p < 0,01$  y  $R^2 = 0,23$ ,  $p < 0,01$  para los años 2006 y 2007 respectivamente). Es importante remarcar que dicha compensación fue parcial ya que incrementos en el NG no mostraron reducciones proporcionalmente menor respecto de dicho incremento.

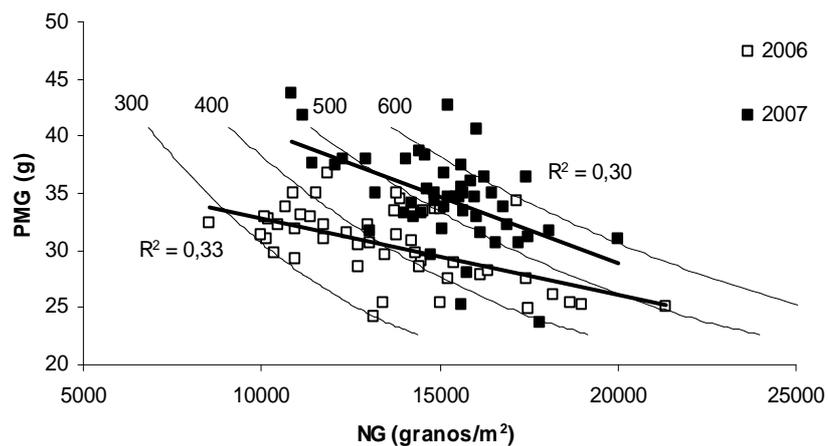


Figura 4.8: Peso de mil granos (PMG -g) en función del número de granos por superficie (NG -granos/m<sup>2</sup>). Cada punto es el promedio de la combinación VAR, N, AÑO y LOC, símbolos blancos y negros corresponden a los años 2006 y 2007 respectivamente. Líneas punteadas representan las isocurvas de rendimiento de 300, 400, 500 y 600 g/m<sup>2</sup>.

Cuando se correlacionó el NG con los sub-componentes que lo definen, i.e. granos por espiga (NG/ESP -granos/espiga) y número de espigas por superficie (NE -espigas/m<sup>2</sup>), se observó que el NG no mostró asociación significativa con el número de granos por espigas ( $R^2 = 0,02$   $p < 0,01$ , las variaciones en el NG se explicaron por los cambios en el número de espigas por unidad de área (Fig. 4.9). A su vez, esta correlación entre el NG y NE dependió de los niveles de fertilización nitrogenada iniciales, registrándose una mayor correlación en los tratamiento sin fertilización inicial, respecto a los que tenían fertilización inicial ( $R^2 = 0,74$ ,  $p < 0,01$  y  $R^2 = 0,36$ ,  $p < 0,01$ , respectivamente).

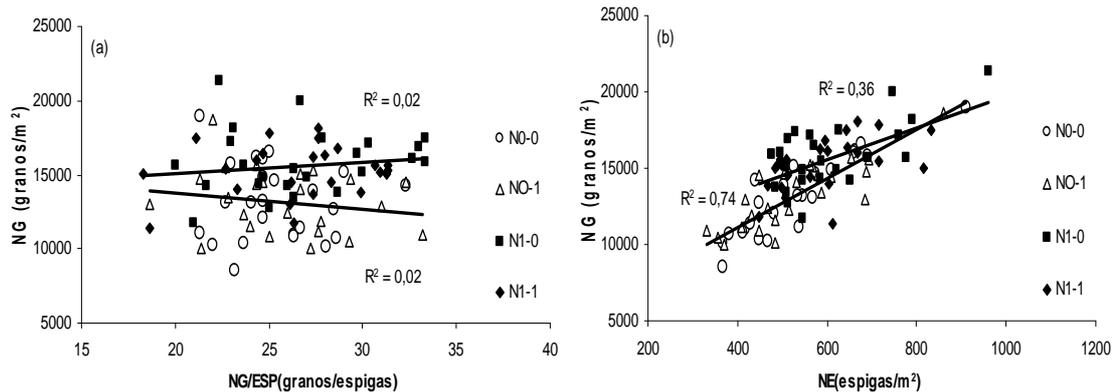


Figura 4.9: (a) Número de granos por superficie (NG -granos/m<sup>2</sup>), en función del número de granos por espigas (NG/ESP -granos/espiga) y (b) en función del número de espigas por superficie (NE -espigas/m<sup>2</sup>). Cada punto es el promedio de la combinación VAR, N, AÑO y LOC. Los símbolos círculos, triángulos, cuadrados y rombos corresponden a los tratamientos N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1 respectivamente.

Para un mismo número de espigas por m<sup>2</sup> el NG fue mayor en los tratamientos con fertilización inicial (N1-0 y N1-1) respecto a los que no tuvieron fertilización inicial (N0-0 y N0-1) lo que implica que la aplicación de nitrógeno al inicio del cultivo mejoró el número de granos por espiga (18 vs. 11,7 para N0 y N1 respectivamente, Fig. 4.9).

#### 4.3.2 COMPONENTES FISIOLÓGICOS DE LA BIOMASA.

El análisis de los componentes fisiológicos de la biomasa, i.e. radiación interceptada acumulada (RI acum -Mj./m<sup>2</sup>) y eficiencia del uso de la radiación (EUR -g/Mj.) se llevó a cabo sólo en la localidad de Marcos Juárez ya que no se pudo evaluar en Pergamino por falta de registros, tal como fue explicado en la sección de Materiales y Métodos.

Para el caso de RI acum se detectaron diferencias significativas entre variedades, entre los tratamientos de fertilización y entre años de evaluación. Los tratamientos de fertilización fue la fuente de variación que más aportó a la variabilidad de la RI acum (Tabla 4.3) siendo la fertilización realizada al inicio del cultivo, la que provocó la mayor variación, ya que cuando se contrastaron los tratamientos de fertilización foliar con los tratamientos de fertilización inicial, los puntos se ubicaron sobre la recta 1:1 (Fig. 4.10).

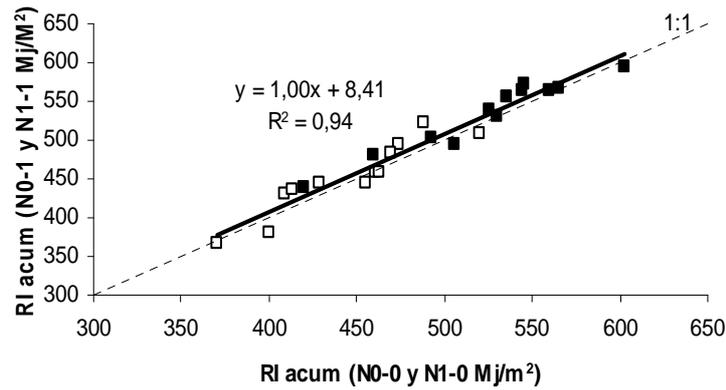


Figura 4.10: Relación entre radiación interceptada acumulada (RI acum -Mj/m<sup>2</sup>) medida con los tratamientos con fertilización foliar (N0-1 y N1-1), en función de los tratamientos de fertilización inicial combinados (N0-0 y N1-0). Cada punto es el promedio de cada año y variedad en estudio, para cada tratamiento de fertilización. Símbolos blancos y negros, corresponden a los tratamientos de fertilización foliares aplicado sobre la fertilización inicial N0-0 y N1-1, respectivamente.

La RI acum se incrementó ca.15% con la fertilización nitrogenada al inicio del cultivo, obteniéndose para éste tratamiento un valor promedio de 523 Mj./m<sup>2</sup>, mientras que para los tratamientos sin fertilización inicial, dicho valor fue de 446 Mj./m<sup>2</sup> (Tabla A.5 –ver Anexo-).

Tabla 4.3 Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) de la radiación interceptada acumulada (RI acum -Mj./m<sup>2</sup>) y la eficiencia del uso de la radiación (EUR -g/Mj.). ANVA realizado discriminando por variedad.

FV	RIacum SC	R <sup>2</sup> =0,5 %	CV=14,8 NSig	EUR SC	R <sup>2</sup> =0,55 %	CV=10,7 NSig
VAR	76030	14,8	**	3,82	40,1	***
AÑO	95018	18,5	***	0,83	8,7	***
N	231422	45,1	***	2,23	23,4	***
VAR*AÑO	80637	15,7	**	0,90	9,5	*
VAR*N	2648	0,5	N/S	0,64	6,7	N/S
AÑO*N	7836	1,5	N/S	0,34	3,6	N/S
VAR*AÑO*N	19344	3,8	N/S	0,75	7,9	N/S

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia (NS) al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales VAR, AÑO y N y sus interacciones. R<sup>2</sup> indica el ajuste del modelo y CV el coeficiente de variación del ANVA.

Entre variedades se registraron diferencias sólo en el año 2007, destacándose en éste año una mayor RI acum en las variedades SU (545 Mj./m<sup>2</sup>) y ES (543 Mj./m<sup>2</sup>) y en el otro extremo los cultivares TO y CH con 479 Mj./m<sup>2</sup> mostraron los menores valores, esto es un 7% de diferencia entre ambos extremos. Si bien en el año 2006 la diferencia entre los cultivares para la RI acum fue mayor en términos proporcionales entre los extremos (GA 505 Mj./m<sup>2</sup> vs. TO 395 Mj./m<sup>2</sup>) respecto de las registradas en el año 2007, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las mismas

debido probablemente al mayor coeficiente de variación registrado (21%) en este año, mientras que en el año 2007 fue del 9% (Tabla A.5 –Anexo-).

El análisis estadístico para la EUR mostró diferencias significativas para los efectos principales VAR, N y AÑO ( $p < 0,01$ ) e interacción VAR\*AÑO significativa. Las variaciones de este parámetro fueron explicadas, principalmente por las fuentes de variación VAR y N, especialmente este último explicó ca. 45% de la variación total (Tabla 4.3).

Si bien en el año 2007 la mayoría de los cultivares aumentaron la EUR, respecto del año 2006, como es el caso de AG y GA, que incrementaron este parámetro un 15 %, otras variedades en cambio disminuyeron la EUR en el año 2007 respecto del anterior (ej. ES y SU en un 2 y 4 %, respectivamente) (Tabla 4.5 -Anexo).

En cuanto al efecto del nitrógeno sobre la EUR, los cambios en este parámetro fueron provocados tanto por los tratamientos de fertilización inicial como los foliares, ya que los valores con la fertilización foliar se ubicaron en su mayoría por encima de la recta 1:1, aunque el impacto relativo de la fertilización foliar fue menor que el de la aplicación de N al inicio del cultivo (Figura 4.11). Entre tratamientos de fertilización inicial las diferencias en EUR fueron del 9 % (2,71 vs. 2,47 g/Mj. para los tratamientos con y sin fertilización inicial, respectivamente), mientras que con la fertilización foliar se logró incrementar la EUR un 3%, independientemente de la fertilización inicial. No se detectó interacción significativa N\*VAR, indicando que todas las variedades respondieron a los tratamientos de fertilización de manera similar (Tabla A.5 -ver Anexo-).

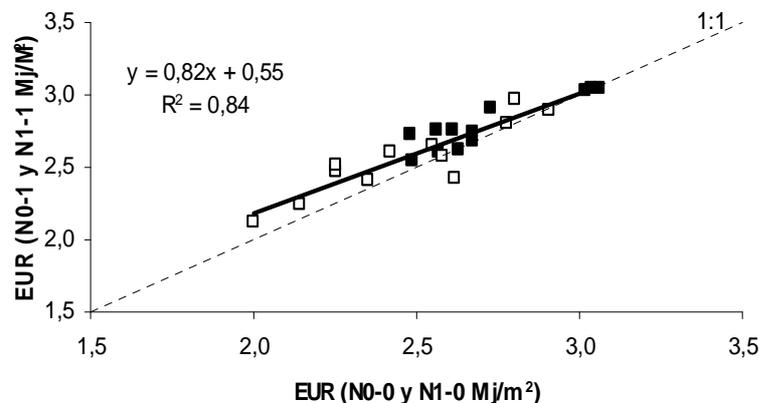


Figura 4.11: Relación entre la eficiencia del uso de la radiación (EUR –g/Mj) medidas con los tratamientos con fertilización foliar (N0-1 y N1-1), en función de los tratamientos de fertilización inicial (N0-0 y N1-0). Cada punto es el promedio de cada año y variedad en estudio, para cada tratamiento de fertilización. Símbolos blancos y negros, corresponden a los tratamientos de fertilización foliares aplicado sobre la fertilización inicial N0-0 y N1-1, respectivamente.

Cuando ambas variables i.e RI acum y EUR fueron calculados para los períodos pre y post antesis (Tabla 4.4), se observó que la RI preantesis mostró diferencias significativas entre VAR, N e interacción VAR\*AÑO ( $p < 0,01$ ), siendo AG (332  $Mj/m^2$ ) el cultivar con mayor radiación acumulada, superando al cultivar de menor radiación acumulada CH (311  $Mj/m^2$ ) en un 7% (Tabla A4 –Anexo).

La aplicación de nitrógeno a la siembra incrementó significativamente la RI PRE ( $p < 0,01$ ) en un 11% con respecto al tratamiento sin fertilización inicial (i.e. 341 y 303 MJ/m<sup>2</sup> para los tratamientos sin y con fertilizante, respectivamente (Fig. 4.12).

La RI acum post antesis mostró diferencias significativas para los tres efectos principales VAR, N y AÑOS ( $p < 0,01$ ), detectándose interacción VAR\*AÑO y N\*AÑO ( $p < 0,01$ ) significativa. La suma de cuadrados mostró que la RI acum post antesis fue explicada en mayor medida por las fuentes de variación AÑO y VAR (Tabla 4.4). La interacción VAR\*AÑO se explica debido a que las variedades aumentaron la RI acum postantesis en el año 2007, en distinta magnitud. Por ejemplo, TO incrementó esta variable en un 62% (62 vs.161 MJ/m<sup>2</sup> para los años 2006 y 2007, respectivamente), mientras que CH lo hizo sólo en un 15% cuando se contemplaron ambos años (176 vs.222 MJ/m<sup>2</sup> para los años 2006 y 2007 respectivamente) (ver Tabla A.7 –Anexo-).

La interacción significativa N\*AÑO fue debido a que la respuesta a la fertilización fue mayor en el año 2007 incrementando la RI acum POS un 27%, mientras que el año 2006 el incremento fue del 12% (Fig. 4.12). En este caso las variaciones provocadas por N en RI acum post antesis, se debieron principalmente a los tratamientos de fertilización inicial que aumentaron este parámetro un 22%, respecto al testigo sin fertilizar, mientras que la fertilización foliar sólo lo hizo en un 3%, respecto a los tratamientos sin fertilización foliar independientemente de la fertilización inicial (Tabla A.7 –Anexo-).

Analizando la EUR preantesis se observaron diferencias significativas entre las variedades, aunque de menor magnitud, ( $p = 0,01$ ), entre los tratamientos de fertilización ( $p < 0,01$ ) y entre años ( $p < 0,05$ ). Por otro lado se pudo ver que las fuentes de variación VAR y N fueron las que más explicaron los cambios en éste atributo (Tabla 4.4). El ranking promedio de EUR preantesis de las variedades en orden decreciente fue: AG (2,38 g/Mj), ES (2,50 g/Mj), SU (2,54 g/Mj), CH (2,76 g/Mj), GA (2,81 g/Mj), y TO (2,91 g/Mj), habiendo una diferencia de 20% entre la variedad de mayor y menor EUR durante el período preantesis (Tabla A.7 –ver Anexo-).

Tabla 4.4: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuente de variación (FV) de la radiación interceptada acumulada durante todo el período pre antesis (RI AN) y durante post antesis (RI POS - MJ./m<sup>2</sup>) y eficiencia del uso de la radiación (g/Mj) calculada durante pre (EUR pre) y post antesis (EUR pos). ANVA realizado discriminando por variedad.

FV	RI AN R <sup>2</sup> =0,35 CV=16			RI POST R <sup>2</sup> =0,83 CV=16			PRE R <sup>2</sup> =0,46 CV=14			POS R <sup>2</sup> =0,29 CV=49		
	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig
VAR	37214	26,6	**	101471	28,4	***	5,07	42,7	***	15,4	20,5	N/S
AÑO	5341	3,8	N/S	144653	40,5	***	0,70	5,9	**	5,5	7,3	*
N	51803	37,1	***	64738	18,1	***	3,22	27,2	***	2,8	3,7	N/S
VAR*AÑO	38920	27,8	**	20594	5,8	***	1,07	9,0	N/S	14,3	19,1	N/S
VAR*N	1046	0,7	N/S	1614	0,5	N/S	0,67	5,6	N/S	11,8	15,7	N/S
AÑO*N	1482	1,1	N/S	15932	4,5	***	0,10	0,8	N/S	8,2	11,0	N/S
VAR*AÑO*N	3964	2,8	N/S	8466	2,4	N/S	1,03	8,7	N/S	17,1	22,7	N/S

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia (NS) al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales VAR, AÑO y N y sus interacciones. R<sup>2</sup> indica el ajuste del modelo y CV el coeficiente de variación del ANVA.

El tratamiento de fertilización inicial incrementó significativamente la EUR preantesis en un 10% respecto al testigo sin fertilizar (i.e 2,50 y 2,76 g/Mj, para los tratamientos sin y con fertilizante, respectivamente). No se detectaron respuestas diferenciales de las variedades a los tratamientos nitrogenados. En relación con el efecto año, en el 2007 se registró un 7% más de EUR preantesis respecto del año 2006 (Tabla A.7 –ver Anexo-).

En cuanto a la eficiencia del uso de la radiación post antesis, el coeficiente de variación para el conjunto de datos fue excesivamente alto (49%), por lo que, con excepción de los tratamientos de fertilización ( $p < 0,1$ ), no se detectaron diferencias significativas en ninguno de los efectos principales (Tabla 4.4).

En el año 2007, con un coeficiente de variación menor (25%), se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $p < 0,1$ ), donde TO (4,08 g/Mj) fue la variedad de mayor EUR y ES (2,41 g/Mj) la que mostró el menor valor. Promediando los datos de los dos años y los dos tratamientos de fertilización, el ranking de variedades para la EUR postantesis fue: TO (3,44 g/Mj), GA (2,96 g/Mj), SU (2,85 g/Mj), CH (2,77 g/Mj), ES (2,54 g/Mj) y AG (2,43 g/Mj) (Tabla A.7 –Anexo-).

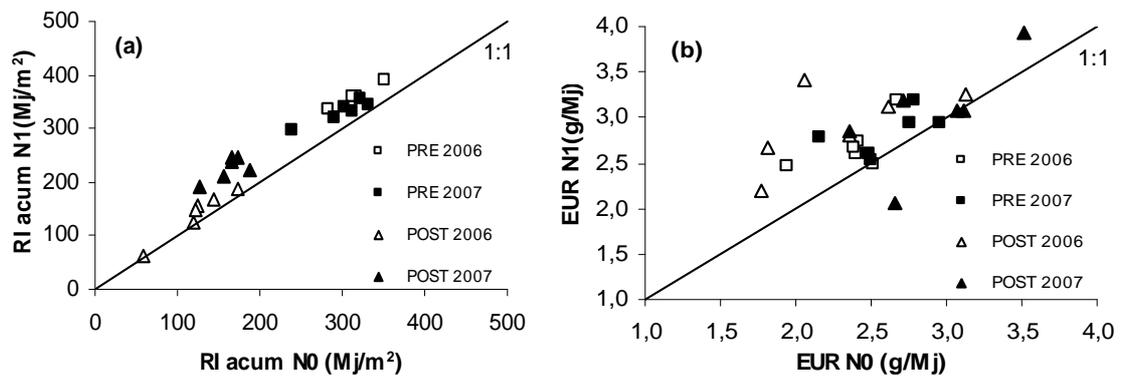


Figura 4.12: (a) Radiación interceptada acumulada con el tratamiento de fertilización al inicio del cultivo (RI acum N1 -MJ/m<sup>2</sup>) en función de la radiación interceptada acumulada con el tratamiento de fertilización testigo (RI acum N0 -MJ/m<sup>2</sup>), (b) eficiencia del uso de la radiación con el tratamiento de fertilización al inicio del cultivo (EUR N1 -g/MJ) en función de la eficiencia del uso de la radiación con el tratamiento de fertilización testigo (EUR N0 -g/MJ). Símbolos cuadrados corresponden a los datos de preantesis, símbolos triángulos a los datos de post antesis. Colores negros corresponden a datos del año 2007 y los blancos a los del año 2006.

Si bien no se detectaron diferencias significativas entre N, la tendencia fue un incremento de la EUR post antesis en un 11% (de 2,77 a 2,86 g/Mj) debido a la fertilización nitrogenada al inicio del cultivo, respecto el tratamiento sin fertilizante (N0), no observándose respuestas diferenciales asociadas con las variedades (Tabla A.7 –Anexo-).

Correlacionando entre si los componentes fisiológicos de la BIOM estudiados, se confirma que los cambios en la radiación acumulada a madurez fisiológica estuvieron asociados en mayor medida con la RI acum durante post antesis ( $R^2 = 0,85$ ,  $p < 0,01$ ) más que con cambios en la RI acum pre antesis ( $R^2 = 0,55$ ,  $p < 0,10$ ). En el mismo sentido

la EUR del ciclo completo (EUR MF) mostró una mayor correlación con la EUR pre antesis ( $R^2=0,93$ ,  $p<0,01$ ), que con la EUR post antesis ( $R^2=0,67$ ,  $P<0,01$ ).

Las variaciones en la BIOM fueron explicadas tanto por las variaciones en la RI acum ( $R^2=0,41$ ,  $p<0,01$ , Fig. 4.13a) como por los cambios registrados en EUR, aunque la BIOM fue algo mejor explicada por la EUR ( $R^2=0,53$ ,  $p<0,01$ , Fig. 4.13b), incrementando  $606 \text{ g/m}^2$  de BIOM por cada punto de incremento en la EUR. El análisis estadístico mostró que el efecto principal que más aportó a la variación de la RI acum fue N y en segundo término el año de evaluación, mientras que las variedades fueron las que más aportaron a la variación de la EUR.

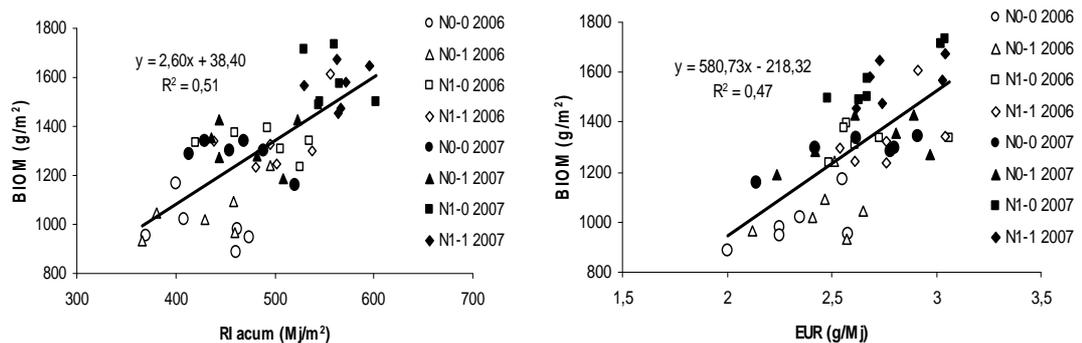


Figura 4.13: (a) Biomasa (BIOM - $\text{g/m}^2$ ) en función de la radiación interceptada acumulada (RI acum - $\text{Mj/m}^2$ ) y (b) en función de la eficiencia del uso de la radiación (EUR - $\text{g/Mj}$ ). Cada punto es el promedio de la combinación de variedades, año y tratamientos de fertilización.

## 4.4 DISCUSION

### 4.4.1 IMPACTO DE LA DISPONIBILIDAD DE NITROGENO SOBRE EL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

Los resultados de la presente tesis mostraron que la respuesta a la fertilización nitrogenada al inicio del cultivo (N1) fue hacia incrementos en el rendimiento del cultivo aunque la respuesta mayor, cuando la disponibilidad de N en el suelo fue menor (ej. en la localidad de Marcos Juárez), en coincidencia con lo postulado por Abbate *et al.* (1995) y Slafer *et al.* (2006), quienes mostraron que la respuesta a la fertilización nitrogenada disminuye a medida que la disponibilidad de nitratos en el suelo a la siembra es mayor

Tal como fue descrito en la introducción de este Capítulo, se consideraron dos modelos de rendimiento para explicar los componentes fisiológicos que conforman el mismo: (i) un modelo donde el rendimiento es explicado a través del producto de la biomasa total producida y del índice de cosecha y (ii) un modelo que desglosa el rendimiento en el número y peso de los granos y sus respectivos sub-componentes. En el primer caso, los resultados mostraron que las variaciones en el rendimiento fueron explicadas principalmente por cambios en la biomasa total más que por variaciones en el IC. De hecho, el manejo nutricional de nitrógeno mostró un fuerte impacto sobre la producción de biomasa con aumentos de entre un 10 y 30% dependiendo de la localidad y el año, en línea con lo observado por Cossani *et al.* (2009). De esta manera, los resultados confirman que la partición de la biomasa generada hacia los órganos reproductivos (i.e IC) es un carácter de mayor estabilidad (más conservativo) que la

biomasa aérea generada por el cultivo ante cambios en la oferta de recursos (Salvagiotti & Miralles, 2008).

Cuando se analizó el rendimiento a través de los componentes numéricos, una mayor oferta nutricional produjo incrementos en el NG, de modo que los resultados de esta tesis confirman una mayor correlación del rendimiento con el número de granos por unidad de superficie que con el peso de los mismos en todos los cultivares y condiciones ambientales evaluadas (Fig. 4.7). Estos resultados, están en línea con una gran cantidad de datos que son coincidentes con dicha asociación (Fischer *et al.*, 1977; Abbate *et al.*, 1995; Calderini *et al.*, 1999; Lerner *et al.*, 2007 y Falcón *et al.*, 2008).

Distintas evidencias en la literatura discuten si el cultivo de trigo está limitado por fuente o por destino Borrás *et al.* (2004) mostraron a partir de una gran cantidad de datos tomados de la literatura que en general el cultivo de trigo está limitado por destinos y no por fuente, aunque en particular, en el mismo trabajo se pueden observar respuestas en el peso de los granos de hasta un 25% respecto de los testigos debido a una falta de fuente. En la presente tesis cuando el PMG fue contrastado con el NG para determinar si existió efecto de compensación entre ambos componentes numéricos del rendimiento, se observó una asociación negativa entre las dos variables (Fig. 4.8), donde a mayor número de granos, existió una reducción en el peso seco de los mismos. Dicha asociación sugiere, leída en forma lineal, una falta de fuente para llenar los granos previamente formados. Esta especulación se retroalimenta cuando se observan ambos años experimentales ya que el efecto de reducción del peso al aumentar el número de granos, fue mayor en el año experimental con mayor número de granos en coincidencia con los observado por Fischer *et al.* (1977), Es más, cuando se relacionó el peso de los granos con la radiación interceptada acumulada disponible por grano, durante el periodo de llenado, pareciera que ésta teoría se confirma, ya que el peso de los granos fue mayor a medida que aumenta la relación fuente-destinos (RI POST./NG), sobre todo ésta respuesta fue mayor en el año de mayor NG (año 2007, Fig. 4.14), tal como los resultados de Saldaña *et al.*, 2009. Sin embargo, cuando fue aplicado N foliar en antesis de modo de incrementar la oferta de N en la planta, y por tanto promover una mayor fuente fotosintética para el cultivo, el peso de los granos (tampoco el NG fue afectado como era de esperar) no fue modificado. Esto sugiere que la relación negativa entre el PMG y NG no es de tipo competitiva, sino que estaría dado por una mayor contribución de granos de menor peso potencial que son lo que aparecen con mayor frecuencia cuando se incrementa el NG debido al incremento de granos distales dentro de las espiguillas y el mayor aporte de granos provenientes de macollos (Miralles *et al.*, 1998; Miralles & Slafer, 2007; Acreche & Slafer 2006).

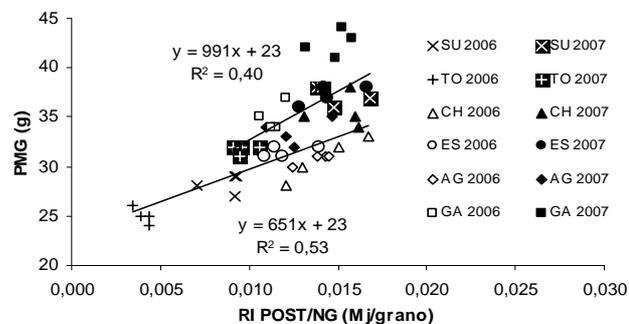


Figura 4.14: Relación entre el peso de mil granos (PMG –g), en función de la relación fuente-destino (Radiación Interceptada acumulada post antesis disponible por grano durante el periodo de llenado de los granos –RI POST/NG Mj/grano).

También es posible considerar que el N disponible con los tratamientos de fertilización inicial fue suficiente para completar el llenado de los granos razón por la cual el aporte externo del N foliar no produjo ningún impacto en los componentes numéricos del rendimiento (Bly & Woodard, 2003).

El análisis de los componentes fisiológicos de la mayor biomasa aérea en respuesta al manejo nutricional (i.e. RI acum y la EUR), mostró que la EUR fue el componente más importante. En éste trabajo la fertilización inicial incrementó la EUR un 9% como promedio, Abbate *et al.* (1995), en un estudio con una variedad de trigo y distintos niveles de fertilización nitrogenada lograron incrementar la EUR hasta un 7%. Sinclair & Muchow, (1999), postulan que la disponibilidad de nitrógeno es el factor más importante que modifica la EUR, comparado con otros factores como la temperatura, la radiación incidente y el déficit de presión de vapor.

Como se pudo ver en este Capítulo, el peso de los grano no tuvo correlación significativa con el rendimiento. Sin embargo, el PMG fue afectado significativamente por los cuatros efectos principales (VAR, N, LOC y AÑO  $p < 0,001$ ) aunque en diferente proporción ya que como fue indicado anteriormente los cultivares y los años de evaluación fueron las fuentes de variación que más aportaron a la variabilidad del PMG, no así el aporte de nitrógeno. Sin embargo, el aspecto, el nutricional, sí podría tener relevancia en la calidad de los granos, por lo que estas modificaciones en peso de los granos serán estudiadas con más detalle en el siguiente Capítulo.

## CAPITULO 5

### DINAMICA DE LLENADO DE GRANOS.

#### 5.1 INTRODUCCION

Tal como fue indicado en los capítulos anteriores el número de granos se define en una extensa ventana de tiempo dentro del ciclo del cultivo, mientras que el peso de los granos se define en una etapa acotada del ciclo, que va desde antesis a madurez fisiológica del cultivo (aproximadamente 37% de humedad). Sin embargo, algunas evidencias de la literatura muestran que las condiciones ambientales que ocurren durante el período inmediatamente preantesis pueden influir en el peso potencial de los granos (Calderini *et al.*, 1999).

La tasa y duración del llenado de los granos son los componentes que definen el peso final de los granos. Por ello, los factores ambientales que modifiquen estos atributos afectarán en consecuencia el peso de los granos. Aumentos en la temperatura durante el período de llenado generan una correlación negativa entre la tasa y la duración del llenado de los granos expresada en días calendarios, marcando un fenómeno de compensación incompleta ya que la reducción en el período de llenado debido a incrementos en temperatura no son compensados por los aumentos en la tasa de llenado de los granos (Slafer *et al.*, 2006 y Brdar *et al.*, 2008). Otras evidencias de la literatura mencionan en trigo la existencia de variabilidad genética para la tasa de llenado, la cual fue dependiente de la variedad utilizada (Wardlaw & Moncur, 1995).

Si bien en la literatura se han publicado numerosos estudios vinculados con efectos ambientales sobre el peso de los granos (Wheeler *et al.*, 1996; Panozzo y Eagle, 1999; Calderini *et al.*, 2001; Yang *et al.*, 2002), pocos han examinado el efecto de la fertilización sobre los patrones de llenado de los granos. En este sentido, Altenbach *et al.* (2003) encontraron un efecto menor en la duración del llenado de los granos cuando se aplicaron fertilizaciones post-antesis. Es esperable que una mayor oferta de nitrógeno modifique en mayor medida la tasa de llenado de granos, en caso que se evidencie una falta de fuente, ya que la duración puede considerarse un atributo netamente de desarrollo, mientras que la tasa de llenado responde a variaciones en la oferta de asimilados.

Los cambios en la temperatura durante el llenado de los granos, podrían afectar además del peso final de los granos la composición química de los mismos. Altas temperaturas durante el llenado pueden elevar significativamente el contenido de proteína, afectando las propiedades reológicas de las harinas resultantes producto de un efecto de dilución asociado a una reducción en el peso final de los granos (Corbellini *et al.*, 1997). Sin embargo, existen evidencias que muestran que los genotipos de trigo difieren significativamente en la respuesta al estrés térmico para calidad (Stone & Nicolas, 1994). La literatura sugiere que la temperatura óptima en el período de antesis - madurez fisiológica para alcanzar el máximo peso de los granos se ubica alrededor de los 16°C (Kolderup, 1975). A partir de esta temperatura y hasta los 30 °C, por cada grado centígrado de aumento se produce una disminución del rendimiento de grano de aproximadamente 3 a 4% (Wardlaw & Wrigley, 1994). Si bien, este fenómeno conduce principalmente a una reducción en la acumulación de almidón, la acumulación de proteína también declina, asociada a aumentos en la temperatura aunque en menor proporción y en consecuencia, se produce un aumento en el porcentaje de proteína en los granos (Randall & Moss, 1990).

En este capítulo se abordará el segundo objetivo específico descrito en la Introducción General que está vinculado con el estudio del impacto de distinta disponibilidad de nitrógeno sobre los componentes fisiológicos del llenado de los granos (i.e tasa y duración del llenado de los granos) en distintas variedades de trigo pan y su posible efecto sobre los parámetros de calidad.

## 5.2 MATERIALES Y METODOS

Los sitios experimentales, los tratamientos, el diseño y los análisis, han sido descritos en la sección de materiales y métodos generales (Capítulo 2).

### 5.2.1 VARIABLE MEDIDAS

5.2.1.1 Llenado de los granos: Una vez alcanzado el estado de antésis se marcaron 50 espigas correspondientes al estrato superior (i.e. vástago principal y primer macollo) en cada parcela y con similar estado de desarrollo (estambres visibles en el tercio medio). Diez días después de marcadas las espigas y hasta 13 % de humedad de los granos, se muestrearon tres espigas por parcela con una frecuencia de dos veces por semana. En el laboratorio se extrajeron 4 granos de cada espiga (2 granos de las flores basales de 2 espiguillas del tercio medio de cada espiga), haciendo un total de 12 granos por muestra. Los granos extraídos se llevaron a estufa a 80 °C durante 48 horas para registrar el peso seco. Cada dato se dividió por el número de granos de la muestra para obtener el peso seco (PSG -mg) individual de los granos. Las pesadas se realizaron con una balanza electrónica de precisión 0,0001 gramos (Sartorius). Con los datos de peso seco de los granos se realizaron las siguientes determinaciones:

5.2.1.2 Dinámica del llenado de granos. Desde diez días después de antesis hasta aproximadamente 13% de humedad de los granos, los datos de peso seco de los granos (PSG -mg), se los relacionó con el tiempo en unidades térmicas (TT -°Cd), tomando como temperatura base 0°C, para así determinar la tasa (TS -mg/°Cd), duración del llenado de los granos (D -°Cd), duración efectiva (D ef -°Cd) y el peso máximo de los mismos (PSF -mg). Para estimar estos parámetros se utilizaron modelos simples bi lineales (Miralles *et al.*, 1996), de la rutina TBL curve (Jandel TBLCURVE, 1992), el cual describe el crecimiento de los granos (PSG -mg) en función del tiempo térmico (TT -°Cd), donde las condiciones del modelo fueron

$$\text{Ecuación 1) } y = a + bx \quad \text{para } x \leq c.$$

$$\text{Ecuación 2) } y = bc \quad \text{para } x > c.$$

Donde  $y$  es peso seco de los granos (PSG -mg),  $a$  es la ordenada al origen  $b$  es la pendiente de la curva, la cual representa la tasa de crecimiento del grano (TS -mg/°Cd),  $c$  es el punto de quiebre entre la pendiente y el plateau de la curva, este punto representa el momento donde se llega a madurez de cosecha (D -°Cd),  $x$  es el tiempo transcurrido (°Cd), y el valor del plateau se toma como el peso seco final (PSF-mg). La duración efectiva (D ef -°Cd) fue calculada como la diferencia entre el valor  $c$ , menos el valor de  $x$  cuando  $y$  vale cero

## 5.3 RESULTADOS

### 5.3.1 PARAMETROS QUE DEFINEN EL LLENADO DE GRANOS

El análisis de varianza de los parámetros que definen la dinámica de llenado de grano calculados a través del uso de modelos bi-lineales, en las seis variedades evaluadas, para los cuatro tratamientos de fertilización, en ambos años en la localidad de Marcos Juárez, mostró que para el peso seco final de los granos (PSF -mg), existieron diferencias significativas entre VAR, N, AÑOS ( $p < 0,01$ ), así como una interacción VAR\*AÑO significativa ( $p < 0,01$ ). Las variedades fue la fuente de variación que más explicó las diferencias encontradas en el peso de los granos (Tabla 5.1).

Si bien el ranking de variedades en cuanto a los valores de peso seco finales no se modificó, ya que todas las variedades mostraron mayores valores de PSF en el año 2007 respecto del año 2006, la proporción en el cambio dependió del cultivar lo que determinó una interacción VAR\*AÑO significativa. Por ejemplo la variedad TO fue la que más aumentó el PSF (20%), de 29,5 a 37,3 mg, mientras que CH sólo incrementó su peso un 6 % (de 36,8 a 39,3 mg) el año 2007 respecto del 2006 (Tabla A.9 –ver Anexo-). Tomando el promedio de los dos años y los cuatro tratamientos de fertilización el ordenamiento de las variedades por su PSF fue: GA (44,2 mg), ES (40,0 mg), AG (38,5 mg), CH (38,0 mg), SU (37,3 mg) y TO (33,3 mg) (Tabla A.9 –ver Anexo-).

Entre tratamientos de fertilización se observó un 3 % de diferencia entre el tratamiento de menor (N1-0 = 38 mg) y el de mayor (N0-1= 39,2 mg) peso de granos. La fertilización foliar produjo incrementos en PSF de mayor magnitud cuando los cultivos no tuvieron fertilización basal al inicio del cultivo (N0), que cuando si lo tuvieron (N1), aunque las diferencias fueron sutiles dado que los PSF se incrementaron 2 y 1% cuando la fertilización foliar fue aplicada sobre N0 y N1 respectivamente (Tabla A.9 – ver Anexo-).

La tasa de llenado de los granos (TS -mg/°Cd) no mostró diferencias significativas entre tratamientos de nitrógeno, aunque si se registró entre VAR y también interacción VAR\*AÑO significativa ( $p < 0,01$ ), con cambio de ranking de variedades de un año a otro. Para este parámetro, el año y luego las variedades fueron los factores que más explicaron las variaciones (Tabla 5.1).

Tabla 5.1: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) de cada fuentes de variación (FV), para el peso seco final de (PSF -mg), tasa de llenado (TS -mg/°Cd), duración de llenado (D -°Cd) y duración efectiva del llenado de los granos (D ef -°Cd). ANVA realizado discriminando por variedades.

FV	PSF $R^2=0,94$ CV=3			TS $R^2=3,82$ CV=8			D $R^2=0,86$ CV=4			D ef $R^2=0,55$ CV=9		
	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig
VAR	1524	57,2	***	0,0040	23,0	***	119844	47,8	**	39611	13,5	**
AÑO	902	33,8	***	0,0096	55,0	***	83141	33,2	***	93152	31,7	***
N	28	1,1	***	0,0002	1,3	N/S	2998	1,2	N/S	8525	2,9	N/S
VAR*AÑO	158	5,9	***	0,0020	11,6	***	14570	5,8	***	39838	13,6	**
VAR*N	20	0,7	N/S	0,0003	1,7	N/S	6623	2,6	N/S	23124	7,9	N/S
AÑO*N	3	0,1	N/S	0,0003	1,4	*	822	0,3	N/S	16191	5,5	*
VAR*AÑO*N	30	1,1	N/S	0,0010	6,0	*	22711	9,1	**	73330	25,0	**

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia al 0,1, 0,05 y 0,01, respectivamente. NS indica que no se registraron diferencias significativas para los

efectos principales VAR, AÑO, LOC y N y sus interacciones,  $R^2$ = ajuste del modelo y CV= coeficiente de variación del ANVA.

En el año 2006 la variedad de menor TS fue TO (0,0533 mg/°Cd), la cual fue un 30 % más baja que la del cultivar de mayor tasa i.e. GA (0,0733 mg/ °Cd), mientras que en el año 2007, la variedad CH (0,0763 mg/°Cd) y GA (0,0911 mg/°Cd) con un 14 % de diferencia entre ambas, fueron las de menor y mayor TS respectivamente (Tabla A.9 - ver Anexo-).

La fertilización nitrogenada inicial y foliar no modificaron la TS, aunque se encontró interacción N\*AÑO significativa ( $p < 0,1$ ), es decir que el efecto de la fertilización fue dependiente del año de evaluación. En el año 2007 no hubo efecto de la fertilización sobre la TS, si lo hubo en el año 2006, donde la TS con el tratamiento N0-1 (0,0695 mg/°Cd) resultó un 10 % más alta que con el tratamiento N1-1 (0,0631 mg/°Cd), coincidiendo con lo descrito anteriormente respecto del impacto de la fertilización foliar sobre el PSF (Tabla A.9 –Anexo-).

Para evaluar el efecto año se promediaron los datos de variedades y tratamientos de fertilización, observándose que en el año 2007 (0,0830 mg/°Cd), la TS fue un 20% mayor a la del año 2006 (0,0667 mg/°Cd) (Tabla A.9 –Anexo-).

El análisis conjunto de los datos de los dos años de evaluación mostró para el parámetro duración del llenado de grano (D - °Cd-), diferencias significativas entre variedades y años de evaluación, así como una interacción VAR\*AÑO significativa ( $p < 0,01$ ). A diferencia de lo observado entre variedades, los tratamientos de fertilización no tuvieron efecto significativo sobre éste parámetro, no encontrándose interacción VAR\*N, así como tampoco N\*AÑO significativa. Al igual que lo descrito para el peso de los granos, las variedades y en segundo lugar los años, fueron los factores que mejor explicaron las variaciones halladas en este parámetro (Tabla 5.1).

La interacción AÑO\*VAR se debió a que las variedades redujeron la D en el año 2007, con distinta magnitud, donde AG fue el cultivar que más modificó su duración (608 a 520 °Cd, para los años 2006 y 2007, respectivamente), en tanto GA fue el cultivar más estable, ya que modificó su D un 4% (642 a 645 °Cd, para los años 2006 y 2007, respectivamente).

La duración efectiva de llenado de granos (D ef - °Cd-), es decir el período en el cual los granos acumulan biomasa en forma lineal (i.e entre la finalización de la fase lag y la MF), mostró diferencias significativas entre variedades, años e interacción VAR\*AÑO significativa ( $p < 0,05$ ), al igual que la tasa de llenado, las variaciones en la D ef, fueron explicadas principalmente por AÑO y VAR en ese orden (Tabla 5.1).

La interacción VAR\*AÑO, fue debida a que solamente en el año 2007 se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $p < 0,01$ ), Las variedades ES (537 °Cd) y AG (453 °Cd) fueron las de mayor y menor D ef, respectivamente, existiendo un 16% de diferencia entre ambas. En el año 2006 todos los cultivares mostraron una similar D ef de aproximadamente 550 °Cd (Tabla A.9 –ver Anexo-).

Se observó además para este atributo una interacción N\*AÑO significativa ( $p < 0,1$ ) debido a que sólo en el año 2006 se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización ( $p < 0,1$ ), donde el tratamiento que se destacó fue N1-1 con

una D ef de 575 °Cd, superando a N0-0 y N0-1 (532 °Cd) en un 8%. Cuando se consideró el efecto año, en promedio la duración del año 2006 (547 °Cd), fue 51 °Cd más larga que la del año 2007 (496 °Cd) (Tabla A.9 – ver Anexo). Si bien las diferencias entre tratamientos de fertilización y entre años fueron significativas en términos estadísticos, cuando se enmarcan las mismas en el contexto agronómico estas diferencias no son de gran magnitud ya que en términos de días calendario dichas diferencias fueron de 2-4 días.

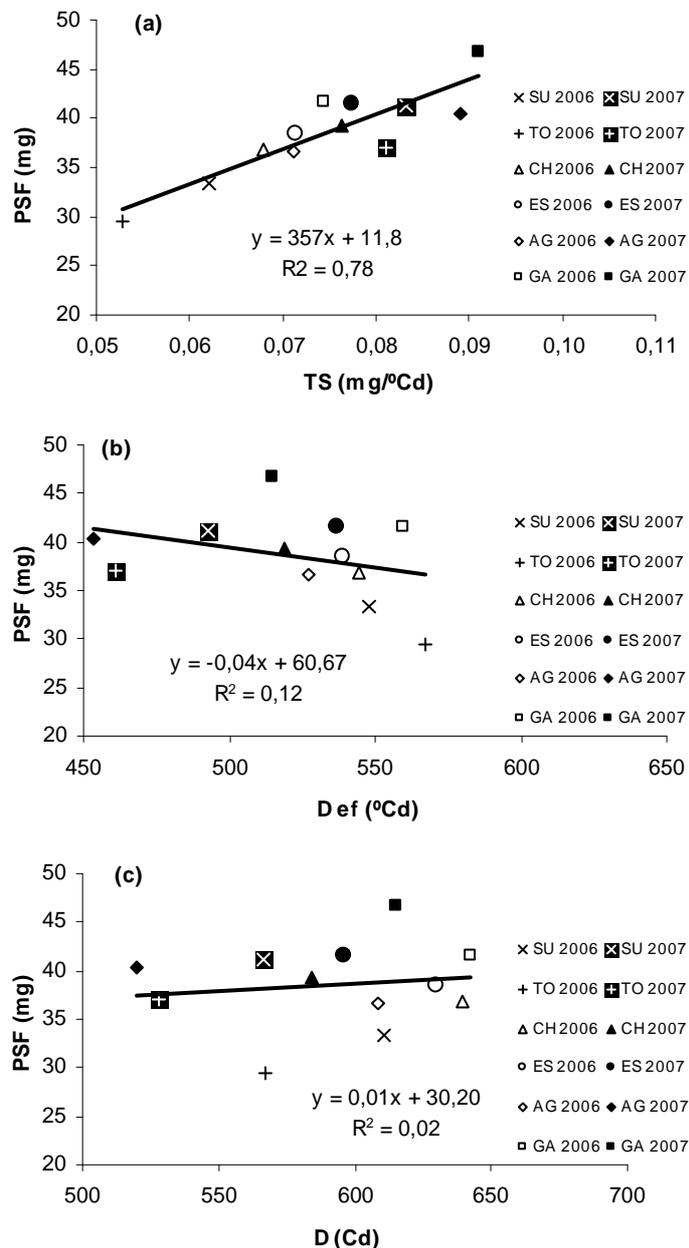


Figura 5.1: Relación entre el peso seco final (PSF -mg) y Tasa de llenado (TS mg/°Cd) (a), duración del llenado (D -°Cd) (b) y duración efectiva (D ef °Cd) (c). Cada punto es el promedio de los cuatro tratamientos de fertilización para cada variedad en los dos años de estudio.

Las variaciones en el peso seco final de los granos fueron explicadas en más del 70% por los cambios en la tasa de llenado de los granos ( $R^2 = 0,78$ ,  $p < 0,01$ ), no encontrándose asociación significativa entre el PSF y D, así como tampoco entre el PSF y D ef del período de llenado de los granos ( $R^2 < 0,15$ ) (Fig. 5.1). No se detectaron efectos importantes de los tratamientos de fertilización, sobre ninguna de estas variables.

Con el objetivo de establecer si se produjeron compensaciones entre los dos atributos que definen el PSF, la TS se correlacionó con la D y la D ef. Si bien no se observó una asociación entre la TS y la D ( $R^2 = 0,09$   $p > 0,1$  Fig. 5.2a), aunque mostró una tendencia negativa, sí se observó una correlación significativa de tipo negativa entre la TS y la D ef ( $R^2 = 0,56$ ,  $p < 0,01$ , Fig. 5.2b).

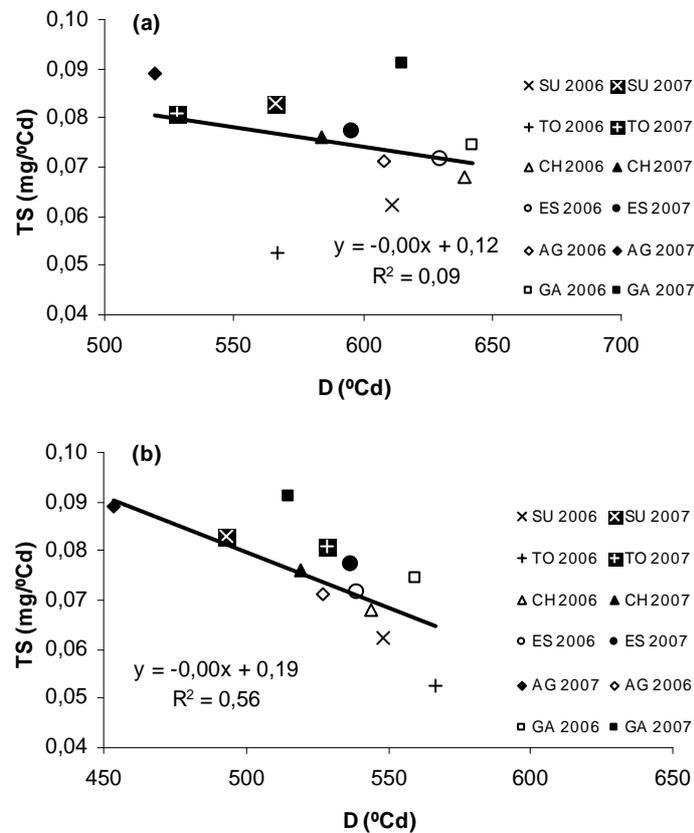


Figura 5.2: Relación entre la tasa de llenado de los granos (TS -mg/°Cd) y (a) la duración total (D -°Cd) y (b) con la duración efectiva del llenado de granos (D ef -°Cd). Cada punto es el promedio de los cuatro tratamientos de fertilización para cada variedad en cada año de estudio.

Cuando se comparó la duración del llenado determinada en forma visual (D VISUAL -°Cd), con la obtenida a través del modelo bi-lineal (D -°Cd) se observó una sobreestimación de la duración cuando ésta fue caracterizada mediante la observación visual, ya que la mayoría de los datos se ubicaron por encima de la relación 1:1 cuando se la correlacionó con la observación modelada (Fig. 5.3). El caso extremo correspondió al cultivar AG cuya duración fue de 158 y 211 °Cd mayor, en los años 2006 y 2007 respectivamente, a través de la observación visual, respecto del modelo de ajuste por peso, el cual determina exactamente el momento en que se alcanza la madurez

fisiológica (Fig. 5.3). En término de días calendarios, asumiendo una temperatura media de 20 °C, la sobreestimación del método visual podría llegar hasta ca. 10 días respecto del método de determinación por peso.

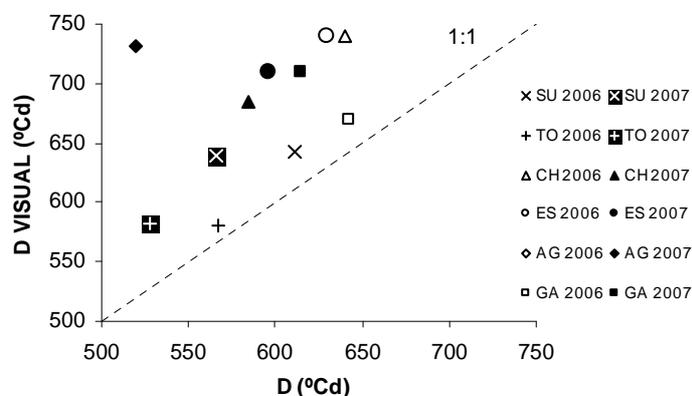


Figura 5.3: Relación entre la duración del llenado de grano medida visualmente (D VISUAL -°Cd) y la duración del llenado hasta madurez fisiológica determinada a través del peso de los granos utilizando un modelo bi-lineal (D °Cd). Cada punto es el promedio de los cuatros tratamientos de fertilización para cada variedad en cada año de estudio para los cultivares.

Analizando los datos agrupando las variedades por grupo de calidad, sólo se encontró diferencia significativa entre GC, para la duración del llenado (D- °Cd), donde el GC2 (612 °Cd) fue el de mayor D, superando al de menor D (GC1 568 °Cd), en sólo 24 °Cd (Tabla A.10 -Anexo). En el resto de los parámetros (PSF, TS y D ef) sólo se encontró interacción GC\*AÑO significativa, es decir que el comportamientos de los grupos de calidad dependió del año de evaluación (Tabla A.10 -Anexo), donde el GC1 mostró los menores PSF en los años 2006 y 2007 (31,4 y 39,2 mg, respectivamente), la menor TS en el año 2006 (0,0579 mg/°Cd) y la menor D ef en el año 2007 (477 °Cd), en tanto el GC3 mostró los mayores PSF en los años 2006 y 2007 (39,1 y 41,6 mg, respectivamente) y las mayores TS en ambos años (0,0717 y 0,0900 mg/°Cd, para el 2006 y 2007 respectivamente, mientras que el GC2 logró la menor TS en el año 2007 (0,0763 mg/°Cd) y la mayor D ef en el año 2007 (528 °Cd) (Tabla A.9 –ver Anexo-).

#### 5.4 DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este capítulo en particular mostraron diferencias significativas en el peso seco final de los granos existiendo diferencias significativas entre VAR, N y AÑOS, así como una interacción VAR\*AÑO significativa. La diferencia entre años puede ser explicada a través de la temperatura media durante el llenado de granos, la cual fue ligeramente mayor en el año 2006 (20,5 °C) respecto del 2007 (19,8 °C), obteniéndose granos más pesados en el 2006 respecto del 2007. Slafer *et al.*, 2006, encontraron que aumentos en la temperatura media durante el período de llenado del grano determina un incremento en la tasa de acumulación de materia seca en el grano, acompañada de una reducción más que proporcional en la duración del llenado disminuyendo en consecuencia el peso final de los granos. Por otro lado, Wardlaw, 2002 encontró que el PSF fue reducido por temperaturas superiores a 18/13 °C y por periodos cortos de altas temperaturas.

Respecto del efecto del nitrógeno sobre el peso de los granos, es dificultoso realizar generalizaciones sobre el efecto de la fertilización y el impacto sobre la tasa y duración de llenado de grano, ya que la respuesta varía con la cantidad y momento de aplicación del fertilizante, con las variedades, con el tipo de suelo, etc. (Altenbach *et al.*, 2003; Dupont & Altenbach, 2003). Los resultados de esta tesis, no mostraron efectos significativos de la fertilización inicial sobre el PSF, sin embargo, la fertilización foliar incrementó mínimamente el peso de los granos en una magnitud de 1 y 2% respecto de los tratamientos testigo.

Considerando los componentes fisiológicos que determinan el peso final del grano, i.e. la tasa de acumulación de materia seca y la duración del período de llenado, dentro del mismo cultivar las variaciones en el peso de los granos se explican generalmente por cambios en la tasa más que en la duración del llenado (Miralles & Slafer, 1999). Brdar *et al.*, 2008, encontraron que no sólo la tasa de llenado explicó el peso final de los granos, sino que tanto la TS como la D fueron las variables que mejor explicaron el peso final de los granos. Los resultados de este capítulo mostraron que el peso final de los granos fue explicado por la TS y por la D ef, no así por la duración total del llenado.

Según Panozzo & Eagles, (1999) y Brown *et al.* (2005), la transferencia de nitrógeno al grano es menos afectada por altas temperaturas durante el llenado, que la acumulación de almidón, por lo que existe una correlación negativa entre el PSF y contenido de proteína. Los resultados de este capítulo particular de la tesis están parcialmente en línea con lo observado por estos autores ya que si bien en Marcos Juárez la proteína en el grano fue mayor en el año 2006 (año de mayor temperatura media 20,5 °C) donde el PSF de los granos fueron menores, en Pergamino sucedió lo contrario, los granos fueron más pesados y además tuvieron mayor porcentaje de proteína en el año 2007 (año de menor temperatura 18,2 °C). Esta diferencia entre las localidades fue posiblemente debida a que en Pergamino en el año 2007 la disponibilidad de nitrógeno en el suelo a la siembra fue mayor, por lo que es posible especular que la disponibilidad de N tuvo una mayor influencia en el porcentaje de proteína que el efecto de la temperatura.

En este Capítulo se caracterizaron los efectos ambientales y en especial el manejo nutricional sobre el peso de los granos y sus componentes fisiológicos que lo definen. Los efectos del ambiente y genotípico sobre la calidad comercial e industrial se tratarán en detalle en el capítulo siguiente.

## CAPITULO 6

### CALIDAD COMERCIAL Y PANADERA

#### 6.1 INTRODUCCION

La calidad de los granos es un atributo muy importante, ya que el uso final que tendrá un lote de granos se encuentra fuertemente asociado a su composición final, por lo tanto la definición de calidad depende del uso final del producto (Savin & Sorlino, 2003).

Las condiciones ambientales como el suelo, el clima y el manejo del cultivo tienen influencia sobre la calidad final de trigo, de allí que la calidad de los granos puede variar sustancialmente año tras año. Por otro lado, el fondo génico de cada variedad establece diferencias funcionales entre ellas que se mantienen en un determinado rango de ambientes (Cuniberti, 2003). Existe una amplia cantidad de bibliografía donde se ha estudiado la proporción con que los factores ambientales, genéticos y/o su interacción explican las variaciones de los distintos parámetros que definen la calidad del cultivo de trigo (Peterson *et al.*, 1992; Grausgrubert *et al.*, 2000; Mortarini *et al.*, 2004; Abbate *et al.*, 2008).

La región triguera Argentina está compuesta por una gran diversidad de ambientes, incluso dentro de una misma subregión triguera, por lo que el Comité de Cereales de Invierno (CCI) propuso segregar la producción de trigo por clases y grupo de calidad, a partir del conocimiento de la variedad utilizada (grupo de calidad al que pertenecen) y del contenido de proteínas en los granos (Cuniberti, 2003). Esta aproximación sería sencilla de ser aplicada como práctica de segregación ya que con sólo declarar la variedad utilizada y determinar el contenido de proteína de los granos a la entrega del cereal se podría establecer la calidad de la mercadería entregada. Sin embargo, otras evidencias han demostrado que el ambiente y en particular la interacción G\*A tienen una fuerte influencia sobre la calidad de los granos ya que dentro de cada grupo de calidad ha sido demostrado que existen genotipos con respuesta diferencial a distintos ambientes (Mortarini *et al.*, 2004).

En este capítulo se analizarán los parámetros de calidad comercial e industrial y el índice de calidad (Ical), de manera de establecer cómo estos parámetros son afectados por el genotipo (G) por el ambiente (A), en especial la disponibilidad de nitrógeno, y por la interacción G\*A, permitiendo poner a prueba las hipótesis planteadas en la Introducción General

#### 6.2 MATERIALES Y METODOS

La descripción de los sitios experimentales, los tratamientos, el diseño y la descripción de los análisis de los resultados, han sido descriptas en la sección de materiales y métodos generales (ver Capítulo 2).

##### 6.2.1 VARIABLES MEDIDAS

6.2.1.1 Calidad comercial e industrial: Para las determinaciones de calidad comercial e industrial se tomó una muestra de 1200 gramos de grano, la cual fue molida individualmente en un molino experimental (Büller). Sobre la harina resultante se hicieron las determinaciones de los principales parámetros de calidad siguiendo protocolos con estándares de la AACC (American Association of cereal Chemists) y del

IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Las propiedades reológicas se determinaron a través del Alveógrafo de Chopin de Boulogne, Francia, siguiendo la norma IRAM N° 15.857. El alveógrafo simula gráficamente el comportamiento de la masa de harina durante la fermentación insuflando aire sobre una lámina de masa que se hincha hasta su rotura. Se obtuvo así una curva denominada alveograma donde la superficie debajo de la misma indica la fuerza panadera ( $W - \times 10^{-4}$  J), la ordenada máxima mide la tenacidad (P -mm) y la abscisa su extensibilidad (L -mm). Las determinaciones de proteína en grano (PROT -%) y peso hectolítrico (PH -Kg/l) se realizaron por refractancia en el infrarrojo cercano, NIRT (*Near Infra Red Transmisión*), utilizando un equipo Infratec 1241 según norma AACC N° 39-21.

El índice de calidad (Ical) para cada variedad y para cada grupo de calidad, fue calculado teniendo en cuenta cinco (PH, PROT, GLH, W y Vol.) de los siete parámetros tenidos en cuenta por el Comité de Cereales de Invierno (CCI) que además incluye la relación rendimiento de harinas/cenizas y el índice de estabilidad de las masas.

### 6.3 RESULTADOS

#### 6.3.1 PARAMETROS QUE DEFINEN LA CALIDAD COMERCIAL E INDUSTRIAL

El análisis del peso hectolítrico de los granos (PH -kg/l), mostró diferencias significativas para todos los efectos principales, VAR, N, LOC y AÑO ( $p < 0,01$ ), así como interacciones VAR\*AÑO, VAR\*LOC, AÑO\*N, AÑO\*LOC significativas (Tabla 6.1). La variedad de mayor PH en ambos años fue SU (80,6 y 83,1 Kg/l, para el año 2006 y 2007 respectivamente), mientras que TO (76,7 y 79,8 Kg/l, para el año 2006 y 2007 respectivamente) fue la variedad de menor PH. La interacción VAR\*LOC se debió a que TO fue la única variedad que mostró menor PH en Pergamino (77,4 kg/l), respecto a Marcos Juárez (78,7 kg/l), mientras que el resto de las variedades, en promedio mostraron un PH de 0,8 puntos mayor en Pergamino que en Marcos Juárez. Pese haberse encontrado diferencias significativas en todos los efectos principales, la principal fuente de variación fue el año de evaluación, sobre todo en la localidad de Marcos Juárez, donde en el año 2006 (76,6 kg/l) el PH fue 8% más bajo respecto del año 2007 (83,5 kg/l), mientras que en Pergamino el PH se mantuvo alrededor de 79 kg/l. El resto de las fuentes de variación (VAR, N, LOC y GC) y las interacciones mencionadas anteriormente modificaron el PH en menos del 1%, tampoco la fertilización foliar mostró un efecto importante sobre el PH (Tabla A.11 -ver Anexo-).

Cuando se consideró el PMG tomando el promedio de las 6 variedades los 4 tratamientos de fertilización, ambos años y las dos localidades el rango de variación de los datos de PMG fue mucho mayor (de 22,5 a 43,7 g), que el rango explorado por los PH (de 74,5 a 85,6 kg/l, Tabla A.11 -ver Anexo-). A su vez, con la excepción de la variedad CH ( $R^2 = 0,41$ ), ambas variables mostraron asociación entre ellas cuando se las correlacionó por variedad ( $R^2 > 0,70$ ,  $p < 0,01$ ), de modo que a mayor PMG se obtuvo un mayor PH, siendo la variedad ES la de mayor respuesta ya que incrementó 2,5 puntos el PH por cada gramo de incremento en el PMG, mientras que el cultivar GA fue la de menor respuesta ya que incrementó ca. 0,7 puntos el PH por cada gramo de incremento en el PMG.

En el análisis conjunto de las variedades para la relación entre PH y PMG se observó que para un mismo valor y/o rango de PMG se obtuvo una gran variabilidad en el PH (Fig. 6.1).

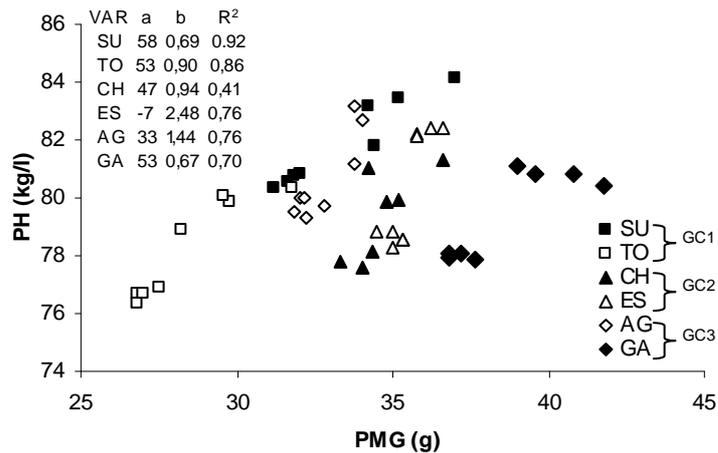


Figura 6.1: Peso hectolitrico (PH -kg/l) en función del peso de mil granos (PMG -g). Cada punto es el promedio de los cuatros tratamientos de fertilización en cada año de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. En el inset del grafico se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y R<sup>2</sup> para las regresiones de cada variedad.

La suma de cuadrados de los análisis de varianza, mostró que para el set de datos experimentales generados en ésta tesis, el efecto principal que produjo mayores modificaciones en el peso hectolitrico fue el año experimental (Tabla 6.1), mientras que para el peso de los granos el mayor efecto modificados correspondió a la variedad (Tabla A.11 –ver Anexo-).

Tabla 6.1: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) del peso hectolitrico (PH -kg/l), del porcentaje de proteína (PROT -%) y porcentaje de gluten húmedo (GLH -%). ANVA realizados discriminando por variedad.

FV	PH R <sup>2</sup> =0,91 CV=1,4			PROT R <sup>2</sup> =0,92 CV=3,6			GLH R <sup>2</sup> =0,92 CV=5,6		
	SC	%	Nsig	SC	%	Nsig	SC	%	Nsig
VAR	368	16,8	***	62,8	17,3	**	819	17,8	**
AÑO	500	22,8	***	0,0	0,0	N/S	25	0,6	***
LOC	37	1,7	*	33,9	9,4	***	529	11,5	***
N	18	0,8	***	40,0	11,1	***	426	9,2	***
VAR*AÑO	20	0,9	***	6,7	1,8	***	100	2,2	***
VAR*LOC	50	2,3	***	3,6	1,0	***	76	1,7	***
VAR*N	26	1,2	N/S	5,9	1,6	**	77	1,7	***
AÑO*LOC	1100	50,1	***	186,9	51,6	***	2279	49,4	***
AÑO*N	10	0,5	**	4,1	1,1	***	29	0,6	***
LOC*N	7	0,3	N/S	4,6	1,3	***	59	1,3	***
VAR*AÑO*LOC	12	0,6	*	3,1	0,8	***	56	1,2	***
VAR*AÑO*N	27	1,2	N/S	3,6	1,0	N/S	37	0,8	N/S
VAR*LOC*N	12	0,5	N/S	3,2	0,9	N/S	46	1,0	N/S
AÑO*LOC*N	3	0,2	N/S	0,4	0,1	N/S	7	0,2	N/S
VAR*AÑO*LOC*N	6	0,3	N/S	3,3	0,9	N/S	47	1,0	N/S

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia (Sig) al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales VAR, AÑO, LOC y N y sus interacciones, R<sup>2</sup>= ajuste del modelo y CV= coeficiente de variación del ANVA.

El porcentaje de proteína de los granos (PROT -%) mostró diferencias significativas tanto entre cultivares, como entre tratamientos de fertilización y entre localidades ( $p < 0,01$ ), así como en todas las interacciones dobles siendo la interacción LOC\*AÑO la principal fuente de variación de este parámetro (Tabla 6.1). En cuanto al efecto localidad, en general los cultivares mostraron mayores valores de PROT en la localidad de Pergamino que en Marcos Juárez, mientras que para el análisis de la variedades, el cultivar de menor porcentaje de proteína fue TO perteneciente al GC1 (11,3 y 11,7 % en Marcos Juárez y Pergamino, respectivamente), mientras que la de mayor porcentaje fue una variedad del GC2, CH (12,1 y 13,3% para Marcos Juárez y Pergamino, respectivamente). Se registró una interacción VAR\*LOC significativa ( $P < 0,01$ ), ya que los cultivares modificaron su PROT de una localidad a otra con distinta magnitud (Tabla A.11 – ver Anexo).

El efecto del año sobre las variedades también fue diferente según la localidad, ya que en Pergamino los cultivares aumentaron la PROT en aproximadamente un 15% en el año 2007 (de 11,4 a 13,4%), con respecto al año 2006, no habiendo interacción VAR\*AÑO significativa, mientras que por el contrario en Marcos Juárez los cultivares en el año 2007 disminuyeron este parámetro en aproximadamente un 12%, además en esta localidad, se detectó interacción VAR\*AÑO significativa, ya que las variedades modificaron la PROT de manera distinta de un año a otro, donde los cultivares que más redujeron la proteína fueron AG y ES (de 12,7 a 10,8% y de 12,2 a 10,4 para los años 2006 y 2007 respectivamente) siendo esta reducción del 15%, mientras que el cultivar que menos bajó el porcentaje de proteína fue SU (de 12,2 a 10,9% para los años 2006 y 2007 respectivamente), habiendo un 9% de diferencia entre ambos valores (Tabla A.11 - ver Anexo-).

Al igual que lo descripto anteriormente en relación con la variabilidad en el contenido de proteína y la variedad, los efectos de los tratamientos de fertilización sobre la proteína fueron distintos según las localidades producto de la interacción N\*LOC significativa ( $p < 0,01$ ), ya que en ambas localidades el tratamiento N0-0 fue el de menor proteína (10,7 y 11,9% para Marcos Juárez y Pergamino, respectivamente), mientras que el de mayor PROT fue el tratamientos N1-1 (12,1 y 12,5 para Marcos Juárez y Pergamino, respectivamente), es decir que la diferencia entre ambos tratamientos fue de 1,4 puntos en Marcos Juárez y de 0,7 puntos en Pergamino (Tabla A.11 -ver Anexo-).

La interacción N\*AÑO significativa ( $p < 0,05$ ) se manifestó dado a que en ambos años el tratamiento N0-0 fue el de menor proteína (11,3 y 11,1%; para los años 2006 y 2007, respectivamente), mientras que el de mayor PROT fue el tratamiento N1-1 (12,2 y 12,4; para los años 2006 y 2007 respectivamente) (Tabla A.11 -ver Anexo-).

Las variedades respondieron de manera distinta a los tratamientos de fertilización, ya que hubo cultivares como GA que sólo respondieron a la fertilización inicial (10,7, 10,8, 11,5 y 11,8% para N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1, respectivamente), en tanto otros como TO que respondieron tanto a la fertilización foliar y la inicial (10,8, 11,3, 11,7 y 12,2%, para N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1, respectivamente).

La fertilización foliar incrementó el porcentaje de proteína con respecto a la fertilización inicial en la mayoría de los casos (Fig. 6.2). Sin embargo se observó una tendencia a una mayor respuesta de la fertilización foliar cuando los porcentajes de proteína con la fertilización inicial fueron menores.

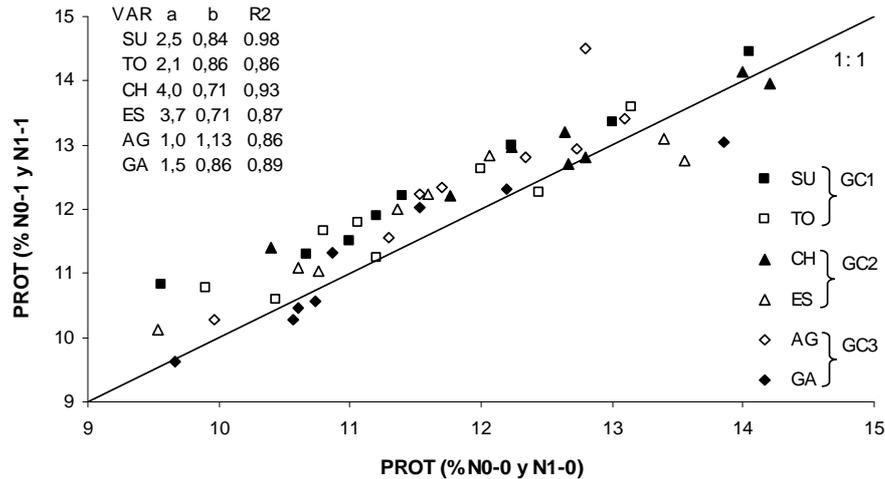


Figura 6.2: Porcentaje de proteína con los tratamientos de fertilización foliar (PROT -% N0-1 y N1-1) en función del porcentaje de proteína con los tratamientos de fertilización inicial (PROT -% N0-0 y N1-0) sin aplicación de fertilizante foliar. Cada punto surge de la combinación de los tratamientos foliar-inicial en cada año y localidad de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. En el inset del grafico se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y los ajustes ( $R^2$ ) de las regresiones de cada variedad.

El contenido de PROT no mostró diferencias significativas entre GC, aunque se detectó interacción GC\*LOC (Tabla A.12 -Anexo), ya que en Marcos Juárez los grupos de calidad de mayor y menor PROT fueron GC2 (11,7%) y GC3 (11,3%), en Pergamino los grupos de calidad de mayor y menor PROT fueron GC2 (12,7%) y GC1 (11,9%) respectivamente.

Si bien no se observaron diferencias significativas en la respuesta al fertilizante, cuando los cultivares se agruparon por su correspondiente grupo de calidad, los cultivares de mayor respuesta a la fertilización foliar fueron los del GC2 con valores de ordenadas al origen (a) cercanos a 4, mientras que los cultivares del GC3 fueron los de menor respuesta con valores de (a) cercanos a 1. Como se indicó anteriormente se encontró que la mayoría de las variedades tuvieron una respuesta menor a medida que los porcentajes de proteína con fertilización inicial se incrementaron, lo cual se demuestra con las pendientes de las regresiones menores a 1, la excepción fue el cultivar AG ( $b > 1$ ) el cual tuvo una mayor respuesta a la fertilización foliar a mayores porcentajes de proteína con la fertilización inicial (Fig. 6.2).

En el análisis de agrupamiento de los cultivares, con respecto al porcentaje de proteína a través de un dendograma, se observó que haciendo un corte a una distancia Euclidea de 0,6, los cultivares del GC1 (SU y TO) y ES (GC2) fueron similares conformando un solo grupo, al cual se le asemeja a una distancia Euclidea mayor el cultivar AG (GC3) y luego GA (GC3), mientras que CH (GC2) fue el cultivar que mostró mayor diferencia con respecto del resto de los materiales (Fig. 6.3a).

Para determinar que cultivares tuvieron mejor comportamiento en los distintos ambiente se realizó un estudio de interacción G\*A, utilizando el GGE Biplot donde con la CP1 y la CP2 se explicó ca. 80% de la variación total del porcentaje de proteína. Sin

embargo, la CP1 por si sola explica casi el 70% de la variabilidad total, lo que significa que la principal fuente de variación está asociada con los cultivares y no tanto con los componentes del ambiente (LOC, AÑO y N). En esta figura se puede ver que el cultivar CH (GC2) y AG (GC3) en ese orden fueron los que lograron los mayores valores de PROT promedio en la mayoría de los ambientes, ya que se ubicaron a la derecha de la Fig. 6.3b, mientras que el cultivar GA (GC3) fue el de menor PROT promedio, ubicándose hacia la izquierda en la misma figura. Por otro lado, los dos cultivares del GC1 (SU y TO) y ES (GC2) mantuvieron los valores de PROT cercanos al promedio en la mayoría de los ambientes, no aportando demasiado a la interacción G\*A. Es decir que los cultivares pertenecientes al mismo GC se comportaron de manera muy distinta, ejemplo de esto son los cultivares del GC3 donde GA fue consistentemente el de menor PROT en la mayoría de los ambientes, en tanto AG fue uno de los de mayor PROT promedio. Por el contrario los cultivares de GC1 se comportaron de manera similar y ambos mostraron una PROT cercana a la media general en la mayoría de los ambientes.

La Fig. 6.3b muestra que los ambientes explorados en esta tesis se pueden agrupar en dos mega-ambientes (MAp), donde en el primer mega-ambiente (MAp1) conformado por los ambientes M6I y M6T, el cultivar AG logró los mayores porcentajes de proteína, mientras que en el segundo mega-ambiente (MAp2) conformado por el resto de los ambientes el cultivar CH fue el de mejor comportamiento.

En la misma figura se puede observar que los ambientes se orientaron hacia la derecha (cuadrantes superior e inferior), mientras que los cultivares mostraron una mayor distribución, ocupando los cuatro cuadrantes de la figura 6.3b, lo que demuestra que, al menos para este set de datos, el efecto de la interacción G\*A fue menor al efecto G. El ambiente P7I por su mayor longitud del vector fue el que presentó el mayor aporte a la interacción G\*A.

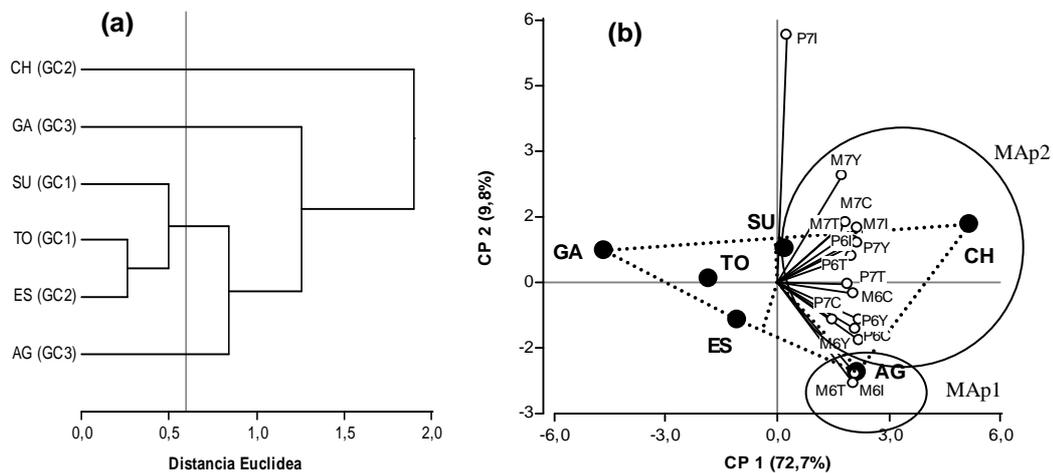


Figura 6.3: (a) dendrograma (b) GGE Biplot para el porcentaje de proteína (PROT -%) símbolos blancos representan los ambientes, los cuales surgen de la combinación de las localidades Marcos Juárez (M) o Pergamino (P), los años 2006 (6) o 2007 (7) y los tratamientos de fertilización: N0-0 (T), N0-1 (Y) N1-0 (I) y N1-1 (C). Símbolos negros representas a las variedades (AG, CH. ES, GA, SU y TO).

Para el caso del porcentaje del gluten húmedo (GLH -%), se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) para todos los efectos principales (i.e. VAR, N, LOC y AÑO), además todas las interacciones dobles fueron significativas, siendo la interacción LOC\*AÑO la que explicó en mayor medida las variaciones en GLH (Tabla 6.1). Al igual que para PROT en general los cultivares tuvieron mayor GLH en la localidad de Pergamino. En ambas localidades un cultivar del GC1 (TO) fue el de menor porcentaje de gluten (23,7 y 24,7% para Marcos Juárez y Pergamino respectivamente), mientras que las de mayores porcentaje de GLH fueron AG del GC3 (27,1%) en Marcos Juárez y CH del GC2 (31,7%) en Pergamino. Los cultivares modificaron el GLH de una localidad a otra de manera distinta, ya que TO del GC1 fue la variedad que menos lo modificó (4%) y CH del GC2 (15%) fue la que más varió este parámetro demostrando así una interacción VAR\*LOC significativa (Tabla A.11 -ver Anexo-).

Similar a lo observado en la proteína, el efecto del año sobre los cultivares fue diferente según la localidad. En Pergamino los cultivares aumentaron el gluten en aproximadamente un 25% en el año 2007 (25,4%), con respecto al año 2006 (32,9%) no habiendo interacción VAR\*AÑO significativa. Por el contrario en Marcos Juárez los cultivares en el año 2007 disminuyeron este parámetro respecto al año 2006, además en esta localidad se encontró interacción VAR\*AÑO significativa ( $p < 0,1$ ), donde el cultivar que más redujo el gluten fue ES del GC2 (de 29,8 a 23,6% para los años 2006 y 2007 respectivamente) siendo esta reducción del 21%, mientras que la variedad que menos redujo el porcentaje de gluten fue SU, una variedad del GC1 (de 26,0 a 23,0% para los años 2006 y 2007 respectivamente), con un 12%. Al igual que en caso de la proteína, el ambiente (LOC y AÑO) afectó a las variedades indistintamente del GC al que pertenezcan, haciendo que los valores promedios de las variedades cambien y de esta manera variedades de distinto GC se pueden comportar de manera similar según el ambiente de evaluación (Tabla A.11 -ver Anexo-).

Los efectos de los tratamientos de fertilización inicial sobre el GLH dependieron de la localidad, encontrándose interacción N\*LOC significativa ( $p < 0,01$ ) debido a diferencias entre el tratamiento de menor (N0-0) y mayor (N1-1) oferta de nitrógeno. Del mismo modo se manifestó una interacción N\*AÑO significativa ( $p < 0,05$ ) dado a que en ambos años la diferencia entre el tratamiento de menor (N0-0) y mayor disponibilidad de N (N1-1) el GLH fue de 3,0 puntos en año 2006 y de 4,2 puntos en el 2007 (Tabla A,11 -ver Anexo-).

También en este caso el cultivar GA respondió sólo a la fertilización inicial incrementando el GLH en 2 puntos con esta fertilización (26,6%) respecto a los tratamientos sin fertilización inicial (24,6%), mientras que CH mostró valores de GLH mas bajos en el tratamiento testigo (N0-0= 27,0%), mientras en el resto de los tratamientos (N0-1, N1-0 y N1-1) mostró un promedio de ca. 30%, demostrando la interacción VAR\*N significativa (Tabla A,11 -ver Anexo-).

Al igual que para la proteína, la fertilización foliar incrementó el porcentaje de gluten húmedo en la mayoría de los casos respecto de la fertilización inicial, por lo que la mayoría de los puntos de la Fig. 6.1 se ubicaron por encima de la recta de regresión 1:1, con una tendencia a una mayor respuesta de la fertilización foliar, cuando los porcentajes de gluten con la fertilización inicial fueron menores, lo que se demuestra con las pendientes de las regresiones menores a 1 y al igual que para la proteína la

excepción fue el cultivar AG ( $b > 1$ ) el cual tuvo una mayor respuesta a la fertilización foliar con mayores porcentajes de proteína con la fertilización inicial (Fig. 6.4).

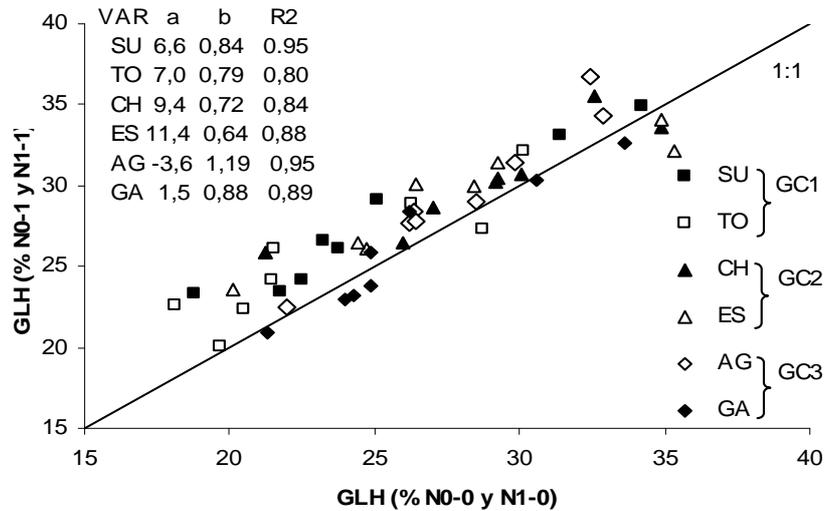


Figura 6.4: Porcentaje de gluten húmedo con los tratamientos de fertilización foliar (GLH -% N0-1 y N1-1) en función del porcentaje de gluten húmedo para los tratamientos de fertilización inicial (GLH -% N0-0 y N1-0). Cada punto surge de la combinación de los tratamientos foliar-inicial de cada año y localidad de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (△) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. En el inset del grafico se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y los ajustes ( $R^2$ ) de las regresiones de cada variedad.

Considerando las variedades por grupo de calidad, no se observaron diferencias significativas, pero sí se detectó interacción GC\*LOC y GC\*N para el parámetro GLH (Tabla A.12 -Anexo). En ambas localidades el GC2 fue el de mayor GLH (26,8 y 30,7% para Marcos Juárez y Pergamino, respectivamente), en tanto el GC1 fue el de menor GLH (24,1 y 26,0 para Marcos Juárez y Pergamino, respectivamente), siendo la diferencia entre ambos grupos mayor en Pergamino (2,3 puntos) que en Marcos Juárez (1,8 puntos) (Tabla A.11 -ver Anexo-). El GC1 fue el grupo que más respondió a los tratamientos de fertilización (N0-0=22,5, N0-1=25,0, N1-0=24,8 y N1-1=27,3%), observándose ca. 5 puntos de diferencia entre N0-0 y N1-1, mientras que el GC3 fue el que menos respondió a la fertilización (N0-0=25,8, N0-1=26,3, N1-0=27,3 y N1-1=28,4), donde la diferencia entre N0-0 y N1-1, fue de 2,6 puntos (Tabla A.11 -Anexo).

El análisis multivariado para el GLH mostró en el dendograma, con un corte a una distancia Euclidea de 0,6, que las variedades conformaron tres grupos definidos. El primer grupo conformado por una variedad del GC1 (SU) y otra del GC3 (GA), a este grupo se le une a una mayor distancia un grupo formado por el cultivar de GC1 (TO), mientras que el tercer grupo estuvo conformado por los dos cultivares del GC2 (ES y CH) y AG del GC3, este último grupo se comportó diferente de los grupos uno y dos por eso se une a éstos a una distancia mayor (Fig. 6.5a).

Con el análisis GGE Biplot, las CP1 y CP2 explicaron c.a 80% de la variación del porcentaje de gluten húmedo total. Nuevamente para este parámetro la principal fuente de variación fueron las diferencias entre las medias de los cultivares, ya que el

CP1 explica casi un 70% de la variación total de los datos. Los dos cultivares del GC2 (CH y ES) y AG (GC3), es decir el tercer grupo visto en el dendograma, lograron los mayores GLH promedio, en la mayoría de los ambientes ya que se ubicaron a la derecha de la Fig. 6.5b, mientras que el cultivar TO (GC1) fue el de menor GLH promedio, el cual se ubicó bien hacia la izquierda de la figura. Similar a lo observado en la proteína, los cultivares pertenecientes al mismo GC se comportaron de manera muy distinta.

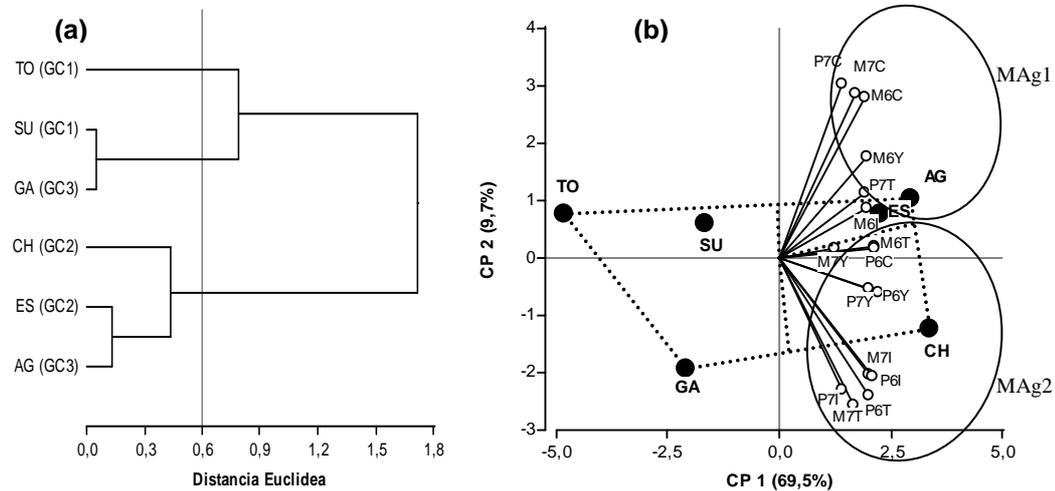


Figura 6.5: (a) Dendograma (b) GGE Biplot para el porcentaje de gluten húmedo (GLH -%) Símbolos blancos representan los ambientes, los cuales surgen de la combinación de las localidades Marcos Juárez (M) o Pergamino (P), los años 2006 (6) o 2007 (7) y los tratamientos de fertilización: N0-0 (T), N0-1 (Y), N1-0 (I) y N1-1 (C). Símbolos negros representas a las variedades (AG, CH, ES, GA, SU y TO).

En cuanto a los ambientes, estos se pueden agrupar en dos mega-ambiente (MAg). En el primer mega-ambiente (MAg1) los cultivares GA y ES lograron los mayores porcentajes de gluten, mientras que en el segundo mega-ambiente (MAG2) el cultivar CH fue el de mejor comportamiento. Los ambientes dentro de cada mega-ambiente no respondieron a un ordenamiento por localidad, ni por año, ni a un tratamiento de fertilización en común sino a una combinación de los tres efectos ambientales evaluados. El hecho de que en la Figura 6.5b todos los ambientes se ubicaron hacia la derecha de la figura y los cultivares al tener una mayor distribución ocupen los cuatro cuadrantes, demuestra que el efecto de la interacción G\*A fue de menor magnitud que el efecto G, lo cual no significa que la interacción G\*A no sea significativa, por el contrario, como se mencionó más arriba, el ranking de variedades claramente cambió de un mega-ambiente a otro (Fig. 6.5b).

Se observó una significativa correlación entre PROT y GLH ( $R^2 > 0,94$ ). Sin embargo, parecería que dicha relación fue cultivar dependiente ya que para un mismo valor de proteína, podría obtenerse distintos valores de GLH. De hecho, existieron claras diferencias entre variedades en cuanto a la ordenada al origen cuando la relación entre GLH y PROT fue ajustada para cada cultivar (Fig. 6.6) donde los casos extremos fueron GA (GC3 (a)= -8%) y TO (GC1 (a)= -22%).

El análisis por grupo de calidad mostró que los rangos explorados tanto en PROT como en GLH fueron similares en todas las variedades que conforman los 3

grupos de calidad, no existiendo una tendencia clara entre ellos. (Fig. 6.6). De hecho, considerando los distintos límites para que el gluten sea considerado de baja, media o alta calidad (Cuniberti, 2002), estos fueron explorados tanto por variedades de CG1 como de GC3, para tomar los extremos. En este set de datos experimentales, la frecuencia de puntos por encima de lo que puede considerarse el límite superior de calidad de gluten fue similar para todos los GC, sugiriendo que el ambiente y las prácticas de manejo (ej. Fertilización) pueden modificar este atributo independientemente del GC.

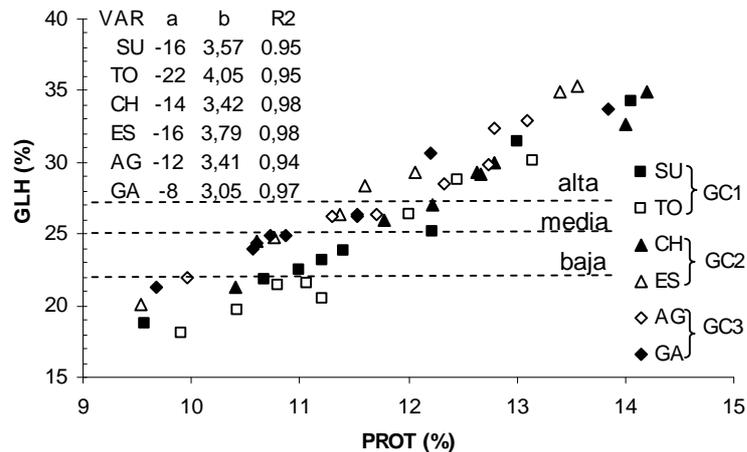


Figura 6.6: Porcentaje de gluten húmedo (GLH -%) en función del porcentaje de proteína (PROT -%). Cada punto es el promedio de los tratamientos de fertilización inicial (N0-0 y N1-0 en cada año y localidad de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (△) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. en el inset se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y los ajustes ( $R^2$ ) de las regresiones de cada variedad. Líneas punteadas horizontales representan los límites inferiores para que el GLH sea considerado de baja, media o alta calidad panadera (Cuniberti 2002).

El análisis del rendimiento de harina de los granos (RH -%), el cual promedió 72%, no mostró diferencias entre variedades ni entre los tratamientos de fertilización, con leves diferencias entre los años de evaluación.

### 6.3.2 PARAMETROS QUE DETERMINAN LA CALIDAD INDUSTRIAL

En esta sección serán analizados los parámetros obtenidos a partir del alveograma, i.e tenacidad (P -mm), extensibilidad (L -mm), fuerza panadera ( $W -x10^{-4}$  J) y la relación de equilibrio de la masa (P/L).

Para el caso de la tenacidad (P) se detectaron diferencias significativas para los factores principales VAR, LOC y AÑO ( $p < 0,01$ ), e interacciones VAR\*LOC, VAR\*AÑO, LOC\*AÑO\*VAR y N\*LOC\*VAR significativas siendo la interacción LOC\*AÑO, la principal fuente de variación (Tabla 6.2). El efecto del año sobre las variedades dependió de la localidad, ya que en Marcos Juárez los cultivares aumentaron el valor P en el año 2007 (94 mm), respecto del año 2006 (68 mm), aunque este comportamiento fue dependiente del cultivar. En Pergamino por el contrario los cultivares en el año 2007 disminuyeron el valor P respecto al año 2006, y al igual que

en Marcos Juárez la magnitud fue dependiente del cultivar. En términos generales los valores de P fueron un 5% más altos en Pergamino que en Marcos Juárez (85 vs. 81mm respectivamente) (Tabla A.13 -ver anexo-).

La respuesta a la fertilización sobre las variedades no fueron claras dependiendo de las localidades de evaluación, mostrando interacción significativa ( $p < 0,05$ ) LOC\*VAR\*N (Tabla 6.2; Fig. 6.7).

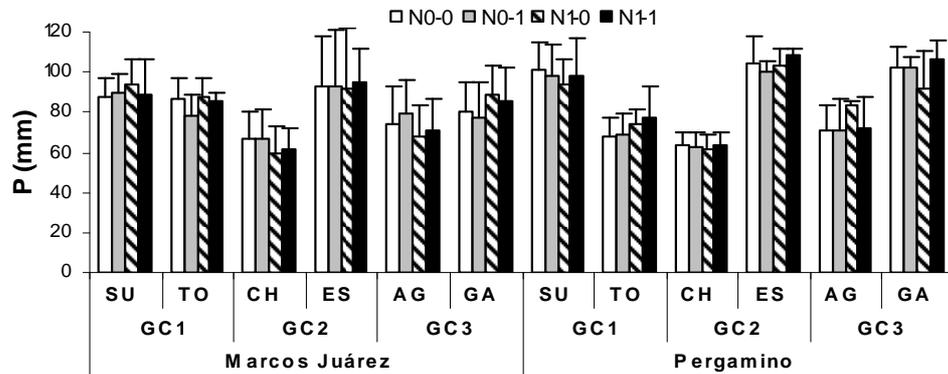


Figura 6.7: Efecto de los tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) sobre la tenacidad (P mm) de cada variedad (SU, TO, CH, ES, AG, y GA), para cada localidad (Marcos Juárez y Pergamino) Según el grupo de calidad (GC). Las líneas verticales indican el desvío estándar de las media.

Los valores de P no mostraron diferencias significativas entre GC, aunque se encontró interacción GC\*LOC (Tabla A.14 -Anexo). Tomando el promedio de los dos años el ranking de valores P para la localidad de Marcos Juárez fue: GC1 (87 mm), GC2 y GC3 (78 mm). En Pergamino sin embargo, el mayor valor de P fue para el GC3 (88 mm), seguido por el GC1 (85mm) y por último el GC2 (84 mm) (ver Tabla A.13 – Anexo-).

El parámetro de fuerza panadera ( $W \times 10^{-4} J$ ) mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para todos los efectos principales (VAR, N, LOC y AÑO) e interacciones significativas VAR\*LOC, VAR\*AÑO, VAR\*N, LOC\*AÑO LOC\*AÑO\*VAR ( $p < 0,01$ ) y N\*AÑO ( $p < 0,1$ ). En éste caso las variedades y en segundo lugar las localidades, fueron las fuentes de variación más importantes para este parámetro (Tabla 6.2).

El valor W de los distintos cultivares a través de los años varió dependiendo de la localidad. En la localidad de Marcos Juárez los cultivares redujeron el W en promedio un 25% (de 239 a  $207 \times 10^{-4} J$ ) en el año 2007, respecto al año 2006, mientras que en Pergamino, por el contrario los cultivares lograron en promedio un 8% más de W en el año 2007 respecto del 2006.

En general en Pergamino se lograron valores de W de casi un 20% mayor a los de Marcos Juárez ( $223$  vs.  $274 \times 10^{-4} J$ , para ambas localidades respectivamente) (Tabla A.13 -ver Anexo-).

Los cultivares respondieron de manera diferente a los tratamientos de fertilización, ya que algunos cultivares respondieron tanto a la fertilización inicial como a la foliar (ej. SU y TO) mientras que otros como AG sólo respondió a los tratamientos

foliares y CH no mostró respuesta significativa a ningún tratamiento de fertilización (Fig. 6.8).

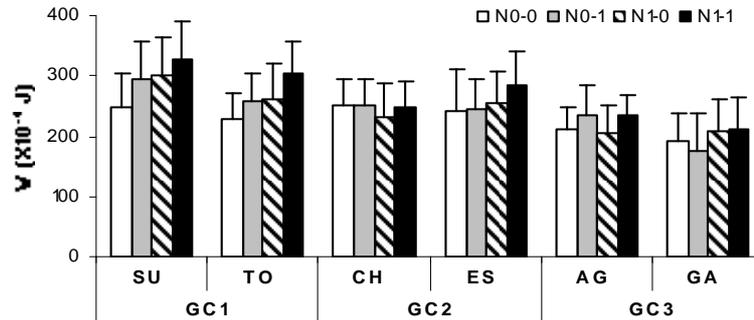


Figura 6.8: Efecto de los tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) sobre la fuerza panadera ( $W \times 10^{-4}$  J) para las distintas variedades (SU, TO, CH, ES, AG, y GA). Los datos son promedio de ambas localidades y dos años de evaluación. Las líneas verticales indican el desvío estándar de las medias.

Al igual que lo observado para la PROT y GLH la fertilización foliar incremento el  $W$  en la mayoría de los casos, por eso, la mayoría de los puntos fertilizados se ubicaron por encima de la recta de regresión 1:1 cuando se contrastaron los valores de  $W$  de los tratamientos fertilizados y no fertilizados (Fig. 6.9). Al igual a lo observado en PROT, los cultivares mostraron una menor respuesta a fertilización foliar a medida que el  $W$  aumentó con la fertilización inicial, lo cual se evidencia con las pendientes de las rectas de regresión menores a 1. La excepción en este caso fue GA ( $b > 1$ ) que por el contrario aumentó la respuesta a la fertilización foliar al aumentar el  $W$  con la fertilización inicial (Fig. 6.9).

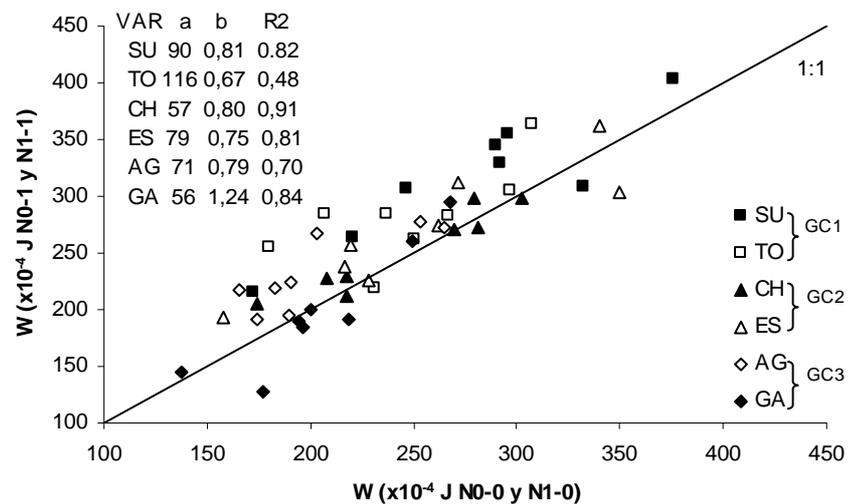


Figura 6.9: Fuerza panadera ( $W$ ) correspondiente a los tratamientos de fertilización foliar ( $W$  -J N0-1 y N1-1) en función de la fuerza panadera registrada en los controles (sin fertilización foliar) para los tratamientos de fertilización inicial ( $W$  -  $x 10^{-4}$  J N0-0 y N1-0). Cada punto surge de la combinación de los tratamientos de fertilización inicial-foliar en cada año y localidad para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del

grupo de calidad 3. En el inset de la figura se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y los ajustes ( $R^2$ ) de las regresiones de cada variedad.

El análisis por GC mostró diferencias significativas entre los mismos, y también se encontró interacción GC\*LOC y GC\*N significativa (Tabla A.14 \_Anexo). En Pergamino se destacó el GC3 por su bajo W promedio ( $232 \times 10^{-4}$  J), mientras que los GC1 y GC2 mostraron mayores valores de W ( $295 \times 10^{-4}$  J) no encontrándose diferencias entre ambos grupos. En Marcos Juárez la tendencia fue consistente en obtener menores valores de W con el GC3 ( $190 \times 10^{-4}$  J) seguidos por el GC2 ( $214 \times 10^{-4}$  J) y finalmente el GC1 ( $264 \times 10^{-4}$  J).

La interacción GC\*N significativa se debió a que como promedio de los dos años y las dos localidades, el GC1 fue el que más respondió tanto a la fertilización inicial como a la foliar, mientras que los GC2 y GC3 mostraron diferencia sólo con el tratamiento N1-1 comparado al resto de los tratamientos (Fig. 6.8).

El análisis del parámetro W utilizando los análisis de dendograma, mostró con un corte a una distancia Euclídea de 0,6 que las variedades se agruparon en tres grupos, el primer grupo conformado por las dos variedades GC2 (ES y CH) y una del GC1 (TO), a este grupo se le unió a una mayor distancia un grupo formado por el otro cultivar de GC1 (SU), mientras que el tercer grupo se conformó por los dos cultivares del GC3 (AG y GA) (Fig. 6.10a).

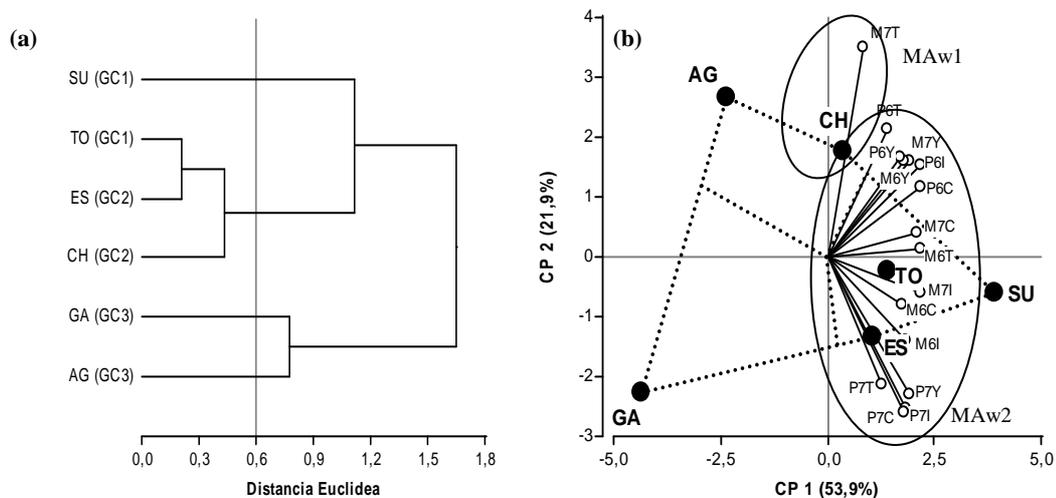


Figura 6.10 (a) dendograma y (b) GGE Biplot para la fuerza panadera ( $W \times 10^{-4}$  J). Símbolos blancos representan los ambientes, los cuales surgen de la combinación de las localidades Marcos Juárez (M) o Pergamino (P), los años 2006 (6) o 2007 (7) y los tratamientos de fertilización: N0-0 (T), N0-1 (Y), N1-0 (I) y N1-1 (C). Símbolos negros representan a las variedades (AG, CH, ES, GA, SU y TO).

El análisis mediante GGE Biplot mostró que los ejes CP1 y CP2 explican en conjunto más del 70% de la variación total del W, también en éste caso al explicar en mayor proporción la CP1 (53%) respecto de la CP2 (20%), insinúa que las diferencias entre las medias de los cultivares fueron las que explicaron en mayor medida la variación total de los datos, que la LOC, AÑO y N, por separados. En esta figura se puede observar que el cultivar SU del GC1 logró los mayores valores de W promedio en la mayoría de los ambientes, ya que se ubicaron a la derecha de la Fig. 6.10b, donde

también están ubicados todos los ambientes, mientras que los cultivares del tercer grupo del dendograma (AG y GA), correspondientes a los GC3, expresaron los menores valores de W promedio, ubicándose hacia la izquierda de la Fig. 6.10b. Es decir que para éste parámetro las variedades se agrupan en mayor medida que para PROT y GLH, según su clasificación previa por GC.

La figura 6.10 muestra que los ambientes se pueden agrupar en dos mega-ambiente. El primer mega-ambiente (Maw1) fue conformado por los ambiente M7T y P6T donde el cultivar CH logró los mayores valores de W, mientras que el segundo mega-ambiente (Maw2) quedó conformado por el resto de los ambientes donde el cultivar SU fue el de mejor comportamiento.

El análisis del parámetro extensibilidad de la masa (L –mm-) mostró diferencias significativas para todos los efectos principales VAR, N, LOC y AÑO ( $p < 0,01$ ), e interacciones significativas VAR\*LOC, VAR\*AÑO; VAR\*N, N\*AÑO, VAR\*LOC\*AÑO y N\*VAR\*AÑO\*LOC, donde las interacciones AÑO\*LOC y AÑO\*LOC\*VAR, resultaron las fuentes de variación más importantes sobre la extensibilidad de la masa (Tabla 6.2). En ambas localidades la variedad de mayor L fue CH (110 y 146 mm para Marcos Juárez y Pergamino respectivamente) mientras que la variedad GA fue la de menor L (59 y 62 mm, para Marcos Juárez y Pergamino respectivamente). Si bien el ranking de variedades no cambió significativamente entre las localidades, la variación de este parámetro de una localidad a otra evidenció una interacción VAR\*LOC significativa (Tablas A.13 –ver Anexo-).

En cuanto a los efectos de los tratamientos de fertilización sobre las variedades, los mismos dependieron de los años y localidades de evaluación determinando una interacción cuádruple significativa (Tabla 6.2 y Tabla A.13 -Anexo).

Cuando se analizó el parámetro L para los distintos GC no se observaron diferencias significativas entre GC, aunque se encontró interacción GC\*LOC significativa (Tabla A.14 -Anexo), donde en ambas localidades el GC1 fue el de menor valor L (86 y 99 mm para Marcos Juárez y Pergamino respectivamente), mientras que el GC2 fue el de mayor valor L (94 y 116 mm para Marcos Juárez y Pergamino respectivamente). Tampoco se detectó respuesta diferencial de los GC a los tratamientos de fertilización (Tabla A.13 –ver Anexo-).

La relación de equilibrio tenacidad/extensibilidad (P/L) indica el grado de equilibrio entre la tenacidad y la extensibilidad de la masa. De este modo, es deseable que la masa muestre valores cercanos a 1. Los resultados mostraron para la relación P/L diferencias significativas entre variedades ( $p < 0,05$ ), tratamientos de fertilización, localidades y años de evaluación ( $p < 0,01$ ), e interacciones VAR\*LOC, VAR\*AÑO, AÑO\*LOC, AÑO\*N, LOC\*N y VAR\*AÑO\*LOC significativas (Tabla 6.2). El efecto año sobre las variedades dependió de la localidad. En Marcos Juárez en los dos años el cultivar de menor relación P/L fue CH (0,41 y 0,46, para los años 2006 y 2007 respectivamente) y el de mayor relación P/L fue GA (0,96) en el año 2006 y ES (2,83) en el año 2007. En Pergamino en los dos años el cultivar de menor P/L fue CH (0,46 y 0,64 para los años 2006 y 2007 respectivamente) y el de mayor P/L fue GA (2,26 y 1,25 para los años 2006 y 2007 respectivamente (Tabla A.13 –ver Anexo-).

Los tratamientos de fertilización sólo tuvieron respuesta en la localidad de Marcos Juárez, donde tendieron a disminuir la relación P/L (1,21, 1,17 y 1,02, para N0-1, N1-0 y N1-1) respecto del testigo (N0-0= 1,40). En Pergamino la relación P/L promedio de los cuatro tratamientos fue de 1,06 (Tabla A.13 -Anexo). Las variedades no respondieron de manera diferente a los tratamientos de fertilización, es decir no hubo interacción N\*VAR significativa, (Tabla A.13 –ver Anexo).

El análisis de varianza por GC para la relación P/L, no mostró diferencias significativas entre los mismos, aunque se encontró interacciones GC\*LOC y GC\*AÑO significativas (Tabla A.14 -Anexo). Los mayores valores en la relación P/L se observaron en ambas localidades, con el GC3 aunque el ranking no fue el mismo en las localidades. En Marcos Juárez los valores P/L fueron GC1 (1,17), GC2 (1,18) y GC3 (1,26), mientras que en Pergamino el ranking fue GC2 (0,87), GC1 (0,97) y GC3 (1,34) (Tabla A.13 –ver Anexo-).

Tabla 6.2: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) para los parámetros del aveograma: tenacidad (P -mm), fuerza panadera (W  $\times 10^{-4}$  J), extensibilidad (L -mm) y la relación de equilibrio de la masa (P/L). ANVA realizados discriminando por variedades.

	P R <sup>2</sup> =0,88 CV=10				W R <sup>2</sup> =0,80 CV=13				L R <sup>2</sup> =0,90 CV=14				P/L R <sup>2</sup> =0,87 CV=28			
	FV	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig			
VAR	39804	45,5	***	245190	30,2	***	102869	38,7	***	41,7	35,4	**				
AÑO	3726	4,3	***	14238	1,8	***	7976	3,0	***	8,2	7,0	***				
LOC	1564	1,8	***	162690	20,0	***	9237	3,5	***	0,8	0,7	***				
N	133	0,2	N/S	56220	6,9	***	7240	2,7	***	1,5	1,2	***				
VAR*AÑO	3931	4,5	***	31566	3,9	***	7755	2,9	***	6,5	5,5	***				
VAR*LOC	6861	7,8	***	78102	9,6	***	8891	3,3	***	2,5	2,1	***				
VAR*N	1033	1,2	N/S	47325	5,8	***	6611	2,5	***	2,0	1,7	N/S				
AÑO*LOC	24726	28,2	***	41036	5,1	***	98409	37,0	***	39,7	33,6	***				
AÑO*N	127	0,1	N/S	8482	1,0	*	1766	0,7	**	1,5	1,3	***				
LOC*N	136	0,2	N/S	2756	0,3	N/S	616	0,2	N/S	1,1	0,9	**				
VAR*AÑO*LOC	2338	2,7	***	81368	10,0	***	4986	1,9	***	9,0	7,6	***				
VAR*AÑO*N	552	0,6	N/S	13157	1,6	N/S	2441	0,9	N/S	0,5	0,4	N/S				
VAR*LOC*N	1951	2,2	**	13700	1,7	N/S	2742	1,0	N/S	1,4	1,2	N/S				
AÑO*LOC*N	57	0,1	N/S	416	0,1	N/S	103	0,0	N/S	0,4	0,3	N/S				
VAR*AÑO*LOC*N	597	0,7	N/S	15836	2,0	N/S	4409	1,7	**	1,2	1,0	N/S				

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia (S) al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales VAR, AÑO, LOC, y GC y sus interacciones, R<sup>2</sup>= ajuste del modelo y CV= coeficiente de variación del ANVA.

Las variedades del GC1 (a= -416, b= 59 y R<sup>2</sup>= 0,75) mostraron mayores valores de W a iguales porcentajes de proteínas respecto de los cultivares del GC3 (a= -148, b= 31 y R<sup>2</sup>= 0,59). Los cultivares pertenecientes al GC2 (a= -112, b= 30 y R<sup>2</sup>= 0,32) se comportaron de manera diferente ya que el cultivar ES mostró un comportamiento parecido a los cultivares del GC1, mientras que CH se comportó parecido a un GC3 (Fig. 6.11), por tal motivo el grado de asociación entre el W y PROT para los cultivares del GC2 en su conjunto resultó bajo.

En términos generales se observó una relación positiva cuando se correlacionó el valor W del alveograma con el contenido de proteína de los granos para el conjunto de las variedades. Sin embargo, dicha relación mejoró cuando se realizó para cada una de las variedades, con la excepción de la variedad AG ( $R^2 = 0,40$ , Fig. 6.11).

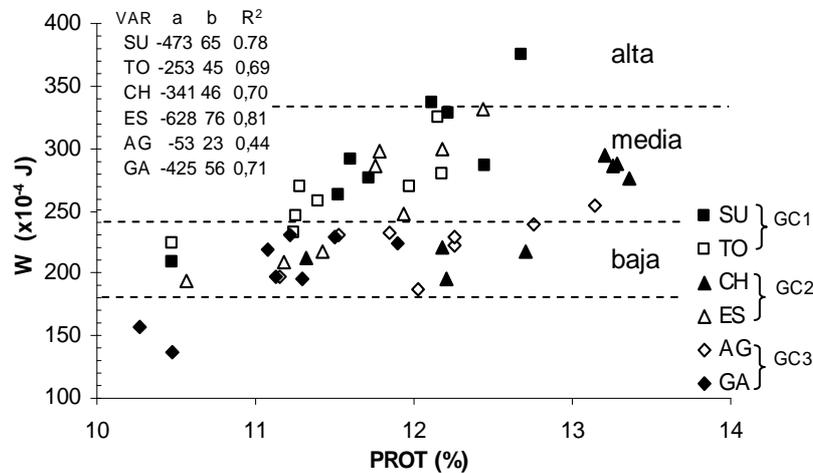


Figura 6.11: Fuerza panadera ( $W \times 10^{-4}$  J) en función del porcentaje de proteína (PROT -%). Cada punto es el promedio de los tratamientos de fertilización inicial (N0-0 y N1-0) en cada año y localidad de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. En el inset de la figura se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y los ajustes ( $R^2$ ) de las regresiones de cada variedad. Líneas punteadas horizontales representan los límites inferiores para que el W sea considerado de baja, media o alta calidad panadera (Cuniberti 2002).

El W mostró una relación positiva con el GLH la cual fue significativa en la mayoría de los cultivares (excepción para el cultivar AG). A igual porcentaje de GLH el GC1 ( $a = -136$ ,  $b = 17$  y  $R^2 = 0,76$ ) tuvo los mayores valores de W, es decir la mayoría de los datos de W se ubicaron dentro de los límites de calidad media, en tanto el GC3 ( $a = -67$ ,  $b = 10$  y  $R^2 = 0,61$ ) tuvo los valores de W más bajo para todo el rango de GLH explorado, manteniéndose los valores de W dentro de los límites de calidad baja y en muy raras ocasiones se logró obtener valores de W de calidad media. El comportamiento del GC2 ( $a = -151$ ,  $b = 14$  y  $R^2 = 0,65$ ) fue intermedio a los dos GC anteriores, para el rango de GLH explorado por este grupo los valores de W estuvieron dentro de los límites de baja a media calidad (Fig. 6.12).

Con el objetivo de vincular los parámetros originados a partir del alveograma para la caracterización de la calidad, se relacionó el W con la relación P/L. Así en la Fig. 6.13 se pudo caracterizar la mejor combinación de los valores de ambos atributos de acuerdo a lo que la literatura muestra como buena, media y mala calidad.

Tomando el efecto de la fertilización nitrogenada promedio de los dos años y dos localidades para cada variedad, se observaron grandes diferencias entre los cultivares pertenecientes a un mismo GC, frente a estos tratamientos, así por ejemplo si comparamos los tratamientos testigos N0-0 con los tratamientos con fertilización inicial y foliar y sus combinaciones (N1-0, N0-1 y N1-1) los cultivares del GC1 (TO y SU) y ES (GC2) fueron los que mejoraron la calidad a través de los tratamientos con fertilización nitrogenados, aumentado el W a medida que redujeron la relación P/L, con

la diferencia que a iguales tratamientos de fertilización SU registró mayores valores de W manteniendo la mayoría de sus valores dentro de los rangos de calidad alta y en algunos casos en calidad media y con relaciones P/L algo más altas que TO, aunque para ambas variedades los valores de P/L se mantuvieron próximas a 1, mientras que la variedad ES logró valores de W parecidos a TO (mayoría de los casos dentro de los límites de calidad media y en algunos casos alta) pero con masas más desequilibradas con valores de P/L mayores a 1,25 (Fig. 6.13).

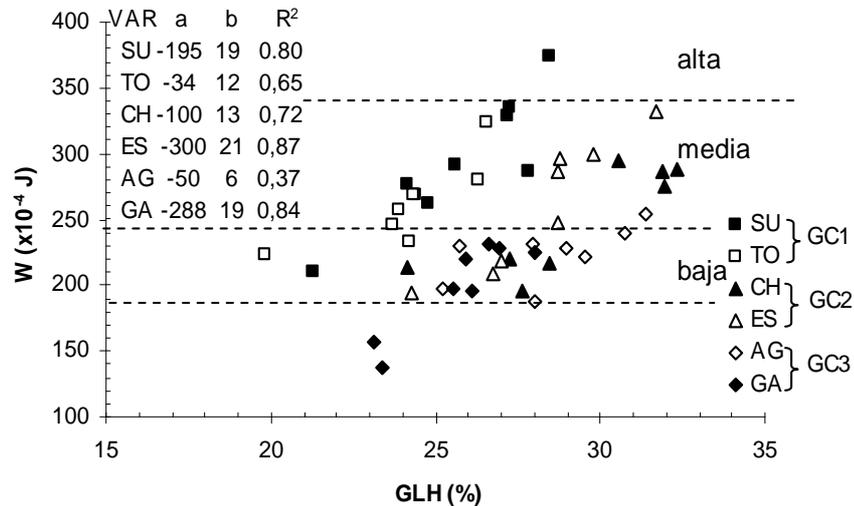


Figura 6.12: Fuerza panadera ( $W \times 10^{-4}$  J) en función del porcentaje de gluten húmedo (GLH -%). Cada punto es el promedio de los tratamientos de fertilización inicial (N0-0 y N1-0) en cada año y localidad de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (△) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. Inserto en la figura se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y los ajustes ( $R^2$ ) de las regresiones de cada variedad. Líneas punteadas horizontales representan los límites inferiores para que el W sea considerado de baja, media o alta calidad panadera (Cuniberti, 2002).

Los cultivares del GC3 (AG y GA) lograron variaciones en P/L con los tratamientos de fertilización, aunque en algunos casos disminuyendo la calidad respecto del testigo (N0-0) y manteniendo el W dentro de los límites de baja calidad y en algunos casos dentro de lo considerado no panificable, con la diferencia que ambos cultivares lograron valores de W parecidos pero con P/L muy distintos, donde GA obtuvo P/L muy por encima de 1,25, en tanto AG mantuvo la relación P/L cercana a 1 (Fig. 6.13). Por el contrario el otro cultivar del GC2 (CH) no mostró variaciones importantes con los tratamientos de fertilización nitrogenada manteniendo los valores de W dentro de los límites de calidad media a baja y con P/L muy por debajo de 0,75 (Fig. 6.13).

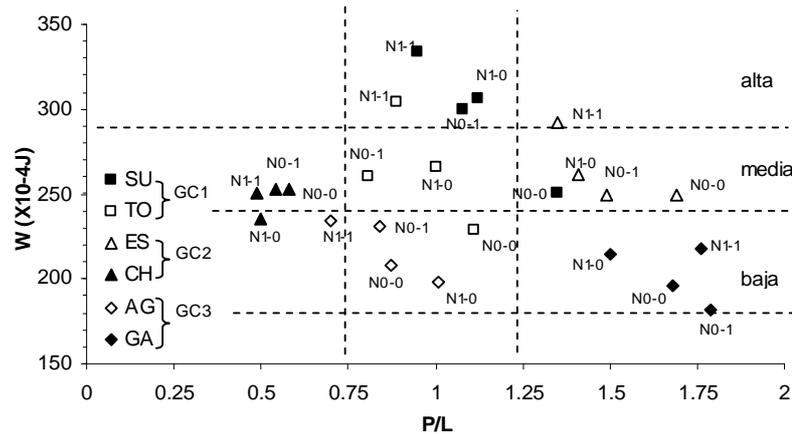


Figura 6.13: Fuerza panadera ( $W \times 10^{-4}$  J) en función de la relación de equilibrio tenacidad/extensibilidad de la masa (P/L). Cada punto pertenece a los tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) promedio de los dos años y las dos localidades de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (△) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. Líneas punteadas horizontales representan los límites inferiores para que el W sea considerado de baja, media o alta calidad panadera (Cuniberti 2002).

### 6.3.3 PARAMETROS DE PANIFICACION.

En el caso del porcentaje de absorción de agua de las harinas (AA %), se encontró diferencias significativas entre tratamientos de fertilización, años y localidades ( $p < 0,01$ ), e interacciones VAR\*AÑO ( $p < 0,01$ ), VAR\*LOC ( $p < 0,01$ ), VAR\*N, N\*AÑO ( $p < 0,05$ ) y VAR\*AÑO\*LOC ( $p < 0,01$ ) significativas (Tabla 6.3). Pese a estas diferencias e interacciones significativas la fuente de variación más importante fue el efecto de variedad, provocando una diferencia de sólo 2% entre las variedades de menor y mayor AA, siendo el promedio de las mismas en orden decreciente el siguiente: SU (62%), ES (61,9%), TO (61,6%), CH (61,3%), AG (60,9%) y GA (60,6%) (Tabla A.15 –Anexo). Los resultados mostraron que éste parámetro fue muy estable no detectándose diferencias significativas entre GC (Tabla A.15 y A.16 –ver Anexo-).

Para el tiempo de amasado (TAM -min) se pudo observar diferencias significativas para todos los efectos principales VAR ( $p < 0,01$ ), N ( $p < 0,05$ ) y LOC ( $p < 0,01$ ) e interacciones VAR\*N ( $p < 0,01$ ), VAR\*AÑO ( $p < 0,1$ ) VAR\*AÑO\*LOC ( $p < 0,1$ ) significativas (Tabla 6.3). Si bien hubo interacción VAR\*AÑO significativa en ambas localidades, ésta no significó cambios de ranking ya que en los dos años y las dos localidades el cultivar de menor TAM fue AG, mientras que TO y SU fueron los cultivares que mostraron mayor TAM. Tomando el promedio de cada variedad el orden de mayor a menor TAM fueron: TO (3,16 min), SU (3,02 min), ES (2,72 min), CH (2,68 min), GA (2,65 min) y AG (2,50 min) (Tabla A.15 –ver Anexo-).

En ambas localidades las variedades tuvieron mayor TAM con la fertilización completa (N1-1= 2,83 y 2,96, para Marcos Juárez y Pergamino respectivamente) respecto del testigo (N0-0= 2,51 y 2,93, para Marcos Juárez y Pergamino respectivamente), aunque también se pudo observar que no todas las variedades respondieron de esta manera, ya que hubo variedades que no respondieron a la fertilización (ej CH) y otras como GA modificaron los valores de TAM debido a la

fertilización nitrogenada (ej. 3,10 y 2,60 para N0-0 y N1-1 respectivamente) (Tabla A.15 –ver Anexo-).

Respecto de la comparación entre los distintos GC se encontraron diferencias significativas entre los mismos y a pesar de detectarse interacción GC\*AÑO significativa (Tabla A.16), el ranking en los dos años fue el mismo, GC1 (2,11 min), GC2 (3,61 min) y GC3 (2,57 min) para el año 2006 y GC1 (3,06 min), GC2 (2,81 min) y GC3 (2,58 min) para el año 2007 (Tabla A.15 –ver Anexo-).

Tabla 6.3: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) de los parámetros de panificación: porcentaje de absorción de agua (AA. -%), tiempo de amasado (T AM - min) y volumen de pan (Vol. -cc). ANVA realizado discriminando por variedades.

VF	AA R <sup>2</sup> =0,76 CV=1,03			T AM R <sup>2</sup> =0,65 CV=12,14			Vol. R <sup>2</sup> =0,93 CV=7,46		
	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig
VAR	66,9	31,9	***	13,6	38,5	***	1692576	33,4	***
AÑO	1,6	0,8	**	0,2	0,5	NS	1065965	21	***
LOC	42,9	20,5	***	4	11,4	***	184766	3,6	***
N	11,8	5,6	***	1,1	3,2	**	91721	1,8	***
VAR*AÑO	24	11,5	***	1,1	3,2	*	217783	4,3	***
VAR*LOC	13,4	6,4	***	1	2,8	NS	94849	1,9	***
VAR*N	12,2	5,8	**	4,3	12,1	***	81033	1,6	***
AÑO*LOC	1,1	0,5	NS	0,1	0,3	NS	1310547	25,9	***
AÑO*N	3,5	1,7	**	0,4	1	NS	61363	1,2	***
LOC*N	0,9	0,4	NS	0,7	2	NS	7654	0,2	NS
VAR*AÑO*LOC	19,7	9,4	***	1,6	4,5	**	69173	1,4	***
VAR*AÑO*N	5,3	2,5	NS	2,4	6,9	NS	73054	1,4	**
VAR*LOC*N	4	1,9	NS	2,7	7,6	*	39284	0,8	NS
AÑO*LOC*N	0	0	NS	0,5	1,3	NS	8179	0,2	NS
VAR*AÑO*LOC*N	2,2	1	NS	1,7	4,7	NS	70746	1,4	**

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia (S) al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales VAR, AÑO, LOC, y GC y sus interacciones, R<sup>2</sup>= ajuste del modelo y CV= coeficiente de variación del ANVA.

El volumen de pan (Vol. cc), i.e. el atributo de mayor importancia ya que evalúa directamente el resultado de la combinación de los atributos y parámetros descriptos anteriormente, mostró diferencias significativas para todos efectos principales, VAR, N, LOC y AÑO (p< 0,01) e interacciones VAR\*LOC VAR\*AÑO VAR\*N, VAR\*AÑO\*LOC, VAR\*AÑO\*N y VAR\*AÑO\*LOC\*N significativas (Tabla 6.3).

El efecto año sobre las variedades fue distinto según la localidad. En Marcos Juárez todos los cultivares redujeron el volumen de pan en el año 2007, aunque lo hicieron en diferente proporción, ES fue la variedad que redujo en mayor medida (47%) el Vol. (i.e de 756 a 403 cc), mientras que el cultivar más estable fue CH reduciendo igualmente el Vol. un 23%, de 711 a 545 cc con respecto al año 2006. Por el contrario en Pergamino, a excepción de AG que redujo el Vol. la mayoría de los cultivares aumentaron este parámetro en el año 2007 (Fig. 6.14). La fertilización nitrogenada incrementó el Vol. aunque este efecto no fue igual para todas las variedades dependiendo de la localidad y el año de evaluación (Fig. 6.14).

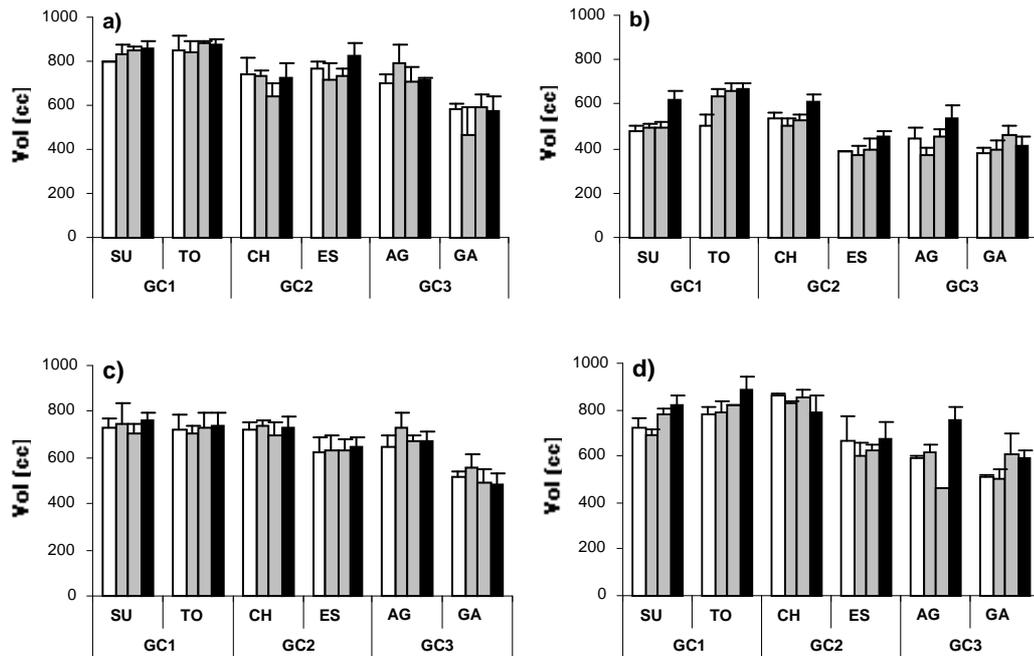


Figura 6.14: Efecto de los tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) sobre el volumen de pan (Vol. cc) de cada variedad (SU, TO, CH, ES, AG, y GA), para: a) Marcos Juárez en el año 2006, b) Marcos Juárez 2007, c) Pergamino 2006 y d) Pergamino 2007. Para referencias de los tratamientos nitrogenados ver Fig. 6.7. Las líneas verticales indican el desvío estándar de las medias.

La fertilización foliar tuvo un efecto menor incrementando en promedio sólo 3% el Vol. (de 638 a 658cc para los tratamientos sin y con fertilización foliar, respectivamente) esto se ve reflejado en la figura 6.15, ya que la mayoría de los puntos están próximos a la recta de regresión 1:1 o levemente por encima de ella, aunque en este caso particular se detectó interacción significativa entre la fertilización foliar y la aplicada al inicio del cultivo, ya que en promedio la fertilización foliar en antesis mostró un mayor efecto, cuando en el cultivo se fertilizó inicialmente, respecto del tratamiento sin fertilizar, incrementado el Vol., en 30 cc (645 y 638 con y sin fertilización inicial) cuando se aplicó la fertilización inicial que cuando no tuvo dicha aplicación, manteniendo el Vol. en 633 cc, aproximadamente, con ambos tratamientos de fertilización foliar. Tal como se muestra en la figura 6.14, dicha respuesta dependió de la localidad, del año y de la variedad en evaluación.

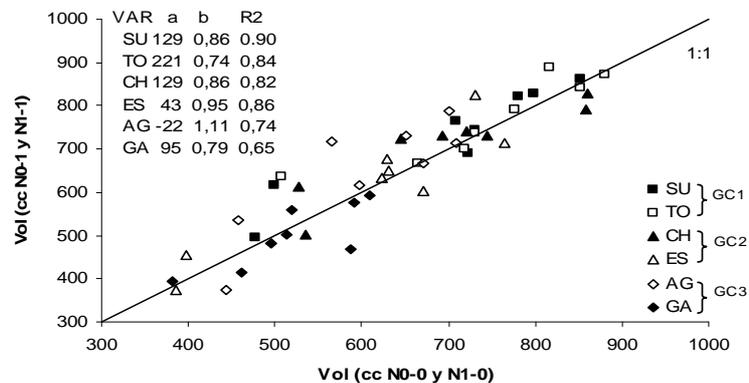


Figura 6.15: Volumen de pan con los tratamientos de fertilización foliares (W-J

N0-1 y N1-1) en función del Volumen de pan con los tratamientos de fertilización inicial ( $W \times 10^{-4}$  J N0-0 y N1-0). Cada punto es el promedio de la combinación de los tratamientos de fertilización inicial-foliar en cada año y localidad y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (△) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. Inserto en la figura se presenta una tabla con las ordenadas al origen (a), la pendiente (b) y los ajustes ( $R^2$ ) de las regresiones de cada variedad.

El análisis de agrupamientos de cultivares según el Vol. utilizando el dendograma y considerando un corte a una distancia Euclídea de 0,6 mostró tres grupos. El primer grupo conformado por las dos variedades del GC1 (SU y TO) y otra variedad del GC2 (CH), a este grupo se le unió a una mayor distancia un segundo grupo formado por una variedad de GC2 (ES) y una variedad de GC3 (AG), mientras que el tercer grupo estuvo conformado por el cultivar del GC3 (GA) (Fig. 6.16a). Como se puede ver sólo los cultivares del GC1 se agruparon juntos, mientras que el resto de los cultivares no se agruparon según su previa clasificación por GC.

En el análisis GGE Biplot, la CP1 y la CP2 explican cerca del 90% de la variación total del parámetro Vol., también en este caso la CP1 al explicar más del 70% de la variación total, sugiriendo que la principal fuente de variación de los datos fueron las diferencias entre las medias de los cultivares respecto a los efectos individuales de LOC, AÑO y N. Por otro lado se observó que, confirmando los resultados del ANVA, que los cultivares del GC1 (SU y TO) y CH lograron valores de Vol. promedio por encima de la media general, siendo la variedad TO la de mayor Vol. promedio en la mayoría de los ambientes ya que se ubicó bien a la derecha de la Fig. 6.16b, en tanto el cultivar del tercer grupo del dendograma (GA) registró el menor valor de Vol. promedio ubicándose hacia la izquierda en la Fig. 6.16b.

En esta figura al igual que para PROT, GLH y W, el efecto de la interacción G\*A para el Vol. fue de menor magnitud que el efecto G, (Fig. 6.16b).

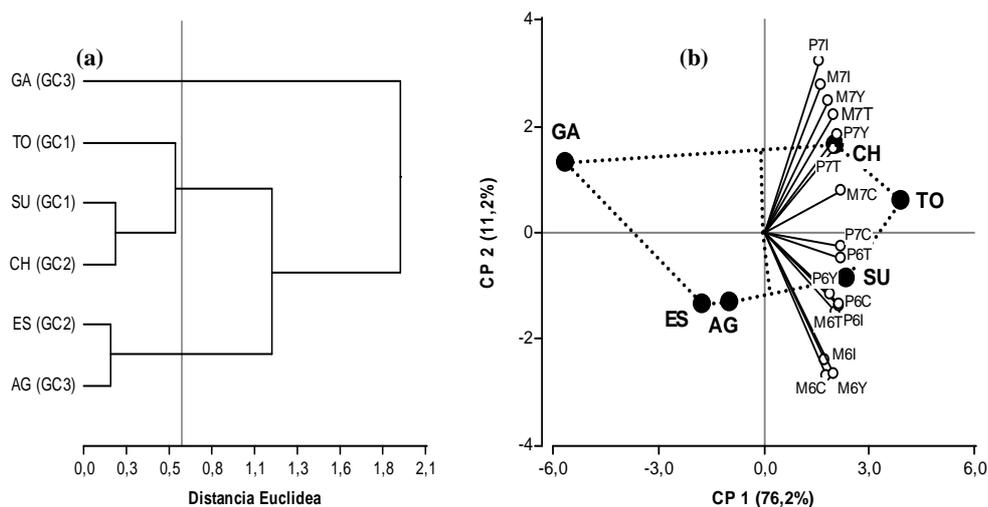


Figura 6.16: (a) dendograma (b) GGE Biplot para el volumen de pan (Vol. –cc). Símbolos blancos representan los ambientes, los cuales surgen de la combinación de las localidades Marcos Juárez (M) o Pergamino (P), los años 2006 (6) o 2007 (7) y los

tratamientos de fertilización: N0-0 (T), N0-1 (Y), N1-0 (I) y N1-1 (C). Símbolos negros representas a las variedades (AG, CH, ES, GA, SU y TO).

La correlación entre Vol. y W fue dependiente del año ya que en el año 2006 el 80% de la variación en el Vol. fue explicada por las variaciones en el W ( $R^2 = 0,80$ ), mientras que en el año 2007 el W sólo explicó el 37% de las variaciones del Vol. (Fig. 6.17). En la misma figura puede verse que para iguales valores de W, en general en el año 2006 se obtuvieron volúmenes de pan mayores que en 2007. Como se dijo anteriormente, ambas variables fueron modificadas principalmente por las variedades y en segundo lugar por la localidad en el caso del W y por el año de evaluación en el caso del volumen de pan. Esto se ve reflejado en la figura donde los valores de las variedades del GC3 (AG y GA) de menor Vol. y W se ubicaron a la izquierda, en tanto los datos de cultivares del GC1 (SU y TO) de mayor Vol. y W se ubicaron a la derecha de la figura. Sin embargo, en los valores medios de Vol. y W se mezclaron de GC1 y 2 sugiriendo que existe una importante movilidad entre ambos grupos para estos parámetros que son decisivos para la calidad panadera de trigo.

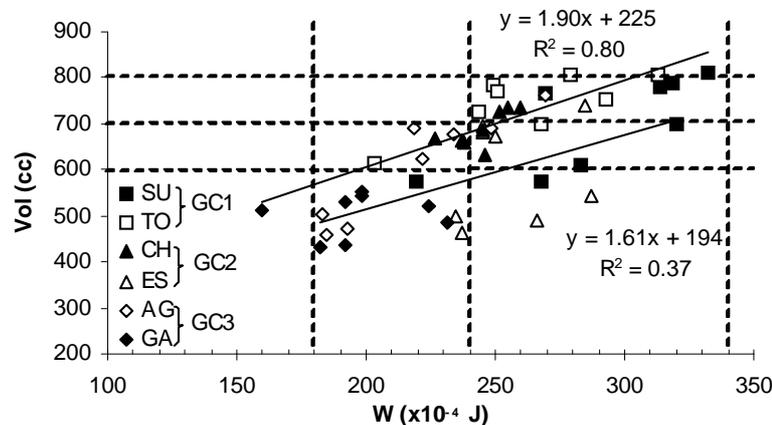


Figura 6.17: Volumen de pan (Vol. –cc) en función de la fuerza panadera (W –  $\times 10^{-4}$  J). Cada punto es el promedio de los tratamientos de fertilización (N0-0 y N1-0) en cada año y localidad de estudio y para cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (△) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. Líneas punteadas horizontales y verticales representan los límites inferiores para que el Vol. y el W respectivamente sean considerados de baja, media o alta calidad panadera (Cuniberti 2002).

Al calcular un índice de calidad (Ical) con cinco (PH, PROT, GLH, W y Vol.) de los siete parámetros tenidos en cuenta por el Comité de Cereales de Invierno (CCI) que además incluye la relación rendimiento de harinas/cenizas y el índice de estabilidad de las masas y haciendo un análisis de varianza de este índice, se encontraron diferencias significativas en VAR, AÑO, LOC, y N ( $p < 0,01$ ) y también hubo interacciones VAR\*LOC, VAR\*AÑO, VAR\*N, VAR\*AÑO\*LOC y VAR\*AÑO\*LOC\*N significativas (Tabla A.17 –ver Anexo-).

En Marcos Juárez si bien se encontraron claras diferencias entre los tres grupos de calidad, donde el índice de calidad del GC1 (41) fue el doble del GC3 (20), mientras que el GC2 registró un índice intermedio (28), dichas diferencias no fueron estadísticamente significativas, debido posiblemente a un elevado coeficiente de variación (33%). A su vez en esta localidad hubo interacción GC\*AÑO, ya que si bien

en el 2007 los tres grupos redujeron los Ical el grupo de mayor reducción fue el GC1, en 31 puntos (de 57 a 26), siendo el más estable fue el GC3 que sólo bajo el Ical en 14 puntos, (de 46 a 39), con respecto al año 2006 (Fig. 6.18).

A diferencia de lo observado en Marcos Juárez en la localidad de Pergamino no se detectaron diferencias significativas en el Ical entre el GC1 (55) y GC2 (57), en tanto que el Ical del GC3 (34) fue significativamente inferior. En promedio el Ical de la localidad de Pergamino (49) fue casi 20 puntos más alto que el de Marcos Juárez (30). En promedio el Ical del año 2006 (42) fue 8 puntos superior al del año 2007 (34) (Fig. 6.18).

La fertilización nitrogenada incrementó el Ical respecto a los tratamientos sin fertilización, siendo los valores del Ical con los tratamientos: N0-0 (32), N0-1 (38), N1-0 (38) y N1-1 (46), sin embargo, esta tendencia no se cumplió en todas las variedades, dependiendo del año y la localidad de evaluación (Fig. 6.18).

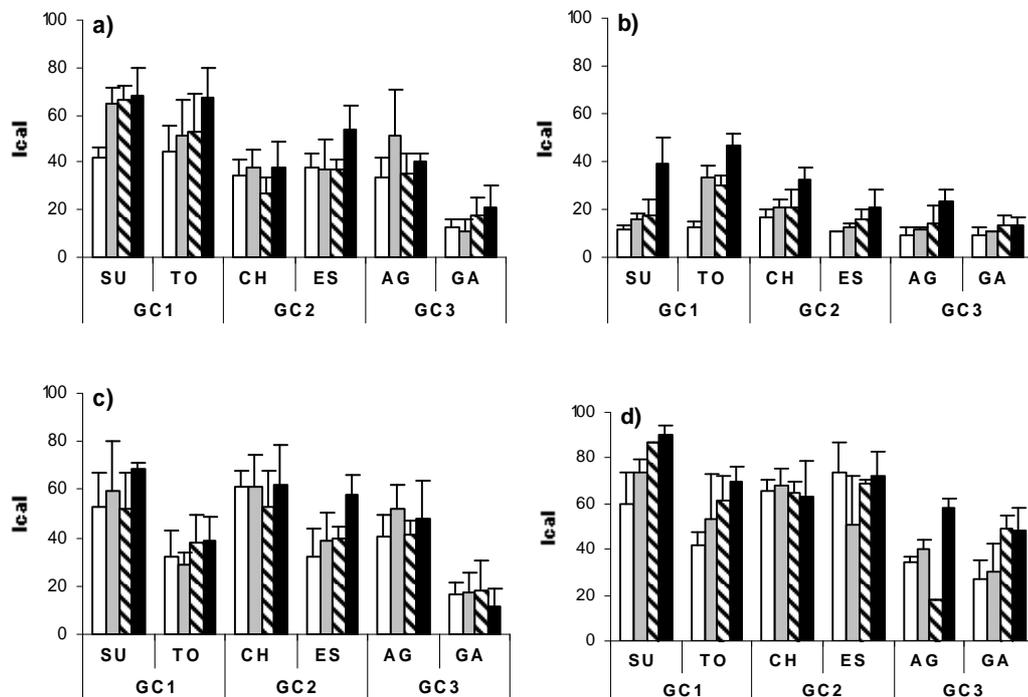
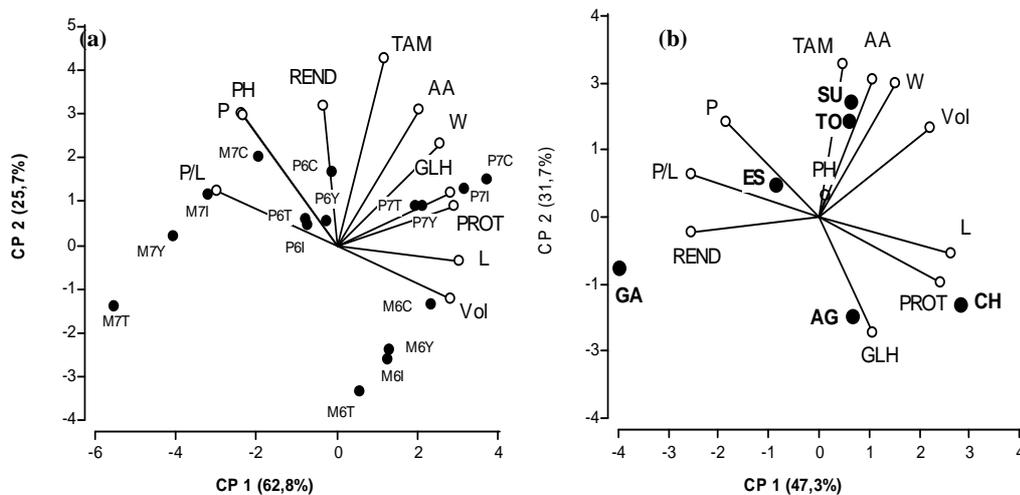


Figura 6.18: Efecto de los tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) sobre el índice de calidad (Ical) de cada variedad (SU, TO, CH, ES, AG, y GA), para: a) Marcos Juárez en el año 2006, b) Marcos Juárez 2007, c) Pergamino 2006 y d) Pergamino 2007. Para referencias correspondientes a los tratamientos de fertilización nitrogenada ver Fig. 6.7. Las líneas verticales indican los desvíos estándar de las medias.

Si bien los GC respetaron el mismo ranking de Ical en los distintos años y localidades de evaluación, no ocurrió lo mismo con las variedades. Así variedades del GC1 en ciertas condiciones tuvieron menores Ical que las variedades del GC3, ejemplo de esto fueron: TO (GC1) y AG (GC3) en el año 2006 en la localidad de Pergamino (Ical de 34 y 46 para TO y GA respectivamente), mientras que en otras condiciones como las del año 2007 en la localidad de Marcos Juárez TO (30) logró el mayor Ical, en tanto el cultivar AG (15) fue uno de los de menor Ical. La variedad más consistente con

el Ical fue GA (GC3) que en ambas localidades y en los dos años obtuvo los Ical más bajos (Fig. 6.18).

Analizando los parámetros de calidad y el rendimiento en forma conjunta y buscando una posible asociación de estos con los ambientes evaluados en ésta tesis, se realizó un análisis multivariado de componentes principales. En el Biplot de la Fig. 6.19a donde se incluyeron distintos parámetros de la calidad industrial, se puede observar que la componente principal 1 (CP1) explicó el 63% de la variación de los datos, sobre este eje las variables de mayor peso fueron la extensibilidad de las masa ( $L= 0,38$ ) con valores positivos hacia la derecha, y relación de equilibrio ( $P/L= -40$ ) con valores negativos hacia la izquierda de la figura. Mientras que la componente Principal 2 (CP2) explica un 26% de la variación total, cuyas variables de mayor peso fueron el tiempo de amasado ( $TAM= 0,51$ ) con valores positivos hacia la parte superior y el volumen de pan ( $Vol.= -0,07$ ) con valores negativos hacia la parte inferior de la figura, es decir entre ambas componentes principales explican casi el 80% de la variación total de los parámetros. En la misma figura se observa una importante asociación positiva entre los parámetros Vol. y L en los ambientes de Marcos Juárez del año 2006. Los parámetros PROT, GLH y W se asociaron positivamente en los ambientes de Pergamino para el año 2007, mientras que los parámetros PH, P y P/L también estuvieron positivamente correlacionados en el ambiente de Marcos Juárez 2007. Sin embargo estos tres últimos parámetros reológicos se correlacionaron negativamente con los parámetros L y Vol. (Fig. 6.19a).



CP	REND	PROT	P	P/L	L	W	AA	TAM	Vol	REND	GLH	PROT	P/L	L	W	AA	TAM	Vol
1	-0,04	0,36	-0,29	-0,36	0,38	0,32	0,25	0,14	0,35	-0,41	0,17	0,39	-0,41	0,42	0,25	0,17	0,08	0,36
2	0,39	0,11	0,37	0,15	-0,05	0,28	0,38	0,52	-0,15	-0,05	-0,37	-0,21	0,14	-0,12	0,42	0,44	0,49	0,28

Figura 6.19: Biplot para los parámetros de calidad y rendimiento (símbolos blancos) considerando los ambientes de evaluación (símbolos negros) los cuales surgen de la combinación de las localidades Marcos Juárez (M) o Pergamino (P), los años 2006 (6) o 2007 (7) y los tratamientos de fertilización: N0-0 (T), N0-1 (Y), N1-0 (I) y N1-1 (C) en a) y considerando los cultivares (AG, CH, ES, GA, SU y TO), símbolos negros en b). En el inset debajo de la figura se muestra una tabla con el peso de cada variable sobre las componentes principales (CP) de cada Biplot.

La misma aproximación con modelos multivariados se realizó para determinar la relación entre los parámetros de calidad y de rendimiento pero en este caso

considerando los cultivares. La Fig. 6.19b muestra el análisis a través de un Biplot donde la componente principal 1 (CP1) explica el 47% de la variación de los datos, siendo las variables de mayor peso involucradas en dicha componente principal la extensibilidad de la masa ( $L= 0,42$ ) con valores positivos hacia la derecha, y el rendimiento ( $REND= -41$ ) con valores negativos hacia la izquierda de la figura. La componente Principal 2 (CP2) explicó un 31% de la variación total, cuyas variables de mayor peso fueron el tiempo de amasado ( $TAM= 0,49$ ) con valores positivos hacia la parte superior y el porcentaje de gluten húmedo ( $GLH= -0,07$ ) con valores negativos hacia la parte inferior de la figura, es decir entre ambas componentes principales explicaron casi el 80% de la variación total de los parámetros.

La Figura 6.19b muestra que el REND se vinculó positivamente con los parámetros P y P/L, y negativamente con los parámetros GLH, PROT y L. El cultivar GA (GC3) fue el que mostró los mayores rendimientos y por ende fue vinculado con mayores valores de P y P/L, mientras que los cultivares AG (CG3) y CH (GC2), fueron vinculados con los parámetros GLH, PROT y L. En la misma figura puede observarse que los parámetros Vol., W, AA y TAM estuvieron estrechamente vinculados entre sí y se asociaron a los cultivares SU y TO ambos pertenecientes al GC1. El parámetro PH y el cultivar ES fueron lo que menos aportaron a la variación de los datos por los que se ubicaron cerca de la media general (Fig. 6.19b).

#### 6.4 DISCUSION

Con el objetivo de presentar un panorama resumido y clarificar las variaciones en los parámetros de calidad analizados en este capítulo, incluyendo además el rendimiento, se presenta la Tabla 6.4 donde se consideran los valores máximos y mínimos y el porcentaje de variación respecto de la media de los distintos parámetros que definen la calidad comercial e industrial del trigo. A partir de dicha tabla resumen se pudo observar que sólo tres parámetros (i.e. AA, RH y PH) mostraron ser muy estables, es decir muy poco influenciados por las condiciones ambientales, de manejo y genéticas analizadas en la presente tesis ya que sus valores variaron en baja proporción respecto de su media (i.e 3, 6 y 7% para AA, RH y PH, respectivamente). Estos resultados concuerdan con lo observado por Lukow & McVetty, 1991 y Espitia-Rangel *et al.*, 2003, quienes reportaron muy poca variabilidad en dichos parámetros ante cambios en el ambiente.

En el caso opuesto, los parámetros más influenciados por los tratamientos aplicados y las condiciones ambientales de los experimentos fueron tres de los cuatro parámetros que constituyen el alveograma (W, L y P/L), los que variaron sus valores en 49, 65 y 72%, respectivamente, respecto de su media. Mientras que el resto de los parámetros, tuvieron una variación intermedia (entre +/- 20 y 43%) respecto de sus respectivas medias (Tabla 6.4).

Considerando el efecto ambiente (A) como la combinación de los efectos de la localidad, el año y los tratamientos de fertilización nitrogenada y separando el efecto genotípico (G), del efecto ambiental (A) y de la interacción (G\*A), se observó que sólo en dos parámetros (i.e PMG y P) el efecto G fue la principal fuente de variación. Estos resultados coinciden con los trabajos previos de Lukow & Mcvetty, (1991), quienes mostraron que para PH y PMG el efecto del cultivar fue mayor que el efecto ambiental y al efecto interacción G\*A.

Para la mayoría de los parámetros descriptos en la Tabla 6.4 (i.e. REND, PH, PROT, GLH, W, P/L, y Vol.) el efecto ambiental fue la mayor fuente de variación. De este modo, es posible afirmar que para la mayoría de los parámetros que definen la calidad comercial e industrial, las variaciones ambientales son consideradas como los factores más importantes, en línea con lo descrito por otras evidencias de la literatura (Peterson *et al.*, 1992; Grausgrubert *et al.*, 2000 y Mortarini *et al.*, 2004).

Del los siete parámetros indicados arriba y que fueron modificados principalmente por el ambiente, a excepción de la proteína, todos fueron afectados por los factores AÑO y LOC. Sin embargo, en el caso de la proteína en granos el principal factor que modificó dicho parámetro fue un factor de manejo como es la fertilización nitrogenada. Si bien en otros atributos vinculados con la calidad del cultivo el manejo de nitrógeno a través de la fertilización no fue el factor más determinante, éste provocó más del 30% de las variaciones como las ocurridas en los parámetros L, GLH y REND (Tabla 6.4), lo que sugiere una fuerte influencia del manejo nutricional sobre estos parámetros. Existen numerosas evidencias que también han determinado que el manejo del nitrógeno ha sido el factor de mayor peso como modificador de la proteína en los granos (Jia *et al.*, 1996; Lloveras *et al.*, 2001; Souza *et al.*, 2004; Labuschagne *et al.*, 2006; Pierre *et al.*, 2008).

Tabla 6.4: Valores promedio (Med), mínimos (Min), máximo (Max) y porcentaje de variación respecto de la media (%var), porcentaje de la variación total explicada por el genotipo (G), por el ambiente (A) y la interacción (G\*A) y porcentaje de la variación ambiental explicada por la localidad (LOC) el AÑO y la disponibilidad de nitrógeno (N) de los parámetros de calidad y rendimiento.

Variable	Med	Mín	Máx	%var	G	A	G*A	LOC	AÑO	N
<b>PMG</b>	34	23	44	33	68	23	10	3	80	17
<b>REND</b>	4649	3076	6520	34	10	73	16	1	71	28
<b>PH</b>	80	75	86	7	17	76	7	2	95	3
<b>RH</b>	72	68	75	6	18	40	42	29	69	2
<b>PROT</b>	12	10	15	20	17	75	8	45	0	55
<b>GLH</b>	27	18	37	34	18	73	10	52	5	43
<b>P</b>	83	47	118	43	45	35	20	20	77	2
<b>W</b>	249	128	404	49	30	36	34	74	2	24
<b>L</b>	93	33	173	65	38	48	14	45	26	30
<b>P/L</b>	1,10	0,31	3,48	72	35	45	19	13	73	14
<b>AA</b>	61	60	63	3	32	30	38	79	1	20
<b>TAM</b>	2,8	2,0	3,8	29	38	20	42	72	7	21
<b>VOL</b>	651	373	888	43	33	54	13	22	72	7
<b>Ical</b>	40	9	91	77	27	51	22	68	11	21

Variables: PMG= peso de mil granos (g), REND=rendimiento (g/m<sup>2</sup>), PH= peso hectolitro (g/lts), RH= rendimiento de harina (%), PROT= porcentaje de proteína (%), GLH= porcentaje de gluten húmedo (%), P= tenacidad (mm), W= fuerza panadera (Mj x10<sup>-4</sup>), L= extensibilidad, P/L= relación de equilibrio, AA= absorción de agua (%), TAM= tiempo de amasado (min), Vol.= volumen de pan (cc) e Ical= índice de calidad.

En este estudio, si bien el impacto ambiental fue el predominante sobre buena parte de los atributos que definen la calidad como fue expresado en el párrafo anterior, el efecto G mostró mayor peso que la interacción G\*A en los parámetros PMG, PH,

PROT, GLH, P, L, P/L y Vol, en coincidencia con lo observado por otras evidencias de la literatura (Grausgrubert *et al.*, 2000; Peterson *et al.*, 1992; Geleta *et al.*, 2002; Mortarini *et al.*, 2004 y Souza *et al.*, 2004). Contrariamente, para los parámetros RH, W, AA y TAM, el efecto de la interacción G\*A tuvo mayor peso que el efecto genotipo.

Sobre la base de estos resultados, es posible sugerir que en un programa de mejoramiento con el objetivo de promover la calidad, es importante seleccionar distintos genotipos para los diferentes ambientes ya que el efecto G por sí solo no fue tan robusto como para mantener los atributos en los distintos ambientes. Bassett *et al.* (1989) y Lukow & McVetty (1991) recomiendan para los parámetros con relativamente alta interacción G\*A, explorar una gran cantidad de ambientes de evaluación para asegurar el valor genético de distintas cultivares. Grausgrubert *et al.* (2000) sugieren que aquellos parámetros cuyo efecto de G fue menor al de la interacción G\*A, es decir donde la expresión del fondo genético es poco consistente ante cambios en el ambiente, no deberían ser utilizados como objetivo a incorporar en programas de mejoramiento.

El índice de calidad es una herramienta que el Comité de Cereales de Invierno de la CONASE utiliza para clasificar los cultivares de trigo pan en los tres grupos de calidad. En el mismo se ponderan diferentes parámetros de calidad, que permiten caracterizar los cultivares en relación a su aptitud panadera. Los resultados de esta tesis demostraron que un índice de calidad similar (Ical) fue el carácter con mayor variabilidad (-/+ 77% respecto de su media), siendo extremadamente influenciado por el ambiente, sobre todo por el factor localidad y en segundo término por el manejo nutricional (ver tabla 6.2 y 6.4).

Por otro lado para dicho índice se demostró que el efecto G fue más importante que el de la interacción G\*A, debido a que la mayoría de los parámetros que lo definen (PH, PROT, GLH y Vol.) como se comentó anteriormente, están principalmente influenciados por el efecto G más que por la interacción G\*A. Abbate *et al.* (2008) en un estudio hecho en un año experimental con las mismas variedades del GC1 y GC3 utilizadas en este trabajo, también determinaron que el mencionado índice de calidad fue muy influenciado por el ambiente y especialmente por la localidad. De este modo, debe tenerse precauciones sobre la extrapolación en el uso de dicho índice a través de los ambientes, cuando se está evaluando la calidad de un determinado material. Estos resultados demuestran que el Ical es una caracterización de utilidad dentro de un mismo ambiente para caracterizar el comportamiento en forma comparativa de distintos genotipos. De este modo, puede constituir una herramienta útil en la evaluación de nuevos materiales que pretenden ser inscriptos y/o evaluados para calidad industrial. Sin embargo, no parece ser una herramienta de clasificación cuando se contemplan un conjunto de materiales expuestos a distintos ambientes. Posiblemente, el uso del Ical combinado con la zonificación por ambientes sea una herramienta más confiable en el futuro para poder tomar decisiones estrategias a nivel zonal, regional e incluso a nivel país.

Hasta este punto de la tesis se analizaron los efectos ambientales (A), genéticos (G) las interacciones (G\*A) para el rendimiento (Capítulo 4), el llenado de grano (Capítulo 5), la calidad (Capítulo 6) y los componentes que definen a cada uno de ellos de manera separada. La integración entre todas estas variables se analizarán en el siguiente capítulo de discusión general

## CAPITULO 7 DISCUSIÓN GENERAL

### 7.1. IMPACTO DE LA DISPONIBILIDAD DE NITROGENO SOBRE LA FENOLOGIA

Como se discutió en el capítulo 3 la variación del ciclo de cultivo a espigazón entre las localidades y los años evaluados fue debido principalmente a diferencias en la temperatura media durante el ciclo del cultivo, confirmando que la temperatura y el fotoperíodo son los principales determinantes de las modificaciones en el ciclo de cultivo de trigo (Botwright *et al.*, 2001; Gastal *et al.*, 1992 y Ludlow & Muchow, 1990). Por otro lado el impacto de la fertilización inicial (N1) sobre esta etapa fenológica fue pequeño y prácticamente despreciable en términos agronómicos, en línea con los resultados obtenidos por Guarda *et al.* (2004), en tanto que la fertilización foliar, como era previsible, tampoco modificó de manera visible la fenología del cultivo, tal lo mostrado por Borghi *et al.* (1997).

Los tratamientos de fertilización tanto inicial como foliar, no provocaron ninguna modificación sobre la duración del llenado de grano, lo que concuerda con los resultados de Altenbach *et al.*, 2003. Así, las diferencias encontradas en la duración del llenado fueron debidas a diferencias genéticas (Przulj & Mladenov 1999; Talbert *et al.*, 2001) y a efectos de temperatura, donde a mayor temperatura media menor duración del llenado de granos (Panozzo & Eagles, 1990; wrightley *et al.*, 1994; Calderini *et al.*, 2001; Wardlaw, 2002).

### 7.2. DISPONIBILIDAD DE NITROGENO, EL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

Como se analizó en el capítulo 4 el rendimiento fue positivamente afectado por la fertilización nitrogenada inicial (Fig. 4.2 –ver Cap 4-), también se discutió que las modificaciones en rendimientos fueron explicadas principalmente por variaciones en el número de grano por superficie, más que por el peso de los granos (Fig. 4.7 –ver Cap 4-). Este incremento en el NG alcanzado a través de la fertilización inicial, fue asociado a un mayor número de macollos fértiles, que derivaron en un mayor número de espigas por unidad de superficie (Fig. 4.9 -ver Cap 4-). Estos resultados muestran que el NE es un componente del NG que responde a la fertilización nitrogenada tal como lo proponen Salvagiotti & Miralles, 2008, sugiriendo que el nitrógeno es un nutriente esencial para mantener la fertilidad de macollos previamente iniciados.

Por el contrario y en línea con los resultados de Abbate *et al.*, 1995; Fischer, 1993 y Salvagiotti & Miralles, 2008, el componente número de grano por espiga no respondió significativamente a la fertilización nitrogenada, lo que explica la baja asociación con el NG (Fig. 4.9 –ver Cap 4-).

Mantener una alta tasa de crecimiento del cultivo en etapas previas a la antesis es esencial para aumentar el NG a cosecha (Fischer, 1993; González *et al.*, 2005). En este sentido, la fertilización inicial logró elevar la tasa de crecimiento del cultivo en pre antesis, debido a que como se mencionó anteriormente el ciclo de cultivo a espigazon no fue modificado de manera significativa pero si se incrementó la biomasa producida durante este período (Tabla 7.1), debido a incrementos de ambos sub componentes

(EUR y de la RI acum pre antesis -ver Cap 4-), coincidiendo con los resultados de Caviglia & Sadras, 2001; Fischer, 1993 y Salvagiotti & Miralles, 2008.

Tabla 7.1: Biomasa en antesis (BIOM ANT –g/m<sup>2</sup>), número de espigas por superficie (NE –espigas/m<sup>2</sup>) y número de granos por espigas (NG/NE granos/espigas) para los tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1), para las dos localidades de M JUAREZ y PERGAMINO en los dos años de evaluación (2006 y 2007)

N	M JUAREZ			PERGAMINO		
	BIOM ANT	NE	NG/NE	BIOM ANT	NE	NG/NE
2006						
N0-0	694	421	26	901	588	23
N0-1		426	27		587	23
N1-0	917	590	26	1034	619	25
N1-1		558	28		589	24
2007						
N0-0	760	477	26	872	623	25
N0-1		482	28		618	25
N1-0	901	560	31	921	662	24
N1-1		556	30		658	25

La fertilización foliar en antesis no modificó el rendimiento, ya que no se detectaron modificaciones en ninguno de sus dos componentes numéricos que lo definen (NG y PMG -ver Cap 4-). Sin embargo, la fertilización inicial si bien aumentó el rendimiento promedio de las variedades, cuando estas fueron agrupadas de acuerdo a los grupos de calidad pre definidos, no se observaron diferencias significativas entre grupos lo que lleva a rechazar la hipótesis 1) “*Aquellos cultivares pre clasificado como de baja calidad (GC3) presentarán mayor potencial de rendimiento que los pre clasificados como de mayor calidad (GC1)*”.

En el capítulo 4 se demostró que la fertilización nitrogenada provocó aumentos importantes en el número de granos por unidad de área lo que implica un aumento en el número de destinos iniciados, sugiriendo la posibilidad de colimitancia fuente:destino para los granos individuales. Sin embargo, los resultados del capítulo 5 mostraron que la disponibilidad de nitrógeno no tuvo efecto significativo sobre peso de los granos ni sobre los componentes fisiológicos que lo determinan (tasa y duración) De este modo, se rechaza la hipótesis 2) que indicaba que “*Aumentos en la disponibilidad de nitrógeno se traduce en aumentos en el peso de los granos en los cultivares de de menor calidad (GC3) debido a su mayor colimitancia fuente:destino, dicho aumento estará mediado por la tasa más que por la duración de llenado de granos*”.

### 7.3. CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD DE NITROGENO Y SU IMPACTO SOBRE EL CONTENIDO DE PROTEINA EN LOS GRANOS

El porcentaje de proteína en los granos es uno de los más importantes parámetros que se consideran en la comercialización del cultivo, ya que puede ser considerado como parámetro de calidad tanto comercial como industrial y además tiene influencia directa sobre varios parámetros de calidad industrial (Randall *et al.*, 1990).

Los resultados obtenidos en esta tesis y que fueron especialmente analizados en el capítulo 6 (Tabla 6.1), mostraron que el porcentaje de proteína de los granos (PROT -

%) registró diferencias significativas tanto entre cultivares, como entre tratamientos de fertilización.

Además del ambiente, la constitución genética de los materiales tiene una fuerte influencia sobre el contenido de proteína de los granos de trigo como fue observado tanto en estudios internacionales (Peña *et al.*, 1998; Dubcovsky *et al.*, 1998, Otteson *et al.*, 2008), como nacionales (Cuniberti *et al.*, 2003; Mortarini *et al.*, 2004; Fraschina *et al.*, 2007 y Abbate *et al.*, 2008). Por ello no es casual que en general se hayan observado diferencias entre cultivares los cuales fueron elegidos por su diferencia en cuanto a la calidad. Sin embargo, como fue descrito a lo largo de los capítulos de la tesis, el manejo nutricional y el ambiente pueden alterar el orden de jerarquía de clasificación de los cultivares en cuanto a los parámetros de la calidad.

En cuanto al impacto de la fertilización, si bien en ambas localidades los tratamientos de fertilización incrementaron los porcentajes de proteína respecto del testigo, la respuesta a la fertilización, dentro de cada localidad fue mayor cuando la disponibilidad de nitratos en el suelo también fue más alta (año 2007), logrando incrementos de más de 1 punto en el contenido de proteína en los granos. Calvo *et al.*, 2006 postulan que en situaciones de baja disponibilidad de N, el agregado de este mineral se destina principalmente a la generación del rendimiento, mientras que los niveles de proteína en grano no se modifican o eventualmente disminuyen en caso que exista un efecto de dilución de la proteína. Sin embargo, el mismo autor describe que en situaciones de disponibilidad media, el agregado de N incrementa simultáneamente los rendimientos y la proteína; tal como ocurrió en Marcos Juárez en ambos años y en Pergamino en el año 2006, mientras que frente a alta disponibilidad de N la fertilización con este nutriente provoca solamente un efecto sobre la concentración de proteína en grano, en línea con lo observado en Pergamino en el año 2007.

No sólo se encontró diferencias entre cultivares en cuanto al porcentaje promedio de proteína, sino también una respuesta diferencial (interacción) de los cultivares a la fertilización inicial, concordando con otras evidencias de la literatura (Brown *et al.*, 2005; Labuschagne *et al.*, 2006; Pierre *et al.*, 2008 y Otteson *et al.* 2008), quienes también encontraron respuesta diferencial de los cultivares frente a los tratamientos de fertilización.

En cuanto a la aplicación de nitrógeno en anthesis vía foliar, debido al momento en que se aplica este tipo de tecnología, se reconoce que su efecto es principalmente asociado a un aumento en la concentración de proteína en granos (Gooding & Davies 1997; Brown *et al.*, 2005 y Calvo *et al.*, 2006). Los resultados de esta tesis mostraron que la fertilización foliar incrementó el porcentaje de proteína en la mayoría de los casos, respecto de la fertilización inicial, aunque se observó una mayor respuesta de este manejo cuando los porcentajes de proteína correspondientes a la fertilización inicial fueron bajos (Fig. 6.2, cap 6), tal lo descrito por Bly & Woodard 2003 y Lloveras *et al.*, 2001. Teniendo en cuenta que con el manejo nutricional se incrementó el porcentaje de proteína sin modificar el peso final de los granos, como fue descrito anteriormente, es posible concluir que la aplicación de nitrógeno determinó cambios en la composición del grano sin modificar los parámetros que definen el peso. Esto sugiere que el cultivo de trigo en general y los cultivares utilizados en particular, no presentan limitaciones por fuente tal como fue descrito anteriormente.

Panozzo & Eagles, (1999) y Brown *et al.* (2005), mostraron que la transferencia de nitrógeno al grano es menos afectada por altas temperaturas durante el llenado, que la acumulación de almidón, lo que origina una correlación negativa entre el peso y

contenido de proteína de los granos. Esta observación fue confirmada parcialmente en esta tesis ya que en Marcos Juárez la proteína en el grano fue mayor en el año 2006 (año de mayor temperatura media durante el llenado) año en que los pesos de los granos fueron menores. En Pergamino por el contrario, los granos fueron más pesados y además tuvieron mayor porcentaje de proteína en el año 2007 (año de menor temperatura media durante el llenado) debido posiblemente a la mayor disponibilidad de nitratos en el suelo a la siembra en dicho año experimental. Estos resultados sugerirían que la mayor disponibilidad de nitrógeno en el cultivo permitió un alto porcentaje de proteína aún cuando el rendimiento haya sido elevado.

#### 7.4. ESTABILIDAD DE VARIEDADES CON DIFERENTE APTITUD PANADERA

En esta tesis se demostró que para la mayoría de los parámetros de calidad comercial e industrial analizados individualmente, tales como PH, PROT, GLH, W y Vol. (ver Capítulo 6) las variedades pertenecientes a un determinado grupo de calidad se comportaron de manera distinta según el ambiente, en concordancia con los resultados de Mortarini *et al.* (2004), Frascina *et al.* (2007) y Abbate *et al.* (2008a).

Sin embargo, la clasificación general de los GC muestra cierta estabilidad entre los grupos extremos GC1 y GC3 ya que en términos generales distintas evidencias de la literatura (Mortarini *et al.*, 2004) demostraron que existe consistencia en el comportamiento de estos grupos ya que los genotipos clasificados dentro del GC1 como de buena calidad en un rango amplio de ambientes, mientras que los del GC3 presentan un comportamiento pobre en términos de calidad. Sin embargo, una proporción de los materiales clasificados como dentro del GC2 presenta una gran plasticidad, pudiendo comportarse como GC1 o GC3 dependiendo del ambiente y de la oferta nutricional (Alzueta *et al.*, 2008).

La asociación de distintos parámetros de calidad cuando fueron vinculados entre sí, con el objetivo de establecer relaciones funcionales entre ellos, por ejemplo W vs. PROT, W vs. GLH, W vs. P/L o Vol. vs. W (Ver Capítulo 6) mostró una tendencia consistente a separar las variedades del GC1, de las variedades del GC2 y del GC3, de modo que las variedades de GC1 en general mostraron atributos de calidad más favorables que las de los otros 2 grupos. Sin embargo, las variedades de GC2 y GC3 mostraron resultados intermedios y cambiantes entre ellos, y en algunos casos se confundieron con las del GC1 en concordancia con los resultados obtenidos por Mortarini *et al.* (2004) y Alzueta *et al.* (2008). De esta manera, el grupo de genotipos tipificado como de mayor calidad (GC1) parece mantenerse en dicha categoría en un amplio rango de ambientes, sin embargo, los grupos intermedios GC2 y GC3 parecen ser más influenciados por el ambiente al que se exponen de modo que los parámetros que definen la calidad pueden alterarse por cambios en dicho ambiente (ejemplo manejo nutricional) determinando que un GC2 pueda empeorar pasando a un GC3 o viceversa.

Cuando se consideró el Ical, el que considera distintos parámetros de la calidad comercial e industrial, discriminando por grupo de calidad se encontró que este fue mayor para el GC1, seguido por GC2 y por el GC3, manteniéndose el ranking en los distintos años y localidades de evaluación, tal como fue mostrado por Frascina *et al.* (2007), quienes no detectaron interacción GC\*A estadísticamente significativa. Sin embargo no ocurrió lo mismo con las variedades dentro de cada GC, ya que variedades pertenecientes al mismo GC, bajo ciertas condiciones ambientales, principalmente LOC

y AÑO, mostraron valores de Ical muy distintos a tal punto que hubo casos donde una de las variedades de GC3 logró mayor Ical que una de las variedades de GC1 (Tabla 6.2 –ver Cap 6-). Estos resultados muestran que si bien, en el conjunto del agrupamiento, los GC se ordenan de acuerdo a su clasificación, las variedades que los conforman pueden tener distinto grado de estabilidad en cuanto a su calidad (Abbate *et al.*, 2008) lo que sugiere que la clasificación por GC debería considerar como una sub-clasificación adicional el grado de estabilidad/inestabilidad de las variedades que lo conforman. De ese modo, será posible tener una mayor grado de predictibilidad y/o incertidumbre dependiendo de los cultivares que conforman dichos GC. Una posibilidad es asignar a cada material un índice que determine el grado de estabilidad/inestabilidad para los atributos que integran la calidad o usar dicha clasificación considerando el Ical de modo que cada GC sea acompañado de un sub-índice que muestre el grado de estabilidad o inestabilidad en función de los materiales que lo conforman. Este índice podría ser acompañado por otro índice que indique la potencialidad del material en cuanto al rendimiento alcanzado, por ejemplo teniendo en cuenta los resultados de la RET. Así, sería posible caracterizar a los materiales en forma regional teniendo en cuenta su potencial de rendimiento y su estabilidad para los atributos de calidad.

Es posible concluir a partir de los resultados obtenidos en el marco de esta tesis que (i) las variedades con diferente aptitud panadera no fueron estables en cuanto a los parámetros que definen la calidad comercial e industrial cuando estos fueron considerados de manera individual y (ii) que dicha falta de estabilidad de los cultivares no fue provocada principalmente por el manejo nutricional, sino por efectos del ambiente como el año y la localidad de evaluación.

Teniendo en cuenta lo descrito en esta sección y los resultados del capítulo 6 de esta tesis es posible aceptar parcialmente la hipótesis planteada 3 “*Existe interacción genotipo por ambiente sobre los parámetros de calidad comercial e industrial que son utilizados para caracterizar las variedades de trigo pan. De este modo, un material caracterizado como perteneciente a un grupo determinado de calidad, podría cambiar de grupo asociado a cambios en el manejo nutricional del cultivo*”.

La parcialidad de la aceptación de la hipótesis se debe a que, si bien existió interacción G\*A para la mayoría de los caracteres que definen la calidad, provocando que variedades caracterizadas como perteneciente a un determinado GC pueden cambiar de grupo, estos cambios estuvieron asociados principalmente a factores ambientales vinculados a la localidad y el año de evaluación, mientras que el manejo de la disponibilidad de nitrógeno fue el factor que menos impactó sobre la mayoría de los parámetros.

La cuarta hipótesis planteada en esta tesis: “*Los cambios en el manejo nutricional modifican diferencialmente los parámetros de calidad comercial e industrial. De este modo, aumentos en la oferta de nitrógeno por encima de los niveles de saturación de respuesta a rendimiento incrementan el contenido de proteína en los granos “aspecto beneficioso”, determinando mayores valores de elasticidad de la masa (L) sin que se esperen mayores modificaciones en el valor de tenacidad (P)*” fue parcialmente aceptada ya que una parte de dicha hipótesis fue rechazada.

Como se demostró anteriormente el manejo nutricional modificó significativa y diferencialmente los parámetros de calidad comercial e industrial lo que permite aceptar la primer parte de la hipótesis. De hecho el porcentaje de proteína fue fuertemente modificado por el manejo del nitrógeno (ver Cap. 6), determinando mayores valores de

elasticidad (L), sin que se produzcan grandes modificaciones en el valor (P), disminuyendo la relación P/L e incrementado la fuerza panadera (W) (Fig. 6.13, cap 6). Otras evidencias de la literatura (Borghetti *et al.*, 1997 y Lopez-Bellido *et al.*, 1998) también hallaron que la proteína fue correlacionada con los parámetros del alveograma fuerza de la masa (W) y la extensibilidad (L), sin que la aplicación de nitrógeno afectara la tenacidad (P). Es decir el valor P fue menos sensible al ambiente nitrogenado, tal como fue sugerido por Llovera *et al.* (1991) y recientemente demostrado por Alzueta *et al.* (2008).

Por otro lado, los resultados obtenidos llevan a rechazar la segunda parte de la hipótesis planteada, donde se hipotetizaba que el manejo nutricional produciría una reducción del volumen de pan asociado a los mayores incrementos en el parámetro L (extensibilidad) y a la reducción en la relación P/L, ya que los resultados de esta investigación demuestran que el efecto del manejo nutricional sobre el Vol., fue nulo y en algunos casos tendió a aumentarlo levemente (Fig. 6.14, cap 6), coincidiendo con los resultados obtenidos por Souza *et al.* (2004). Estos autores, utilizando germoplasma de trigos blandos y duros, incrementaron en promedio un 5 % el volumen de pan con tratamientos de fertilización inicial. Como se comentó anteriormente, con el manejo nutricional se pudo modificar la extensibilidad, sin grandes modificaciones en la tenacidad, por lo que los incrementos en la fuerza panadera (W) se debieron principalmente a incrementos en la extensibilidad (L) y no tanto a la tenacidad (P), lo que explicaría la positiva correlación entre volumen de pan y W encontrados en ésta tesis en concordancia con Bettge *et al.* (1989), Addo *et al.* (1990) y Espitia-Rangel *et al.*, (2004), quienes también han encontrado alta correlación entre volumen de pan y la fuerza panadera. Bettge *et al.* (1989) argumenta que en ocasiones donde la elasticidad de las masas es excesivamente alta, se requiere aumentar la extensibilidad para compensar los altos valores de elasticidad y lograr mayores volúmenes de pan.

A partir de la hipótesis 4 podría sugerirse que el impacto ejercido por el manejo nutricional sobre los parámetros de calidad comercial e industrial, si bien es esperable en los distintos grupos de calidad explorados, se promovería en mayor grado en los materiales de menor aptitud panadera. Esta especulación es rechazada ya que los resultados mostraron que para la mayoría de los parámetros (PH, PROT, GLH, P, L y Vol.) no se detectó interacción GC\*N significativa, es decir que los distintos grupos de calidad no respondieron de manera distinta a los tratamientos de fertilización. De hecho, el único parámetro analizado para el cual el GC1 mostró una mayor respuesta al manejo nutricional, respecto a los GC2 y GC3 en ese orden fue la fuerza panadera (W). De este modo, y tal como fue indicado tempranamente en esta sección, la inestabilidad de los materiales descrita anteriormente no fue provocada por el manejo nutricional, sino por efectos del ambiente como son, el año y la localidad de evaluación. Esto refuerza la sugerencia acerca de la necesidad de definir regiones de producción para definir calidad teniendo en cuenta que localidad y el año fueron las variables de mayor impacto en los cambios de ranking en la calidad de los materiales.

## 7.5. RELACION RENDIMIENTO CALIDAD

Sin duda el objetivo de todo plan de mejora está dirigido a promover la calidad el cultivo de trigo manteniendo altos niveles de rendimiento de modo que pueda combinar calidad y potencial de producción. Sin embargo, numerosas evidencias (Lopez-Bellido *et al.*, 1998; Stewart & Dwyer, 1990; Brancourt-Hulmel *et al.*, 2003)

han mostrado una relación negativa entre rendimiento y calidad principalmente debida a un efecto de dilución de la proteína como consecuencia de aumentos en los rendimientos (Calderini *et al.*, 1999; Le Buanec, 1999). Esta relación negativa podría minimizarse cuando al rendimiento ha sido incrementado con tratamientos que consideren altos niveles de nitrógeno, especialmente cuando la respuesta del nitrógeno para incrementar rendimiento ha sido saturada (Calvo *et al.*, 2006). Los resultados de esta tesis no mostraron asociación entre el volumen de pan y el rendimiento, ya que para un amplio rango de valores de rendimientos se obtuvo un variado rango de valores de volumen de pan que iba de baja a alta capacidad de panificación, independientemente del rendimiento obtenido (Fig. 7.1a). Sin embargo, si en la Fig. 7.1a se traza una línea de frontera los resultados muestran que pueden sostenerse altos valores de Vol. (>800 cc) con altos niveles de rendimiento para los ambientes analizados, i.e 5500 Kg/ha seleccionando adecuadamente el genotipo y el ambiente (Fig. 7.1a). A partir de dicho valor de rendimiento resultó difícil sostener buena calidad, ya que el volumen de pan cae a medida que aumenta el rendimiento (Fig. 7.1a).

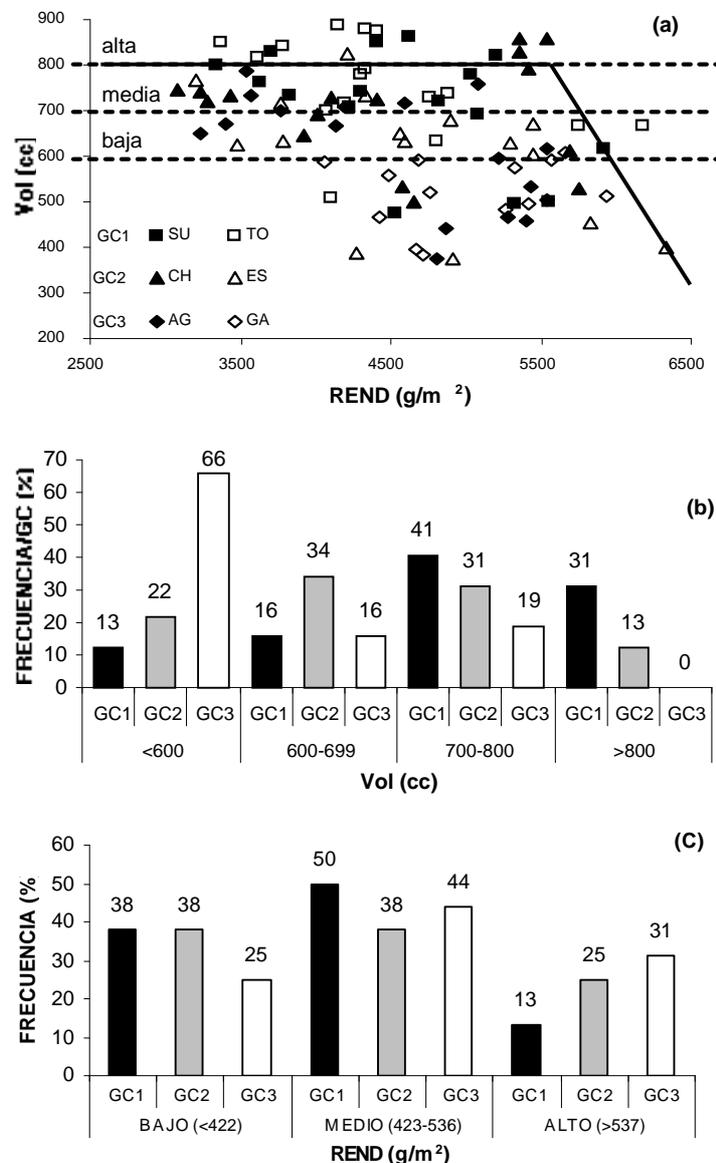


Figura 7.1: a) Volumen de pan (Vol. -cc) en función del rendimiento (REND - g/m<sup>2</sup>), cada punto es el promedio de tres repeticiones para cada localidad, año,

tratamiento de fertilización y cada variedad (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (△) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3, línea sólida indica la frontera para máximo Vol. b) y c) frecuencia de datos de los distintos grupos de calidad (GC) para los distintos rangos de volumen de pan (Vol. –cc) y de rendimiento (REND  $\text{g/m}^2$ ) respectivamente. Los números sobre las barras indican los valores de la frecuencia obtenidos.

Desde el punto de vista del agrupamiento por GC y considerando todo el set de datos obtenidos, se observó que la mayoría de los valores correspondientes al GC3 (66%) se encontraron dentro del rango de menor calidad (<600 cc), no encontrándose datos dentro de rango de alta calidad (>800 Fig. (Fig. 7.1b). Por el contrario los datos del GC1 se ubicaron en su mayoría (70%) en el rango de media a alta calidad (>700 cc), mientras que en el rango de menor calidad sólo se observó un 13 % de los datos. Los datos del GC2 se ubicaron en su mayoría (65%) dentro del rango de calidad baja a media (600 a 800 cc) (Fig. 7.1b).

En cuanto al rendimiento, los grupos de calidad mostraron un comportamiento contrario a lo observado con el volumen de pan, donde se puede ver que para el rango de datos considerados de alto rendimiento (>537  $\text{g/m}^2$ ), el GC3 (31%) mostró mayor frecuencia de datos respecto al GC2 (25 %) y al GC1 (13%), es decir que, si bien es factible lograr altos rendimientos con cultivares de distintos grupos de calidad, es más probable lograrlo con los cultivares del GC3 que con los del GC2 y GC1, respectivamente (Fig. 7c).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y lo mostrado por la figura 7.1, se reafirma el rechazo de la primera hipótesis planteadas ya que considerando la combinación de variedades y los ambientes (AÑO LOC y N), los GC2 y 3 mostraron una mayor frecuencia para lograr altos rendimientos y por el contrario la menor frecuencia para lograr alta calidad respecto del GC1. Sin embargo, existen combinaciones particulares de ambientes y genotipos donde es posible lograr rendimientos atractivos combinados con alta calidad por lo que no necesariamente existe una completa compensación entre calidad y rendimiento.

En términos de aportes al conocimiento a partir de los resultados obtenidos en esta tesis, puede resaltarse la cuantificación de los cambios en los parámetros de calidad industrial en respuesta al manejo nutricional vinculados con el ambiente no manejable y la interacción con el genotipo (i.e G\*A).

La evaluación de la estabilidad de variedades comerciales de trigo expuestas a diferentes condiciones ambientales y nutricionales previamente categorizadas como pertenecientes a una determinada aptitud panadera, en cuanto a los parámetros de calidad y a un índice de calidad calculado a través de estos parámetros, es otro de los aspectos novedosos en este trabajo.

Si bien distintos estudios han evaluado la respuesta diferencial de los cultivares de trigo a los tratamientos de fertilización, es decir la interacción genotipo por disponibilidad de nitrógeno, sobre los distintos parámetros de calidad tales como, Borghi *et al.* (1997), Boris & Sveenjok (2006), Souza *et al.* (2004), no se han conducido estudios que hayan evaluado la respuesta diferencial de cultivares perteneciente a un mismo grupo de aptitud panadera, al manejo nutricional para los distintos parámetros de calidad comercial e industrial.

## 7.6. FUTURAS INVESTIGACIONES

Tal como se indicó anteriormente, uno de los parámetros actualmente utilizados en Argentina y de mayor importancia para ponderar la calidad es el Índice de calidad. Sin embargo este índice está integrado por siete parámetros, muchos de los cuales mostraron ser muy estables ante las distintas condiciones ambientales, mientras que otros mostraron ser muy variables. Por ejemplo, atributos como el peso hectolitrico mostró ser un atributo estable por lo que su incidencia dentro del índice de calidad es de poca relevancia. Otros atributos muestran una estrecha correlación entre si como por ejemplo el porcentaje de proteína y el porcentaje de gluten húmedo por lo que no sería necesario incluir ambos atributos en dicho índice de calidad. Los resultados de este trabajo mostraron que ca. 70% de los cambios en el volumen de pan (Vol) fueron explicados por cambios en el Ical. Sin embargo, para un mismo Ical se evidencian variaciones importantes en el Vol. Esto se puede observar en la Fig. 7.2 donde para un Ical de aproximado a 50, se obtuvieron valores de Vol. que van desde una categoría de muy baja calidad (<600 cc) hasta valores de alta calidad (> 800cc).

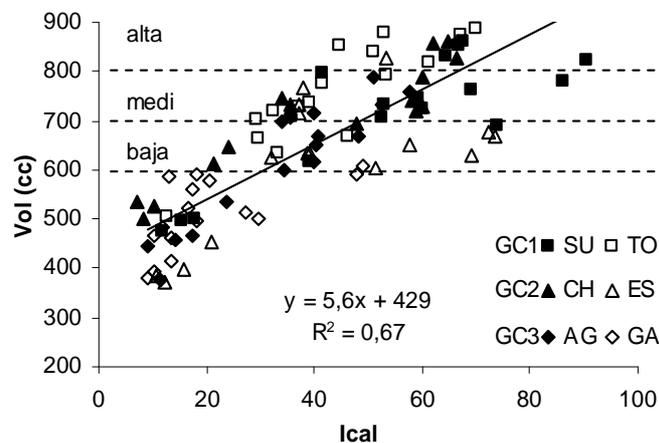


Figura 7.2: Volumen de pan (Vol. –cc) en función del índice de calidad (Ical). Cada punto es el promedio de tres repeticiones para cada, localidad año tratamiento de fertilización y cada variedad: (■) SU y (□) TO del grupo de calidad 1, (▲) CH y (Δ) ES del grupo de calidad 2 y (◇) AG y (◆) GA del grupo de calidad 3. Líneas punteadas horizontales representa los límites inferiores para que el Vol. sea considerado de baja, media o alta calidad panadera (Cuniberti 2002).

A partir de los resultados de esta tesis surge que el índice de calidad contiene una cantidad de parámetros que implican un costo para su determinación y que su inclusión no aportaría una mayor precisión en la caracterización de calidad panadera.

Se propone a partir de los resultados de esta tesis, un índice simplificado que no contenga los parámetros de PH y la PROT, debido a que no muestran diferencias respecto del Ical actualmente en uso ya que tal como se muestra en la Fig. 7.3 el ajuste de la regresión no difirió significativamente de la recta 1:1 ( $R^2 = 0,98$ ,  $p < 0,001$  Fig. 7.3). Si bien el Ical simplificado propuesto representa en gran medida al índice de calidad propuesto por el Comité de Cereales de Invierno, se debería considerar a futuro el uso de métodos estadísticos, como es el stepwise, para obtener un modelo que considere sólo aquellos parámetros que mejoran la explicación de la calidad industrial.

Esta propuesta de cualquier manera, debería ser analizada en un rango de ambientes más amplio que los que se analizaron en este trabajo de modo de poder darle una mayor validez a dicha especulación.

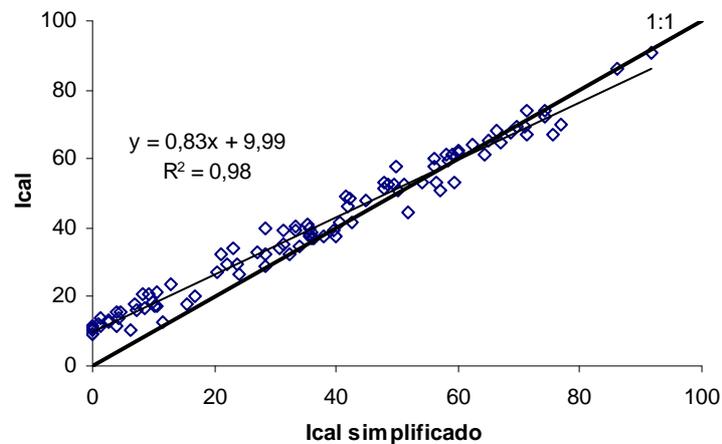


Figura 7.3: índice de calidad panadera (Ical) en función del índice de calidad simplificado (Ical simplificado).

Otro punto en el que debería profundizarse estudios a futuro sobre la base de los resultados de esta tesis, está vinculado con el parámetro proteína el cual si bien presenta buena correlación con varios de los parámetros de calidad industrial, explica parcialmente la variabilidad de las propiedades reológicas y por ende de la calidad panadera. Una tipificación y cuantificación de los distintos tipos de proteínas que conforman el gluten, posiblemente mejoren la explicación de las variaciones en calidad y de los parámetros que la definen.

El contenido de gliadinas y gluteninas son las principales proteínas determinantes de la extensibilidad y de la elasticidad de la masa, respectivamente: y cuya combinación proporcional (i.e gliadinas/gluteninas) determinan la aptitud panadera de las harinas (Daniel & Tribonii, 2001; Nicolas *et al.*, 1998; Tohidfar *et al.*, 2004).

Actualmente se dispone de información nacional e internacional que caracteriza genéticamente la mayoría de variedades de trigo, por la presencia de alelos de gluteninas de alto y bajo peso molecular y de gliadinas (Tombetta *et al.*, 1990; Branlard *et al.*, 2001; Wallace *et al.*, 2003; Cuniberti *et al.*, 2004). Sin embargo, esta información también explica parcialmente la variabilidad observada en la aptitud industrial de las harinas. Por lo que otra manera de mejorar la clasificación de las variedades por su aptitud panadera sería creando un índice de calidad que además de los parámetros reológico y de calidad comercial involucre características genéticas de cada cultivar.

## 7.7. CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos en esta tesis y discutidos en la sección precedente se puede concluir que:

Existió un efecto compensatorio rendimiento-calidad, sólo cuando se consideró el efecto variedad. Sin embargo, en el contexto general de los datos abarcando todas las variedades y los ambientes explorados (años, localidad y manejo nutricional), fue posible obtener altos rindes combinados con una buena calidad panadera, indicando que es posible combinar ambos atributos en algunos ambientes cuando se realiza un manejo nutricional adecuado de dichos genotipos.

La fertilización nitrogenada no modificó significativamente el peso final de los granos, ni a sus componentes que lo definen (tasa y duración).

Existe interacción G\*A para la mayoría de los caracteres que definen la calidad, provocando que variedades caracterizadas como perteneciente a un determinado GC se movilen de grupo de tipificación pasando hacia mejores o peores clasificaciones. Estos cambios en la movilidad de GC estuvieron asociados principalmente a factores ambientales relacionados las localidades y año de evaluación, mientras que el manejo de la disponibilidad de nitrógeno fue el factor que menos impactó sobre en la mayoría de los parámetros.

El manejo nutricional a pesar de no representar el efecto principal de los cambios en los parámetros reológicos que definen la calidad y la movilidad entre los GC, modificó significativamente y diferencialmente los parámetros de calidad comercial e industrial dentro de cada uno de los grupos de calidad y ambientes explorados.

Para la mayoría de los parámetros, no se detectó interacción GC\*N significativa, es decir que los distintos grupos de calidad no respondieron de manera distinta a los tratamientos de fertilización, el único parámetro analizado para el cual el GC1 tuvo mayor respuesta al manejo nutricional, respecto al GC2 y del GC3 en ese orden fue la fuerza panadera (W).

## BIBLIOGRAFIA

Abbate P., Andrade F., Culot J. (1995). The effect of radiation; nitrogen on number of grains in wheat. *Journal of Agricultural Science*. Cambridge, 124: 351-360.

Abbate P., Gutheim F., Polidoro O., Milisich H., Cuniberti M. (2008). Cuantificación del Efecto Cultivar, la Localidad, el Año y sus Interacciones, Sobre la Calidad y el Rendimiento de Trigo a Través de la Región Pampeana Argentina. *Actas del VII Congreso Nacional de Trigo* (Santa Rosa, La Pampa).

Abbate P., Lorenzo M., Cuniberti M., Loewy T., Gutheim F., Fraschina J. (2008). Calidad Comercial, Molinera y Panadera de Trigo: Efecto del Cultivar, la Localidad y su Interacción, y Evaluación de la Proteína como Indicador de la Calidad. *Actas del VII Congreso Nacional de Trigo* (Santa Rosa, La Pampa).

Acreche M and Slafer G. (2006). Grain weight response to increases in number of grains in wheat in a Mediterranean area. *Field Crops Research* 98, 52–59.

Addo K; Coahram D and. Pomeranz Y. (1990). A New Parameter Related to Loaf Volume Based on the First Derivative of the Alveograph Curve. *Cereal Chem.* 67(1):64-69.

Altenbach S., DuPont F., Kothari K., Chan R., Jonson E. (2003). Temperature, water and fertiliser influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. *Journal of Cereals Science*, 37, 9-20.

Alzueta I., Abeledo G., Miralles D. (2008). Impacto de la Fertilización Nitrogenada y el Momento de Aplicación Sobre la Calidad Comercial y Reológica en Trigo Pan (*Triticum aestivum* L.). *Actas del VII Congreso Nacional de Trigo* (Santa Rosa, La Pampa).

Anderberg, M. R. (1973) *Cluster Analysis for Applications*. Academic Press, New York, NY.

Argentina. Instituto Nacional Tecnología Agropecuaria. Centro de Investigación de Recursos Naturales. (1972). Carta de suelos de la República Argentina. Hoja Pergamino. (3360-32). Buenos Aires. INTA. 106 pp.

Arisnabarreta S & Miralles, DJ (2004) The influence of fertilizer nitrogen application on development and number of reproductive primordia in field grown two- and six-rowed barleys. (*Australian Journal of Agricultural Res.* 55: 357-366) ISSN 0004-9409.

Austin R .(1999). Yield of Wheat in the United Kingdom: Recent Advances and Prospects. *Published in Crop Sci.* 39:1604–1610.

Barneix A., Guitman M. (1993). leaf regulation of the nitrogen concentration in the grain of wheat plants. *J. Exp. Bot.* 44, 1607-1612.

Bassett, L.M., R.E. Allan & G.L. Rubenthaler,. (1989). Genotype x environment interactions on soft white winter wheat quality. *Agron J* 81: 955-960.

Bettge A., Rubenthaler G., and Pomeranz Y. (1989). Alveograph Algorithms to Predict Functional Properties of Wheat in Bread and Cookie Baking. *Cereal Chem.* 66(2):81-86.

Bindi, M., Sinclair, T.R., Harrison, J. (1999). Analysis of seed growth by linear increase in harvest index. *CropSci.* 39, 486–493.

Blumenthal, CW Wrigley, IL Batey and EWR Barlow,. (1994). The Heat-Shock Response Relevant to Molecular and Structural Changes in Wheat Yield and Quality. *Australian Journal of Plant Physiology* 21(6) 901 – 909.

Bly A. and Woodard H. (2003). Foliar Nitrogen Application Timing Influence on Grain Yield and Protein Concentration of Hard Red Winter and Spring Wheat. *Agron. J.* 95:335–338.

Borghini, B., M. Corbellini, C. Minoia, M. Palumbo, N. Di Fonzo & M. Perenzin, (1997). Effects of Mediterranean climate on wheat breadmaking quality. *Eur J Agron* 6: 145-154.

Boris-Varga, Zlatko Svecnjak.(2006). The effect of late-season urea spraying on grain yield and quality of winter wheat cultivars under low and high basal nitrogen fertilization. *Field Crops Research* 96, 125–132.

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 Res.* 86, 131–146.

Botwright T, Rebetzke G, Condon T, Richard R. (2001). The effect of Rht genotype and temperature on coleoptile growth and dry matter partitioning in young wheat seedlings. *Australian Journal of Plant Physiology* 28, 417–423.

Brancourt-Hulmel M, Doussinault G, Lecomte C, Be´rard P, Le Buanec B, Trottet M (2003) Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992. *Crop Sci* 43: 37–45.

Branlard G., M. Dardevet, R. Saccomano, F. Lagoutte and J. Gourdon, (2001). Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. *Euphytica* 119 pp 59-67.

Brdar M, Kraljević-Balalić M; Kobiljski B. (2008). The parameters of grain filling and yield components in common wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Cent. Eur. J. Biol.* 3(1), 75-82.

Brdar M., Kobiljski B., and Balalic M. (2006). Grain Filling Parameters and Yield Componets in Wheat. *Genetika*, Vol. 38, No. 3, 175-181.

Brooks A., Jenner C., and Aspinall D. (1982). Effect of Water deficit on endosperm starch granules and on grain physiology of wheat and barley. *Aust. J. Plant physiol.* 9, 423-436.

Brown B; Westcott M; Christensen N; Pan B and Stark. (2005). Nitrogen Management for Hard Wheat Protein Enhancement. A Pacific Northwest Extension Publication. Publication ID PNW 578.

Calderini D., Savin R., Abeledo G., Reynolds M., Slafer G.A. (2001). The importance of the period immediately preceding anthesis for grain weight determination in wheat. *Euphytica* 119, 199–204.

Calderini DF, Torres-Leon S and Slafer GA (1995). Consequences of wheat breeding on nitrogen and phosphorus yield, grain nitrogen and phosphorus concentration and associated traits. *Annals of Botany* 76, 315-322.

Calderini, D.F., Reynolds, M.P. and Slafer, G.A. (1999). Genetic gains in wheat yield and main physiological changes associated with them during the 20th century. En: *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. (Eds.: E.H. Satorre and G.A. Slafer), The Haworth Press, New York, pp. 351-377.

Calvo N; Echeverría H; Barbieri P y Rozas H. (2006). Nitrógeno y azufre en trigo: ¿Rendimiento y proteína?.XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo – Salta-Jujuy.

Carbajo, H.L., Gualati, A., Jensen, C. y Loewy, T. (2001). Áreas de cultivo. Capítulo I. págs.13 -15. En: *Trigo Candeal, Manual Técnico*. Editado por la Chacra Experimental Integrada Barrow (Convenio MAG y AI-INTA). 98 pp.

Carcova, J., Abeledo, G. y Lopez-Pereira, M. (2006). Análisis de la generación del rendimiento: Crecimiento, partición y componentes. In: Satorre, E., Benez Arnold, R., Slafer, G., De La Fuente, E., Miralles, D., Otegui, M. y Savin, R. *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía. pp 75-95.

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

Corbellini, M., M.G. Canevara, L. Mazza, M. Ciaffi, D. Lafiandra, L. Tozzi & B. Borghi, (1997). Effect of the duration and intensity of heat shock during grain filling on dry matter and protein accumulation, technological quality and protein composition in bread and durum wheat. *Aust J Plant Physiol* 24: 245-250.

Cossani M., Slafer G., Savin R. (2009). Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site. *Field Crops Research* 112, 205–213.

Cossani C. M., Slafer G, Savin R., (2011). Do barley and wheat (bread and durum) differ in grain weight stability through seasons and water–nitrogen treatments in a Mediterranean location? *Field Crops Research.* 121, 240–247

Cuniberti M. (2002). Propuesta de Clasificación del Trigo Argentino. [www.inta.gov.ar/ediciones/idia/cereales/trigo03](http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/cereales/trigo03).

Cuniberti M., Roth M., and Macritchie F. (2003). Protein composition-functionality relationships for a set of Argentinean wheats. *Cereal Chem.* 80:132-134.

Cuniberti, M., Riberi, L. Vanzetti, L., Nisi, M., Masiero, B., Helguera, M. (2004). Relación entre proteínas de reserva y la calidad industrial del trigo para distintos usos industriales. *Actas del VI Congreso Nacional de trigo* pp 304-305. Bahía Blanca octubre.

Daniel C. and Eugene Triboui. (2001), Effects of temperature and nitrogen nutrition on the accumulation of gliadins analysed by RP-HPLC. *Australian Journal of Plant Physiology* 28, 1197-1205.

Dubcovsky, J.; Echaide, M.; Antonelli, E.F. and Lukaszewski, A.J. (1998) Molecular characterization of two *Triticum speltoides* interstitial translocations carrying leaf rust and green bug resistance genes. *Crop Science*, vol. 38, no. 6, p. 1655-1660

Dupont F., Altenbach S. (2003). Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science* 38, 133–146.

[Espitia Rangel E.](#), [Villaseñor H.](#), [Peña R.](#), [Huerta J.](#), [Limón A.](#) (2004). End-use Quality of Mexican Bread Wheat For Rainfed Areas. II. Genetic Variability and Selection Criteria. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol 27 (1): 41-47.

[Espitia Rangel E.](#), [Peña R.](#), [Villaseñor H.](#), [Huerta-Espino J.](#), [Limón-Ortega A.](#) (2003). End-use quality of Mexican bread wheat varieties for rainfed areas. I. Cultivar comparison and variation causes. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol 26 (4): 249-256.

Everitt, B.S. (1974). *Cluster Analysis*, Heinemann Educational Books, London.

Falcón M., Terrile I., González F. (2008) Número de granos en trigo en condiciones potenciales: variabilidad en el coeficiente de fertilidad de espiga y en la duración de la encañazón en cultivares de alto rendimiento. VII Congreso Nacional de trigo, V Simposio Nacional de Cereales de Siembra otoño-invernal, I Encuentro del Mercosur.

Fischer, Aguilar, and laing. (1977). Post-Anthesis Sink Size in a High-yielding Dwarf Wheat: Yield Response to Grain Number. *Ausr. J. Agric. Res*, 28, 165-75.

Fischer, R.A. (1993). Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. II. Physiology of grain yield response. *Field Crops Res.* 33, 57–80.

Fraschina, J., Masiero, B., Gomez, D., Bainotti. C., Salines J., Formica. B., Donaire; G., and Cuniberti. M., (2007), Genotype by environment interaction of industrial quality parameters in Argentine bread wheat cultivars. *Actas de la primer conferencia Latinoamericana ICC 2007.* Rosario Argentina. pp 17.

Gastal, F., Belanger G., and Lemaire G. (1992). A model of the leaf extension rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature. *Annals of Botany* 70: 437-442.

Geleta B., Atak M., Baenziger P., Nelson L., Baltenesperger D., Eskridge K., Shipman M., and Shelton D. (2002). Seeding Rate and Genotype Effect on Agronomic Performance and End-Use Quality of Winter Wheat. *Crop Sci.* 42:827–832.

Gooding M; Gregory P; Ford K; Ruske R. (2007). Recovery of nitrogen from different sources following applications to winter wheat at and after anthesis. *Field Crops Research* 100. 143–154.

Gooding M Kettlewell P and Hocking T. (1991). Effects of urea alone or with fungicide on the yield and breadmaking quality of wheat when sprayed at flag leaf and ear emergence. *Journal of Agricultural Science* 117, pp. 149–155.

Gooding, M. J. y W. P. Davies. (1997). *Wheat Production and utilization. Systems, Quality and the Environment.* CAB International. 355 p.

Grausgruber H., Oberforster M., Werteker M., Ruckenbauer P., Vollmann J.(2000). Stability of quality traits in Austrian-grown winter wheats. *Field Crops Research*, 66, 257-267.

Graybosch R., C.J. Peterson, L.E. Hansen, D. Worrall, D.R. Shel ton, and A. Lukaszewski. (1993). Comparative flour quality and pro tein characteristics of 1BL/1RS and 1AL/1RS wheat-rye translocati on lines. *J. Cereal Sci.* 17:95–106.

Graybosch R. (2001). Uneasy Unions: Quality Effects of Rye Chromatin Transfers to Wheat. *Journal of Cereal Science* 33. 3–16.

Guarda G., Padovan S., Delogu G. (2004). Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *Europ. J. Agronomy* 21, 181–192.

Gupta PK, Balyan HS, Edwards KJ, Isaac P, Korzun V. (2002) Genetic mapping of 66 new microsatellite (SSR) loci in bread wheat. *Theor Appl Genet* 105:413-422.

Gupta R; Batey I and MacRitchie F. (1992). Relationships between protein composition an functional properties of Wheat flours. *Cereal Chemr* 69(2):125-131.

Hay, R.K. (1995). Harvest index: a review of its use in plantbreeding and crop physiology. *Ann. Appl. Biol.* 126, 197–216.

Jia Y, Fabre J, and Aussenac T. (1996). Effects of Growing Location on Response of Protein Polymerization to Increased Nitrogen Fertilization for the Common Wheat Cultivar Soissons: Relationship with Some Aspects of the Breadmaking Quality. *Cereal Chem.* 73(5):526-532.

Johansson E., (2002). Effect of two wheat genotypes and Swedish environment on falling number, amylase activities and protein concentration and composition. *Euphytica* 126 pp 143-149.

Kolderup, F. (1975). Effects of temperature, photoperiod and light quality on protein production in wheat grains. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 26: 583-592.

Labuschagne M.\*, Meintjes G, Groenewald F. (2006) The influence of different nitrogen treatments on the size distribution of protein fractions in hard and soft wheat. *Journal of Cereal Science* 43 315–321.

Le Baunec, B., (1999). Diversité géineque des variétés de blé tendre cultivées en france au cours du vingtième siècle. *Evolution Varietate, techniques et economiques.* C. R: Acad. Agric. Fr. 85, 37-53

Lerner, Juergen & Ulrik Brandes (2007). "Comparing Networks by their Group Structure with an application to acculturation networks", XXVII Sunbelt'07 Corfu, Greece May 1–6. [www.egoredes.net].

Liu L; He Z; Yan J; Zhang Y; Xia X; Peña R (2005). Allelic variations at the *Glu-1* and *Glu-3 loci*, presence of the 1B.1R translocation, and their effects on mixographic properties in Chinese bread wheats. *Euphytica* 142: 197-204.

Lloveras J; Lopez A; Ferran J; Espachs S and Solsona J. (2001). Bread-Making Wheat and Soil Nitrate as Affected by Nitrogen Fertilization in Irrigated Mediterranean Conditions. *Published in Agron. J.* 93:1183–1190.

Longnecker N & Robson A. (1994). Leaf Emergence of Spring Wheat Receiving Varying Nitrogen Supply at Different Stages of Development. *Annals of Botany* 74: 1-7.

Lopez-Bellido L., Fuentes M., Castillo J., Lopez-Garrido F. (1998). Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Research* , 57, .265–276.

López-Bellido L., López- Bellido R.J., Castillo J.E. and López-Bellido F.J. (2001). Effects of long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on bread-making quality of hard red spring wheat, *Field Crop Res.* 72, pp. 197–210.

Ludlow M., Muchow R. (1990). A Critical Evaluation of Traits for Improving Crop Yields in Water-Limited Environments. *Advances in Agronomy*. Vol. 43, 107-152.

Lukow O. & McVetty P. (1991). Effect of Cultivar and Environment on Quality Characteristics of Spring Wheat. *Cereal Chem* 68(6): 597-601.

Martre P; Porter J; Jamieson P and Tribou E. (2003). Modeling Grain Nitrogen Accumulation and Protein Composition to Understand the Sink/Source Regulations of Nitrogen Remobilization for Wheat. *Plant Physiology*, Vol. 133, pp.1959–1967.

Miralles D.J., Calderini D.F., Pomar K.P. and D'Ambrogio A. (1998). Dwarfing genes and cell dimensions in different organs of wheat. *Journal of Experimental Botany*, 49:1119-1127.

Miralles D., Richards R., and Slafer G. (2000). Duration of the stem elongation period influences the number of fertile florets in wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.*, 27, 931–940

Miralles D. J.; Slafer G. A.; 2007. Sink limitations to yield in wheat : how could it be reduced? *Journal of Agricultural Science*. vol. 145 (2), pp. 139-149.

Miralles, D. J. & Slafer, G. A. (1999). Wheat development In *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination* (Eds E. H. Satorre & G. A. Slafer), pp. 13–43. New York: Food Product Press.

[Miralles](#), D.J., Dominguez, C.F. and Slafer, G.A., (1996). Grain growth and postanthesis leaf area duration in dwarf, semidwarf and tall isogenic lines of wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 177, pp. 115–122.

Moreno-Sevilla, B., Baezinger, P.S., Peterson, J.C., Graybosch, R.A., and McVey, (1995). The 1BL/1RS translocation; Agronomi performance of f3 lines derived from a winter wheat cross. *Crop Sci*, 35, 1051-1055.

Mortarini, M., Perelman, S. y Miralles, D. (2004). Calidad industrial del trigo: interacción genotipo x ambiente. *Actas del VI Congreso Nacional de trigo* pp 304-305. Bahia Blanca octubre 2004.

Nicolas Y., Martinant J., Denery-Papini S and Popineau Y. (1998). Analysis of wheat storage proteins by exhaustive sequential extraction followed by RP-HPLC and nitrogen determination. *Journal Science Food Agriculture* 77, 96-102.

Ortiz-Monasterio R; Sayre K and Rajaram S. (1997). Genetic Progress in Wheat Yield and Nitrogen Use Efficiency under Four Nitrogen Rates. *Crop Sci.* 37, 898–904.

Otteson B., Mergoum M., and Ransom J. (2008). Seeding Rate and Nitrogen Management on Milling and Baking Quality of Hard Red Spring Wheat Genotypes. *Crop Sci.* 48:749–755.

Panozzo J and Eagles H. (1999). Rate and duration of grain filling and grain nitrogen accumulation of wheat cultivars grown in different environments. *Aust. J. Agric.* 50, 1007.15.

Passioura J.B., A.G. Condon, R.A. Riehard. (1993). Water deficits, the development of leaf area and crop productivity. In: Smith J.A.C., Griffiths H. (eds). *Water deficits plant responses from cell to community*. BIOS Scientific Publishers Limited, Oxford, 253 - 264.

Payne, L.I., 1987. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread-making quality, *annu Rev Plant Physiol.* 38, 141-153.

Peña R; Ortiz-Monasterio J y Sayre K. (1998). Estrategias para mejorar (o mantener) la calidad panadera en trigo de alto potencial de rendimiento. En: *Explorando altos rendimientos de trigo*. La Estanzuela, Colonia, Uruguay. M.M. Kohli y D.L. Martino. 289-306.

Peterson, C.J., Graybosch, R.A.; Shelton DR.; & Baenziger, P.S.(1998). Baking quality of hard winter wheat: Response of cultivars to environment in the Great Plains. *Euphytica* 100: 157–162.

Peterson, C.J., R.A. Graybosch, P.S. Baenziger & A.W. Grombacher, (1992). Genotype and environment effects on quality characteristics of hard red winter wheat. *Crop Sci* 32: 98-103.

Pierre C, Peterson C, Ross A, Ohm J, Verhoeven M, Larson M, Hoefer B. (2008). *Journal of Cereal Science* 47 407–416.

Przulj N and Mladenov N. (1999). Inheritance of grain filling duration in spring wheat. *Plant Breeding* 007. 406-410.

Randall, P.J. & Moss H.J.(1990). Some effects of temperatura regime during grain filling on wheat quality. *Aust J Agric Res* 41: 603-617.

Readman, P.S. Kettlewell and C.P. Beckwith. (1997). Application of N urea solution: N recovery and N use efficiency, *Aspects Appl. Biol.* 50, pp. 125–132.

Readman R Kettlewell P and Beckwith C. (2002). Effects of spray application of urea fertilizer at stem extension on winter wheat yield. *Journal of agricultural science.* 139 1-10.

Reynolds M; Rajaram S, and Sayre K. (1999). Physiological and Genetic Changes of Irrigated Wheat in the Post–Green Revolution Period and Approaches for Meeting Projected Global Demand. Published in *Crop Sci.* 39:1611–1621.

Rharrabti, Y., Royo, C., Villegas, D., Aparicio, N. and García del Moral, L. F. (2003b). Durum wheat quality in Mediterranean environments. I. Quality expression under different zones, latitudes and water regimes across Spain. *Field Crop Research* 80 (2): 123-131.

Ruiz M; Vazquez J; Carrillo J. (1998). Estudio de la variabilidad de gluteninas y gliadinas en variedades locales y cultivares primitivos españoles de trigo duro. *Invest. Agr: Prod. Prot. Veg* 13(3) 291-301.

Sadras, V.O., Trápani, N. (1999). Leaf expansion and phenologic development: key determinants of sunflower plasticity, growth and yield. In: Smith, D.L., Hamel, C. (Eds.), *Physiological Control of Growth and Yield in Field Crops*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 205–232.

Salvagiotti F Miralles D. (2008). Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *Europ. J. Agronomy*: 28. 282–290.

Sandaña P; Harcha C; Calderini D. (2009). Sensitivity of yield and grain nitrogen concentration of wheat, lupin and pea to source reduction during grain filling. A comparative survey under high yielding conditions. *Field Crops Research* 114. 233–243.

Savin R y Sorlino D. (2003). Calidad de los granos y estimadores más comunes. En *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. Ed FAUBA 783 pp.

Savin, R. & M.E. Nicolas, (1999). Effects of timing of heat stress and drought on grain growth and malting quality of barley. *Aust J. Agric Res* 50: 357–364.

Shewry, P.R., Napier, J.A. and Tatham, A.S. (1995). Seed storage proteins: structures and biosynthesis. *Pl. Cell*. 7: 945–956.

Sinclair T. and Muchow R. (1999). Occam's Razor, radiation-use efficiency, and vapor pressure deficit. *Field Crops Research* 62, 239-243.

Sinclair, T.R., 1998. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. *Crop Sci*. 38, 638-643.

Slafer G & Rawson H. (1995). Photoperiod  $\times$  temperature interactions in contrasting wheat genotypes: Time to heading and final leaf number. *Field Crops Research* 44, 73-83.

Slafer G & Rawson H. (1996). Responses to photoperiod change with phenophase and temperature during wheat development. *Field Crops Research* 46 (1996) 1-13.

Slafer G; Abeledo G; Miralles D; Gonzalez F & Whitechurch E. (2001). Photoperiod sensitivity during stem elongation as an avenue to raise potential yield in wheat. *Euphytica* 119: 191–197.

Slafer, G.A.; D. J. Miralles; R. Savin; E. M. Whitechurch; F.G. Gonzalez. (2006). Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. En: Satorre, E.H.; Benez, R.L.; Slafer, G.A.; De La Fuente, E.B.; Meralles, D.J.; Otegui, M.E. y R. Savin. *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 783 pág. Cap. 7.p: 101-132

**Sokal and Michener. (1958)**. R.R. Sokal and C.D. Michener, A statistical method for evaluating systematic relationships, *Univ. Kansas Sci. Bull.* 38 (1958), pp. 1409–1438.

Souza E., Martin J., Guttieri., O'Brien M., Habernicht K., Lanning D., McLean S., Carlson G, and Talbert L. (2004). Influence of Genotype, Environment, and Nitrogen Management on Spring Wheat Quality. Published in *Crop Sci*. 44:425–432.

Stewart DW, Dwyer LW. (1990). Yields and protein trends of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) on the Canadian prairies, 1961-1982. *Can J Plant Sci* 70: 33–44.

Stoddard F., and Marshall D. (1990). Variability in grain protein in Australian hexaploid wheats. *Australian Journal of Agricultural Research* 41(2) 277 – 288.

Stone, P.J. & M.E. Nicolas. (1994). Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. *Aust J Plant Physiol* 21: 887-900.

Stone, P.J. and Savin R. (1999). Grain quality and its physiological determinants, pp 85-120. En Satorre and Slafer (eds.) *Wheat: Ecology and physiology of yield determination*. Food Product Press, New York

Talbert L; Lanning, S; Murphy R and Martin J. (2001). Grain Fill Duration in Twelve Hard Red Spring Wheat Crosses: Genetic Variation and Association with Other Agronomic Traits. *Published in Crop Sci*. 41:1390–1395.

Tatham A., Drake A., and Shewry P. (1990). Conformational studies of synthetic peptides corresponding to the repetitive regions of the high molecular weight (HMW) glutenin subunits of wheat. *Journal of Cereal Science*. Vol 11, (3), Pp 189-200.

Tohidfar G, Mohammadi M, Ghareyazie B and Mohammad S.A. (2004) Relationships between HMW-Gus and bread making quality in advanced wheat lines *Cereal Food World*. 44:1-4.

Tombetta, Evito E.; Bushuk, W.; Cuniberti, Martha B. (1990). Evaluación de la calidad de cultivares de trigos argentinos mediante electroforesis de gluteninas de alto peso molecular y de metodología tradicional. *Actas del Congreso Nacional de Trigo*. 2. 10 17-19. Pergamino. Argentina.

Triboi E, Triboi-Blondel AM. (2002). Productivity and grain or seed composition : a new approach to an old problem - invited paper. *Eur J. Agro* 16, 163-186.

Triboi E.; Ntonga J. (1993), Leaf development and ear structure in wheat as affected by nitrogen and shading. *Agronomie ISSN*. vol. 13, n<sup>o</sup>4, pp. 253-265 (1 p.).

Wallace J., Bainotti C., Nisi M, Formica B., Shegezzo M., Molfese E., Jensen E., Nisi J., y Helguera M. (2003). Variabilidad genética de proteínas de reserva en trigos candeales argentinos y su interacción con la calidad industrial. *Agriscientia XX*:19-27

Wardlaw I. (2002). Interaction Between Drought and Chronic High Temperature During Kernel Filling in Wheat in a Controlled Environment. *Annals of Botany* 90: 469-476.

Wardlaw I.F., Moncur L. (1995). The reponse of wheat to higt temperature following anthesis. I. The rate and duration of kermel filling. *Australian Journal of Plant Physiology* 22, 391-397.

Wardlaw I.F., Wrigley C:W. (1994). Heat tolerance in temperature cereals: an overview. *Australian Journal of Plant Physiology* 21, 695-703.

Wheeler T; Hong T; Ellis R; Batts G; Morison J and Hadley P.(1996). The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat [*Triticum aestivum* L.] in response to temperature and CO<sub>2</sub>. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 47, No. 298, pp. 623.

Wieser, H., and Seilmeier, W. (1998). The influence of nitrogen fertilization on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. *Journal of the Science of food and agriculture*. 76, 49-55

Woolfolk C; Raun W; Johnson G; Thomason W, Mullen R; Wynn K and Freeman K. (2002). Influence of Late-Season Foliar Nitrogen Applications on Yield and Grain Nitrogen in Winter Wheat.

Wrigley C; Blumenthal A; Gras P, and Barlow E. (1994). Temperature Variation During Grain Filling and Changes in Wheat-grain Quality. *Aust. J. Plant Physiol.* 21, 875-85.

Yan, W.; Hunt, L.A.; Sheng, Q.; Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* 40, 597-605.

Yang J; Sears1 R; Gill B & Paulsen G. (2002). Genotypic differences in utilization of assimilate sources during maturation of wheat under chronic heat and heat shock stresses. *Euphytica* 125: 179–188.

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

Zhang P; He Z; Chen D; Zhang Y; Larroque O; Xia X. (2007). Contribution of common wheat protein fractions to dough properties and quality of northern-style Chinese steamed bread. *Journal of Cereal Science* 46 1–10.

Zhang Yong, He Zhonghu, Guoyou Ye, Zhang Aimin<sup>4</sup> & Maarten Van Ginkel<sup>5</sup> (2004). Effect of environment and genotype on bread-making quality of spring-sown spring wheat cultivars in China. *Euphytica* 139: 75–83.

**ANEXO**

Tabla A.1; Rendimiento (REND -g/m<sup>2</sup>), biomasa (BIOM -g/m<sup>2</sup>) e índice de cosecha (IC) para los seis cultivares estudiados, agrupados por grupo de calidad, y tratamientos de fertilización inicial (N0 y N1) en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino en los años 2006 y 2007.

GC	VAR	TRAT	MARCOS JUAREZ			PERGAMINO		
			REND	BIOM	IC	REND	BIOM	IC
AÑO 2006								
1	SU	N0-0	363	1067	0,34	449	1389	0,32
		N0-1	321	883	0,36	413	1248	0,33
		N1-0	481	1484	0,32	441	1329	0,33
		N1-1	419	1334	0,32	456	1401	0,32
	TO	N0-0	318	880	0,36	477	1374	0,34
		N0-1	341	932	0,37	474	1335	0,36
		N1-0	477	1352	0,36	535	1533	0,36
		N1-1	436	1334	0,33	381	1116	0,34
2	CH	N0-0	277	797	0,35	366	1197	0,31
		N0-1	331	1030	0,32	414	1332	0,31
		N1-0	424	1325	0,32	377	1173	0,32
		N1-1	415	1349	0,31	375	1242	0,3
	ES	N0-0	350	1000	0,35	337	1005	0,33
		N0-1	336	948	0,35	404	1179	0,34
		N1-0	441	1395	0,32	500	1398	0,36
		N1-1	432	1359	0,32	460	1233	0,37
3	AG	N0-0	314	883	0,36	305	1005	0,31
		N0-1	314	883	0,36	385	1137	0,34
		N1-0	395	1248	0,32	412	1248	0,33
		N1-1	396	1276	0,31	363	1071	0,34
	GA	N0-0	362	948	0,38	479	1287	0,37
		N0-1	435	1202	0,36	380	1125	0,34
		N1-0	484	1389	0,35	589	1605	0,37
		N1-1	508	1429	0,36	488	1338	0,37
AÑO 2007								
1	SU	N0-0	480	1298	0,37	420	1381	0,3
		N0-1	505	1430	0,36	525	1571	0,33
		N1-0	569	1498	0,38	588	1837	0,32
		N1-1	627	1647	0,38	500	1485	0,33
	TO	N0-0	485	1343	0,37	412	1304	0,32
		N0-1	490	1428	0,35	454	1246	0,37
		N1-0	605	1712	0,35	469	1524	0,31
		N1-1	638	1567	0,41	372	1290	0,29
2	CH	N0-0	424	1330	0,32	475	1416	0,34
		N0-1	461	1310	0,36	463	1496	0,31
		N1-0	570	1502	0,39	520	1477	0,35
		N1-1	583	1582	0,37	476	1484	0,32
	ES	N0-0	465	1157	0,4	532	1340	0,4
		N0-1	489	1188	0,41	492	1355	0,36
		N1-0	593	1573	0,38	546	1479	0,37
		N1-1	605	1473	0,41	538	1414	0,38
3	AG	N0-0	412	1337	0,32	452	1436	0,31
		N0-1	423	1283	0,34	484	1368	0,36
		N1-0	533	1487	0,37	455	1421	0,32
		N1-1	568	1453	0,39	507	1392	0,36
	GA	N0-0	472	1298	0,37	585	1625	0,36
		N0-1	491	1272	0,39	603	1664	0,36
		N1-0	654	1732	0,38	515	1443	0,35
		N1-1	629	1672	0,38	662	1836	0,36

Tabla A.2: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) del rendimiento (REND - g/m<sup>2</sup>), biomasa (BIOM -g/m<sup>2</sup>) e índice de cosecha (IC). ANVA realizado agrupando las variedades por grupo de calidad.

FV	REND R <sup>2</sup> =0,67 CV=16			BIOM R <sup>2</sup> =0,59 CV=16			IC R <sup>2</sup> =0,52 CV=9		
	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig
GC	17333	1,0	N/S	193980	1,8	S/N	0,004	2,7	N/S
AÑO	841667	48,4	***	4371777	40,5	***	0,020	15,4	***
LOC	849	0,0	N/S	336979	3,1	***	0,020	15,4	***
N	415575	23,9	***	3277700	30,4	***	0,001	1,1	N/S
GC*AÑO	20718	1,2	N/S	69019	0,6	S/N	0,010	7,7	***
GC*LOC	10251	0,6	N/S	5186	0,0	S/N	0,005	3,7	N/S
GC*N	18948	1,1	N/S	148294	1,4	S/N	0,005	3,5	N/S
AÑO*LOC	81581	4,7	***	107857	1,0	S/N	0,010	7,7	***
AÑO*N	17535	1,0	N/S	123800	1,1	S/N	0,010	7,7	*
LOC*N	144887	8,3	***	1215788	11,3	***	0,001	0,7	N/S
GC*AÑO*LOC	52304	3,0	**	181570	1,7	S/N	0,003	2,3	N/S
GC*AÑO*N	23990	1,4	N/S	213742	2,0	S/N	0,003	2,6	N/S
GC*LOC*N	15885	0,9	N/S	83902	0,8	S/N	0,010	7,7	N/S
AÑO*LOC*N	10858	0,6	N/S	88210	0,8	S/N	0,020	15,4	***
GC*AÑO*LOC*N	66493	3,8	N/S	364859	3,4	S/N	0,010	7,7	N/S

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales GC, AÑO, LOC y N y sus interacciones. R<sup>2</sup> indica el ajuste del modelo y CV el coeficiente de variación del ANVA.

Tabla A.3: Numero de granos (NG -granos/m<sup>2</sup>) y peso de mil granos (PMG -g), para los seis cultivares estudiados, agrupados por grupo de calidad y tratamientos de fertilización inicial (N0 y N1) en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino en los años 2006 y 2007.

GC	VAR	TRAT	MARCOS JUAREZ		PERGAMINO		
			NG	PMG	NG	PMG	
AÑO 2006							
1	SU	N0-0	12699	28,6	16173	27,8	
		N0-1	10964	29,3	14498	29	
		N1-0	17459	27,6	15400	28,9	
		N1-1	15218	27,5	16374	28,3	
	TO	N0-0	13131	24,2	18989	25,2	
		N0-1	13420	25,4	18692	25,4	
		N1-0	18173	26,1	21344	25,1	
		N1-1	17473	24,8	15048	25,4	
	2	CH	N0-0	8562	32,4	11103	33,1
			N0-1	10069	32,9	13003	32,1
			N1-0	14318	29,7	11754	32,2
			N1-1	14461	28,5	11378	32,9
ES		N0-0	10968	31,9	10211	32,7	
		N0-1	10463	32,3	11555	34,9	
		N1-0	14240	30,8	14876	33,6	
		N1-1	13811	31,3	13715	33,4	
3	AG	N0-0	10132	30,9	10345	29,7	
		N0-1	9986	31,3	12405	31,5	
		N1-0	13447	29,5	12719	30,5	
		N1-1	13038	30,6	11765	30,9	
	GA	N0-0	10663	33,8	13899	34,4	
		N0-1	11884	36,7	10878	34,9	
		N1-0	13794	35	17151	34,3	
		N1-1	15022	33,7	14538	33,4	
AÑO 2007							
1	SU	N0-0	12069	37,5	16598	30,7	
		N0-1	14078	37,9	15645	33,5	
		N1-0	15159	36,7	17211	30,6	
		N1-1	16278	36,3	17476	31,1	
	TO	N0-0	13058	31,6	15798	28,1	
		N0-1	15089	31,8	14765	29,6	
		N1-0	19993	30,9	15638	25,2	
		N1-1	18101	31,7	17838	23,7	
	2	CH	N0-0	13183	34,9	16072	32,8
			N0-1	12287	37,9	15543	34,6
			N1-0	16471	34,9	15646	35
			N1-1	16809	33,9	15432	34,6
ES		N0-0	11415	37,5	14855	35	
		N0-1	12940	38	14659	35,4	
		N1-0	17427	36,4	14849	34,2	
N1-1	15590	37,5	14034	33,3			
3	AG	N0-0	14244	34,1	15148	33,8	
		N0-1	14505	33,3	15253	34,7	
		N1-0	16909	32,1	14258	32,9	
		N1-1	15595	35,4	16166	31,5	
	GA	N0-0	10848	43,6	14612	38,3	
		N0-1	11172	41,8	14424	38,7	
		N1-0	16035	40,6	15906	36,1	
		N1-1	15249	42,6	16009	34,6	

Tabla A.4: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) del numero de granos (NG - granos/m<sup>2</sup>) y peso de los granos (PMG -g). ANVA realizado agrupando las variedades por grupo de calidad.

FV	NG		R <sup>2</sup> =0,63		CV=16,05		PMG		R <sup>2</sup> =0,87		CV=5,87	
	SC		%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig		
GC	353440280		25,1	N/S	1582	44,8	0,0222					
AÑO	185916402		13,2	***	1161	32,9	***					
LOC	59810443		4,2	***	138	3,9	***					
N	416176364		29,5	***	102	2,9	***					
GC*AÑO	97894342		7,0	***	36	1,0	N/S					
GC*LOC	18114357		1,3	N/S	75	2,1	**					
GC*N	4328055		0,3	N/S	4	0,1	N/S					
AÑO*LOC	809798		0,1	N/S	289	8,2	***					
AÑO*N	12139541		0,9	N/S	10	0,3	N/S					
LOC*N	161194484		11,4	***	7	0,2	N/S					
GC*AÑO*LOC	12114369		0,9	N/S	24	0,7	N/S					
GC*AÑO*N	25430071		1,8	N/S	26	0,7	N/S					
GC*LOC*N	18177906		1,3	N/S	34	1,0	N/S					
AÑO*LOC*N	20016005		1,4	N/S	32	0,9	N/S					
GC*AÑO*LOC*N	22826118		1,6	N/S	12	0,3	N/S					

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales GC, AÑO, LOC y N y sus interacciones. R<sup>2</sup> indica el ajuste del modelo y CV el coeficiente de variación del ANVA.

Tabla A.5: Radiación interceptada acumulada (RIacum. -Mj/m<sup>2</sup>) y eficiencia del uso de la radiación (EUR -g/Mj), durante todo el ciclo, para los seis cultivares, agrupados por grupo de calidad, y tratamientos de fertilización inicial (N0 y N1) en la localidad de Marcos Juárez y en los años 2006 y 2007.

GC	VAR	N	AÑO 2006		AÑO 2007	
			RIacum	EUR	RIacum	EUR
1	SU	N0-0	400	2,55	488	2,42
		N0-1	380	2,65	523	2,61
		N1-0	460	2,56	603	2,48
		N1-1	481	2,76	596	2,73
	TO	N0-0	370	2,58	429	2,91
		N0-1	366	2,57	443	2,89
		N1-0	420	3,06	530	3,02
		N1-1	438	3,04	530	3,03
2	CH	N0-0	463	2,25	413	2,78
		N0-1	459	2,47	436	2,81
		N1-0	506	2,61	546	2,67
		N1-1	495	2,76	572	2,68
	ES	N0-0	409	2,35	520	2,14
		N0-1	430	2,41	508	2,24
		N1-0	493	2,57	566	2,67
		N1-1	502	2,61	567	2,74
3	AG	N0-0	461	2,00	469	2,62
		N0-1	460	2,12	482	2,42
		N1-0	526	2,49	544	2,63
		N1-1	538	2,54	565	2,62
	GA	N0-0	474	2,25	455	2,8
		N0-1	495	2,51	444	2,97
		N1-0	535	2,73	560	3,04
		N1-1	557	2,91	563	3,04

Tabla A.6 Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) de la radiación interceptada acumulada (RIacum -Mj./m<sup>2</sup>) y la eficiencia del uso de la radiación (EUR -g/Mj.). ANVA realizado agrupando las variedades por grupos de calidad.

FV	RIacum	R <sup>2</sup> =0,5	CV=14,8	EUR	R <sup>2</sup> =0,55	CV=10,7
	SC	%	NSig		SC	%
GC	43135	9,8	N/S	0,96	18,6	N/S
AÑO	95018	21,6	***	0,83	16,1	***
N	231422	52,6	***	2,23	43,2	***
GC*AÑO	58861	13,4	***	0,55	10,7	*
GC*N	451,94	0,1	N/S	0,08	1,6	N/S
AÑO*N	7836,4	1,8	N/S	0,34	6,6	N/S
GC*AÑO*N	3027,7	0,7	N/S	0,16	3,1	N/S

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia (NS) al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales GC, AÑO y N y sus interacciones. R<sup>2</sup> indica el ajuste del modelo y CV el coeficiente de variación del ANVA

Tabla A.7: Radiación interceptada acumulada (RI acum -Mj/m<sup>2</sup>) y eficiencia del uso de la radiación (EUR -g/Mj), para las etapas de PRE y POST antesis, para los seis cultivares, agrupados por grupo de calidad, y tratamientos de fertilización inicial (N0 y N1) en la localidad de Marcos Juárez y en los años 2006 y 2007.

GC	VAR	N	AÑO 2006				AÑO 2007			
			RI acum		EUR		RI acum		EUR	
			PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
1	SU	N0-0	282	119	2,52	3,13	322	167	2,49	2,65
		N0-1	280	101	2,58	3,46	324	198	2,39	3,14
		N1-0	336	124	2,48	3,25	357	246	2,61	2,07
		N1-1	340	141	2,70	2,29	355	240	2,56	2,79
	TO	N0-0	312	58	2,67	2,89	303	126	2,76	4,81
		N0-1	314	52	2,73	1,27	307	137	2,76	4,41
		N1-0	358	62	3,18	3,48	339	190	2,94	4,73
		N1-1	361	77	3,22	3,57	338	192	3,00	2,37
2	CH	N0-0	290	173	2,41	1,82	240	173	2,96	3,11
		N0-1	290	168	2,64	1,88	243	193	2,73	3,58
		N1-0	320	186	2,73	2,66	298	248	2,93	3,07
		N1-1	320	175	2,79	2,94	299	273	2,87	3,08
	ES	N0-0	284	125	2,40	2,35	331	189	2,16	2,36
		N0-1	285	145	2,19	3,17	330	177	2,34	2,23
		N1-0	337	156	2,60	2,80	342	223	2,78	2,85
		N1-1	337	165	2,62	2,38	342	225	2,92	2,21
3	AG	N0-0	316	145	1,94	1,77	312	157	2,50	3,07
		N0-1	316	144	2,08	1,78	311	170	2,37	2,80
		N1-0	359	167	2,46	2,20	333	211	2,53	3,07
		N1-1	358	180	2,46	2,32	335	229	2,67	2,42
	GA	N0-0	351	123	2,39	2,06	290	165	2,78	2,71
		N0-1	352	143	2,62	2,66	289	155	2,65	3,36
		N1-0	389	147	2,68	3,42	321	239	3,19	3,19
		N1-1	388	169	2,80	3,74	322	242	3,37	2,55

Tabla A.8: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) de la radiación interceptada acumulada durante todo el periodo pre antesis (RI AN) y durante post antesis (RI POS - Mj./m<sup>2</sup>) y eficiencia del uso de la radiación (g/Mj) calculada durante pre (EUR pre) y post antesis (EUR pos). ANVA realizado discriminando por grupo de calidad.

FV	RI AN R <sup>2</sup> =0,35 CV=16			RIPOST R <sup>2</sup> =0,83 CV=16			PRE R <sup>2</sup> =0,46 CV=14			POS R <sup>2</sup> =0,29 CV=49		
	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSIG
GC	20740	22,0	N/S	58579	19,2	N/S	0,43	7,6	N/S	7,13	24,2	**
AÑO	5341	5,7	N/S	144653	47,3	***	0,7	12,3	**	5,47	18,5	*
N	51803	54,9	***	64738	21,2	***	3,22	56,6	***	2,8	9,5	N/S
GC*AÑO	14237	15,1	*	18721	6,1	***	0,98	17,2	*	0,12	0,4	N/S
GC*N	531	0,6	N/S	869,49	0,3	N/S	0,12	2,1	N/S	3,55	12,0	N/S
AÑO*N	1482	1,6	N/S	15932	5,2	***	0,1	1,8	N/S	8,24	27,9	N/S
GC*AÑO*N	237,5	0,3	N/S	2340,9	0,8	N/S	0,13	2,3	N/S	2,21	7,5	N/S

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia (NS) al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales GC, AÑO y N y sus interacciones. R<sup>2</sup> indica el ajuste del modelo y CV el coeficiente de variación del ANVA.

Tabla A.9: Peso seco final de los granos (PSF -mg), tasa (TS -mg/°Cd), duración (D °Cd) y duración efectiva del llenado de granos (D ef -°Cd), para los seis cultivares, agrupados por grupo de calidad (GC), y tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1 en la localidad de Marcos Juárez, en los años 2006 y 2007.

G.C.	VAR	N	AÑO 2009				AÑO 2007			
			PSF	TS	D	D efct	PSF	TS	D	D efct
G1	SU	N0-0	33,8	0,0610	631	555	40,8	0,0797	568	515
		N0-1	33,9	0,0690	581	488	42,6	0,0847	573	503
		N1-0	32,1	0,0637	581	505	40,4	0,0810	572	500
		N1-1	33,6	0,0547	652	644	41,1	0,0873	552	454
	TO	N0-0	30,1	0,0543	569	551	36,7	0,0820	520	450
		N0-1	29,5	0,0580	544	531	37,0	0,0780	530	474
		N1-0	29,6	0,0463	595	635	36,7	0,0843	514	439
		N1-1	28,8	0,0523	555	550	38,1	0,0797	549	482
G2	CH	N0-0	37,4	0,0727	618	512	39,8	0,0690	597	576
		N0-1	38,5	0,0710	655	542	39,4	0,0807	570	489
		N1-0	35,1	0,0637	644	550	38,8	0,0780	583	503
		N1-1	36,0	0,0643	641	574	39,2	0,0773	585	508
	ES	N0-0	37,6	0,0727	607	515	41,1	0,0803	582	512
		N0-1	39,0	0,0727	627	537	42,7	0,0760	606	561
		N1-0	38,2	0,0717	631	539	40,7	0,0777	592	524
		N1-1	38,8	0,0687	655	565	41,6	0,0753	603	552
G3	AG	N0-0	36,2	0,0760	582	482	41,0	0,0880	529	466
		N0-1	38,0	0,0727	609	523	40,8	0,0907	512	451
		N1-0	37,2	0,0757	626	521	39,6	0,0863	522	456
		N1-1	35,2	0,0607	617	581	40,3	0,0913	516	442
	GA	N0-0	42,1	0,0733	650	573	46,3	0,0917	598	505
		N0-1	42,1	0,0733	650	572	47,1	0,0933	608	506
		N1-0	40,1	0,0730	628	555	47,1	0,0903	629	521
		N1-1	42,2	0,0780	642	538	46,7	0,0890	624	528

Tabla A.10: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) de cada fuentes de variación (FV), para el peso seco final de (PSF -mg), tasa de llenado (TS -mg/°Cd), duración de llenado (D -°Cd) y duración efectiva del llenado de granos (D ef -°Cd). ANVA realizado agrupando las variedades por grupos de calidad.

FV	PSF R <sup>2</sup> =0,94 CV=3			TS R <sup>2</sup> =3,82 CV=8			D R <sup>2</sup> =0,86 CV=4			D efe R <sup>2</sup> =0,55 CV=9		
	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig
GC	901	45,2	N/S	0,0035	17,5	N/S	48826	33,3	**	12240	7,0	N/S
AÑO	902	45,2	***	0,0100	50,0	***	83141	56,8	***	93152	53,1	***
N	28	1,4	N/S	0,0002	1,2	N/S	2998	2,0	N/S	8525	4,9	N/S
GC*AÑO	151	7,6	***	0,0019	9,5	***	1836	1,3	N/S	28000	16,0	**
GC*N	3	0,2	N/S	0,0000	0,2	N/S	3151	2,2	N/S	3388	1,9	N/S
AÑO*N	3	0,1	N/S	0,0003	1,3	N/S	822	0,6	N/S	16191	9,2	N/S
GC*AÑO*N	4	0,2	N/S	0,0002	1,2	N/S	5669	3,9	N/S	13922	7,9	N/S

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia al 0,1, 0,05 y 0,01, respectivamente. NS indica que no se registraron diferencias significativas para los efectos principales GC, AÑO, LOC y N y sus interacciones, R<sup>2</sup>= ajuste del modelo y CV= coeficiente de variación del ANVA.

Tabla A.11: Parámetros de calidad: peso hectolitrico (PH -kg/l), porcentaje de proteína (PROT -%) y porcentaje de gluten húmedo (GLH -%), para los seis cultivares estudiados, agrupados por grupo de calidad, y tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino en los años 2006 y 2007.

G.C.	VAR	N	M. JUAREZ			PERGAMINO		
			PH	%PROT	GLH <sup>o</sup>	PH	%PROT	GLH <sup>o</sup>
AÑO 2006								
1	SU	N0-0	78,5	11,4	23,8	82,6	10,7	21,8
		N0-1	78,9	12,2	26,1	82,8	11,3	23,4
		N1-0	78,0	12,2	25,1	82,7	11,0	22,5
		N1-1	78,5	13,0	29,1	83,0	11,5	24,1
	TO	N0-0	74,9	11,1	21,5	78,5	10,4	19,7
		N0-1	75,4	11,8	26,2	78,4	10,6	20,1
		N1-0	75,0	12,0	26,3	77,7	11,2	20,5
		N1-1	75,3	12,6	28,9	78,1	11,2	22,3
2	CH	N0-0	75,9	12,2	27,0	80,4	12,7	29,2
		N0-1	76,1	13,0	28,7	80,9	12,7	30,2
		N1-0	74,7	12,6	29,3	80,8	12,8	30,0
		N1-1	74,8	13,2	30,4	80,4	12,8	30,7
	ES	N0-0	75,8	11,6	28,4	80,7	10,6	24,4
		N0-1	76,4	12,2	30,0	80,6	11,1	26,5
		N1-0	76,4	12,1	29,3	81,2	11,4	26,4
		N1-1	76,3	12,8	31,4	81,4	12,0	30,1
3	AG	N0-0	77,6	12,3	28,5	81,8	11,7	26,3
		N0-1	78,3	12,8	29,0	81,7	12,3	28,4
		N1-0	77,3	12,7	29,9	81,7	11,5	26,4
		N1-1	77,9	12,9	31,5	82,1	12,2	27,8
	GA	N0-0	75,1	10,9	24,9	80,7	10,6	24,0
		N0-1	75,2	11,3	25,9	80,5	10,3	22,9
		N1-0	75,4	11,5	26,2	80,7	10,6	24,3
		N1-1	75,8	12,0	28,4	80,4	10,5	23,2
AÑO 2007								
1	SU	N0-0	85,1	9,6	18,8	81,0	13,0	31,4
		N0-1	85,6	10,8	23,4	82,0	13,4	33,1
		N1-0	82,3	11,2	23,2	81,1	14,1	34,2
		N1-1	85,2	11,9	26,6	80,1	14,5	35,0
	TO	N0-0	82,4	9,9	18,1	76,7	12,5	28,8
		N0-1	82,7	10,8	22,6	76,9	12,3	27,4
		N1-0	82,2	10,8	21,5	76,4	13,2	30,2
		N1-1	81,8	11,7	24,2	74,5	13,6	32,2
2	CH	N0-0	81,5	10,4	21,3	77,5	14,0	32,6
		N0-1	82,7	11,4	25,9	79,2	14,2	35,6
		N1-0	81,0	11,8	26,0	78,5	14,2	34,9
		N1-1	82,4	12,2	26,5	78,9	14,0	33,7
	ES	N0-0	84,4	9,5	20,1	79,5	13,6	35,4
		N0-1	84,6	10,1	23,5	79,1	12,8	32,2
		N1-0	83,9	10,8	24,7	79,6	13,4	34,9
		N1-1	83,8	11,0	26,1	79,9	13,1	34,1
3	AG	N0-0	81,9	10,0	22,0	80,1	13,1	32,9
		N0-1	84,4	10,3	22,5	81,4	13,4	34,3
		N1-0	80,1	11,3	26,2	76,9	12,8	32,4
		N1-1	84,3	11,6	27,7	80,3	14,5	36,8
	GA	N0-0	81,2	9,7	21,3	79,3	12,2	30,6
		N0-1	82,3	9,6	20,9	78,7	12,3	30,4
		N1-0	81,9	10,7	24,9	79,8	13,9	33,7
		N1-1	82,4	10,6	23,8	78,5	13,1	32,6

Tabla A.12: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) del peso hectolitrico (PH -g/l), del porcentaje de proteína (PROT -%) y porcentaje de gluten húmedo (GLH -%). ANVA realizados discriminando por grupos de calidad.

FV	PH R <sup>2</sup> =0,91 CV=1,4			PROT R <sup>2</sup> =0,92 CV=3,6			GLH R <sup>2</sup> =0,92 CV=5,6		
	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig
GC	3	0,2	N/S	15,6	5,2	S/N	581	14,0	N/S
AÑO	498	28,7	***	0,1	0,0	S/N	24	0,6	**
LOC	36	2,1	***	33,4	11,2	***	529	12,7	***
N	19	1,1	N/S	39,9	13,4	***	422	10,2	***
GC*AÑO	6	0,4	N/S	3,5	1,2	**	73	1,8	***
GC*LOC	26	1,5	**	2,2	0,7	*	40	1,0	***
GC*N	6	0,3	N/S	2,6	0,9	S/N	43	1,0	N/S
AÑO*LOC	1097	63,3	***	186,7	62,6	***	2261	54,4	***
AÑO*N	10	0,6	N/S	4,0	1,4	**	30	0,7	*
LOC*N	7	0,4	N/S	4,7	1,6	**	62	1,5	***
GC*AÑO*LOC	7	0,4	N/S	0,5	0,2	S/N	16	0,4	N/S
GC*AÑO*N	6	0,4	N/S	1,5	0,5	S/N	15	0,4	N/S
GC*LOC*N	6	0,3	N/S	1,1	0,4	S/N	20	0,5	N/S
AÑO*LOC*N	4	0,2	N/S	0,4	0,1	S/N	7	0,2	N/S
GC*AÑO*LOC*N	3	0,2	N/S	2,2	0,7	S/N	31	0,7	N/S

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia (Sig) al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales GC, AÑO, LOC y N y sus interacciones, R<sup>2</sup>= ajuste del modelo y CV= coeficiente de variación del ANVA.

Tabla A.13: Parámetros del alveograma: tenacidad (P -mm), fuerza panadera (W  $\times 10^{-4}$  J), extensibilidad (L -mm) y la relación de equilibrio (P/L), de las masas, para los 6 cultivares, agrupados por grupo de calidad, y tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino en los años 2006 y 2007.

G.C.	VAR	N	M. JUAREZ				PERGAMINO			
			P	W	L	P/L	P	W	L	P/L
AÑO 2006										
1	SU	N0-0	79	247	94	0,84	110	292	70	1,65
		N0-1	82	308	113	0,74	108	330	83	1,35
		N1-0	83	332	117	0,72	102	296	81	1,31
		N1-1	75	309	125	0,62	111	356	88	1,28
	TO	N0-0	84	267	79	1,09	74	231	77	0,99
		N0-1	73	283	107	0,70	69	219	80	0,87
		N1-0	84	307	96	0,91	78	250	75	1,04
		N1-1	84	363	114	0,77	87	262	77	1,33
2	CH	N0-0	54	218	139	0,39	67	302	137	0,49
		N0-1	55	212	122	0,45	67	298	138	0,49
		N1-0	47	174	127	0,38	66	279	128	0,53
		N1-1	52	205	126	0,42	67	298	138	0,50
	ES	N0-0	71	229	103	0,70	109	262	66	1,71
		N0-1	69	226	109	0,65	102	274	78	1,31
		N1-0	65	219	114	0,57	108	271	70	1,56
		N1-1	71	257	118	0,62	111	311	80	1,40
3	AG	N0-0	57	203	119	0,48	80	265	95	0,85
		N0-1	66	267	134	0,50	80	272	99	0,84
		N1-0	53	183	115	0,46	84	254	84	1,02
		N1-1	58	219	125	0,46	83	278	97	0,86
	GA	N0-0	68	177	76	0,90	104	219	57	1,92
		N0-1	63	128	59	1,10	103	191	48	2,29
		N1-0	75	200	78	0,97	98	196	51	2,08
		N1-1	72	200	83	0,88	108	184	42	2,74
AÑO 2007										
1	SU	N0-0	96	173	47	2,06	87	290	103	0,86
		N0-1	98	216	62	1,60	82	345	139	0,61
		N1-0	105	221	57	1,86	82	376	142	0,58
		N1-1	102	264	74	1,40	78	404	162	0,49
	TO	N0-0	89	180	52	1,84	59	237	115	0,53
		N0-1	85	256	79	1,07	68	285	119	0,58
		N1-0	91	207	68	1,45	69	297	117	0,59
		N1-1	87	285	86	1,02	61	306	142	0,44
2	CH	N0-0	79	208	76	1,04	59	282	150	0,41
		N0-1	79	228	91	0,88	56	273	172	0,33
		N1-0	71	217	95	0,77	54	270	173	0,31
		N1-1	70	229	106	0,67	58	271	155	0,38
	ES	N0-0	115	158	33	3,48	98	350	114	0,87
		N0-1	118	193	42	2,94	99	304	94	1,07
		N1-0	118	217	47	2,60	98	340	107	0,92
		N1-1	118	238	52	2,29	107	362	100	1,08
3	AG	N0-0	91	190	60	1,55	59	174	98	0,60
		N0-1	92	194	60	1,53	58	192	117	0,49
		N1-0	82	191	69	1,21	81	166	60	1,35
		N1-1	84	225	82	1,03	57	217	131	0,44
	GA	N0-0	92	137	37	2,46	100	249	70	1,44
		N0-1	90	146	41	2,39	101	261	73	1,37
		N1-0	102	195	49	2,13	81	268	103	0,83
		N1-1	99	190	50	2,03	105	295	77	1,37

Tabla A.14: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) para los parámetros del alveograma: tenacidad (P -mm), fuerza panadera (W  $\times 10^{-4}$  J), extensibilidad (L -mm) y la relación de equilibrio (P/L), de la masa. ANVA realizados agrupando las variedades por grupos de calidad.

FV	P R <sup>2</sup> =0,88 CV=10			W R <sup>2</sup> =0,80 CV=13			L R <sup>2</sup> =0,90 CV=14			P/L R <sup>2</sup> =0,87 CV=28		
	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig
GC	1387	3,7	N/S	209517	34,4	**	27877	16,5	N/S	3,3	5,3	N/S
AÑO	3798	10,1	***	14449	2,4	***	8200	4,9	***	8,4	13,4	***
LOC	1617	4,3	**	161894	26,6	***	8972	5,3	***	0,7	1,2	N/S
N	131	0,3	N/S	56261	9,2	***	7259	4,3	***	1,5	2,3	N/S
GC*AÑO	2784	7,4	***	7267	1,2	N/S	3584	2,1	**	2,4	3,8	**
GC*LOC	2160	5,7	**	32431	5,3	***	4267	2,5	**	1,7	2,7	*
GC*N	274	0,7	N/S	25242	4,1	**	3257	1,9	N/S	0,9	1,4	N/S
AÑO*LOC	24333	64,5	***	42167	6,9	***	98259	58,1	***	39,2	62,9	***
AÑO*N	149	0,4	N/S	8806	1,4	N/S	1752	1,0	N/S	1,5	2,4	N/S
LOC*N	115	0,3	N/S	2722	0,4	N/S	625	0,4	N/S	1,1	1,8	N/S
GC*AÑO*LOC	373	1,0	N/S	32309	5,3	***	1924	1,1	N/S	0,3	0,5	N/S
GC*AÑO*N	81	0,2	N/S	4181	0,7	N/S	468	0,3	N/S	0,2	0,3	N/S
GC*LOC*N	181	0,5	N/S	611	0,1	N/S	400	0,2	N/S	0,3	0,4	N/S
AÑO*LOC*N	55	0,1	N/S	742	0,1	N/S	117	0,1	N/S	0,4	0,6	N/S
GC*AÑO*LOC*N	279	0,7	N/S	9915	1,6	N/S	2057	1,2	N/S	0,5	0,9	N/S

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia (S) al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales GC, AÑO, LOC, y GC y sus interacciones, R<sup>2</sup>= ajuste del modelo y CV= coeficiente de variación del ANVA.

Tabla A.15: Parámetros de panificación: porcentaje de absorción de agua (AA. - %), tiempo de amasado (T AM -min) y volumen de pan (Vol -cc), para los seis cultivares estudiados, agrupados por grupo de calidad, y tratamientos de fertilización (N0-0, N0-1, N1-0 y N1-1) en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino en los años 2006 y 2007.

GC	VAR	N	M. JUAREZ			PERGAMINO		
			A.A	T AM	Vol.	A.A	T AM	Vol.
AÑO 2006								
1	SU	N0-0	61,3	2,7	798,3	62,3	3,3	731,7
		N0-1	62,3	3,2	830,0	62,7	3,5	743,3
		N1-0	62,7	3,0	851,7	62,3	3,0	708,3
		N1-1	62,3	3,2	861,7	62,8	2,8	763,3
	TO	N0-0	61,7	3,2	851,7	61,0	3,0	718,3
		N0-1	61,8	3,2	841,7	61,0	3,0	701,7
		N1-0	62,3	3,0	880,0	61,7	3,3	730,0
		N1-1	62,8	3,2	873,3	61,7	3,3	738,3
2	CH	N0-0	61,0	2,7	745,0	62,2	2,7	721,7
		N0-1	60,7	2,5	731,7	62,2	2,3	741,7
		N1-0	60,0	2,2	645,0	61,8	2,5	693,3
		N1-1	60,3	2,7	723,3	62,2	3,0	730,0
	ES	N0-0	60,7	2,3	765,0	62,0	2,8	623,3
		N0-1	61,0	2,3	715,0	62,0	2,8	631,7
		N1-0	60,7	2,5	731,7	62,0	2,8	631,7
		N1-1	61,3	2,4	825,0	62,3	3,3	650,0
3	AG	N0-0	60,7	2,0	700,0	62,0	2,5	650,0
		N0-1	61,5	2,7	788,3	62,0	3,2	731,7
		N1-0	60,0	2,0	708,3	61,7	2,7	670,0
		N1-1	61,0	2,5	715,0	62,2	2,8	668,3
	GA	N0-0	60,0	2,5	586,7	61,3	3,0	520,0
		N0-1	59,7	2,2	468,3	60,8	2,7	560,0
		N1-0	60,7	2,7	591,7	60,5	2,8	495,0
		N1-1	60,3	2,5	576,7	60,8	2,5	481,7
AÑO 2006								
1	SU	N0-0	60,0	2,5	476,7	62,3	3,0	722,5
		N0-1	61,0	3,0	495,0	62,5	3,3	690,0
		N1-0	61,0	3,0	500,0	63,0	3,0	780,0
		N1-1	61,7	3,2	616,7	63,3	2,8	822,5
	TO	N0-0	60,0	2,5	506,7	61,0	3,0	777,5
		N0-1	61,3	3,2	635,0	62,3	3,3	792,5
		N1-0	61,3	3,2	665,0	62,3	3,5	817,5
		N1-1	62,0	3,3	666,7	62,5	3,8	887,5
2	CH	N0-0	60,7	2,8	535,0	62,0	3,5	860,0
		N0-1	61,0	2,7	501,7	61,5	2,5	827,5
		N1-0	60,7	2,8	528,3	62,0	2,5	857,5
		N1-1	61,0	2,8	613,3	62,0	3,0	790,0
	ES	N0-0	62,3	2,3	386,7	62,8	2,8	670,0
		N0-1	61,7	2,6	373,3	62,3	2,8	602,5
		N1-0	62,2	2,8	398,3	62,8	3,3	630,0
		N1-1	62,3	3,2	453,3	62,8	2,8	677,5
3	AG	N0-0	60,0	2,5	443,3	60,0	2,5	597,5
		N0-1	60,0	2,5	375,0	60,0	2,3	617,5
		N1-0	60,3	2,5	458,3	60,0	2,3	465,0
		N1-1	61,0	2,3	535,0	61,0	2,7	757,5
	GA	N0-0	59,7	2,2	381,7	61,5	3,3	512,5
		N0-1	59,8	2,3	395,0	61,5	3,5	502,5
		N1-0	60,5	2,7	461,7	61,5	2,8	610,0
		N1-1	60,7	2,7	413,3	62,3	2,8	592,5

Tabla A.16: Suma de cuadrados (SC), porcentaje de explicación (%) y nivel de significancia (NSig) para cada fuentes de variación (FV) de los parámetros de panificación: porcentaje de absorción de agua (AA. -%), tiempo de amasado (T AM - min) y volumen de pan (Vol. -cc). ANVA realizado agrupando las variedades por grupos de calidad.

FV	AA R <sup>2</sup> =0,76 CV=1,03			T AM R <sup>2</sup> =0,65 CV=12,14			Vol R <sup>2</sup> =0,93 CV=7,46		
	SC	%	NSig	SC	%	NSig	SC	%	NSig
GC	53,8	34,2	N/S	12,65	52,0	*	1205000	29,1	***
AÑO	1,7	1,1	*	0,16	0,7	S/N	1074154	26,0	***
LOC	42,8	27,2	***	4,02	16,5	***	181018	4,4	***
N	11,8	7,5	***	1,12	4,6	**	92155	2,2	***
GC*AÑO	9,9	6,3	***	0,72	3,0	*	581	0,0	N/S
GC*LOC	4,5	2,9	**	0,47	1,9	S/N	37702	0,9	**
GC*N	9,3	5,9	**	1,75	7,2	*	31871	0,8	N/S
AÑO*LOC	1,2	0,7	N/S	0,07	0,3	S/N	1310192	31,7	***
AÑO*N	3,6	2,3	*	0,39	1,6	S/N	61236	1,5	**
LOC*N	0,9	0,6	N/S	0,7	2,9	S/N	7717	0,2	N/S
GC*AÑO*LOC	13,9	8,8	***	0,3	1,2	S/N	56982	1,4	**
GC*AÑO*N	2,6	1,6	N/S	0,61	2,5	S/N	22577	0,5	N/S
GC*LOC*N	1,0	0,6	N/S	0,43	1,8	S/N	31514	0,8	N/S
AÑO*LOC*N	0,1	0,1	N/S	0,44	1,8	S/N	8069	0,2	N/S
GC*AÑO*LOC*N	0,4	0,3	N/S	0,48	2,0	S/N	14727	0,4	N/S

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican niveles de significancia (S) al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales GC, AÑO, LOC y sus interacciones, R<sup>2</sup>= ajuste del modelo y CV= coeficiente de variación del ANVA.

Tabla A.17: Índice de calidad para los grupo de calidad (Ical-GC), y las variedades (Ical-VAR), en las localidades de Marcos Juárez y Pergamino en los dos años de estudio.

GC	VAR	MARCOS JUAREZ		PERGAMINO	
		Ical-GC	Ical-VAR	Ical-GC	Ical-VAR
2006					
1	SU	57 <sup>a</sup>	60 <sup>a</sup>	46 <sup>a</sup>	58 <sup>a</sup>
	TO		54 <sup>a</sup>		34 <sup>c</sup>
2	CH	38 <sup>b</sup>	34 <sup>b</sup>	51 <sup>a</sup>	59 <sup>a</sup>
	ES		41 <sup>b</sup>		42 <sup>bc</sup>
3	AG	28 <sup>c</sup>	40 <sup>b</sup>	31 <sup>b</sup>	46 <sup>b</sup>
	GA		16 <sup>c</sup>		16 <sup>d</sup>
2007					
1	SU	26 <sup>a</sup>	21 <sup>b</sup>	67 <sup>a</sup>	78 <sup>a</sup>
	TO		30 <sup>a</sup>		57 <sup>b</sup>
2	CH	19 <sup>ab</sup>	23 <sup>b</sup>	66 <sup>a</sup>	65 <sup>b</sup>
	ES		15 <sup>c</sup>		67 <sup>b</sup>
3	AG	13 <sup>b</sup>	15 <sup>c</sup>	39 <sup>b</sup>	40 <sup>c</sup>
	GA		12 <sup>c</sup>		39 <sup>c</sup>
	VAR		NS		**
	VAR*AÑO		***		***
	GC	NS		*	
	N	***	***	**	***
	AÑO	***	***	***	**
	GC*N	**	**	NS	**
	GC*AÑO	***	***	NS	*

Los asteriscos \*, \*\* y \*\*\* indican diferencia significancia al 0,1, 0,05 y 0,01 respectivamente. NS indica no significativo para los efectos principales VAR, GC, N y AÑO, y sus interacciones. Letras diferentes dentro de cada columna para cada año y localidad indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).