



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE DOCTORA EN AGRONOMÍA

CALIDAD INDUSTRIAL DEL TRIGO PARA FIDEOS
EN EL SUR BONAERENSE:
EFECTOS DEL GENOTIPO, EL AMBIENTE
Y SUS INTERACCIONES

MARTA MIRAVALLS

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2017

PREFACIO

Esta tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado académico de Doctora en Agronomía, de la Universidad Nacional del Sur, y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otras. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Agronomía de la UNS durante el período comprendido entre marzo de 2009 y el presente, bajo la dirección de la Dra. Viviana Echenique, Profesora Titular del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur.

.....



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el/...../....., mereciendo la calificación de (.....).

A mis hijos, para quienes deseo que esta tesis les deje la enseñanza de que con determinación y esfuerzo, es posible concretar nuestros sueños, sea cual fuere el momento de la vida en que nos lo proponamos y para que tengan siempre presente que

“Dios, le da a cada pájaro su sustento ... pero “nunca se lo pone en el nido”

AGRADECIMIENTOS

A mi Directora, Dra. Viviana Echenique, por su acompañamiento, sus sugerencias y su confianza.

Al Ing. Agr. Federico Möckel, por su legado, y por las invalorable enseñanzas que me dejó en los años compartidos en la Cátedra de Cereales.

A los Técnicos de la Chacra Experimental Integrada de Barrow, Ingenieros Carlos Jensen, María Laura Seghezze, Elena Molfese, Marta Borda, Adelina Larsen, por su colaboración en los análisis de calidad, y su generosidad y compañerismo durante todos estos años.

A los responsables de la conducción del Ensayo Regional de Trigo Candeal: Ing. Carlos Jensen, Lisardo González, Armando Junquera, Juan Ramón López.

A la Dra. Nélica Winzer y al Lic. Ricardo Camina, por su valiosa asistencia en temas de estadística, y por su calidez humana.

A mis queridos compañeros de trabajo, Alejandro (Presotto), Claudio (Pandolfo), y Mauricio (Casquero), por su respeto, su apoyo, y su incondicionalidad, y fundamentalmente por sus valores personales, que resaltan aún más su capacidad intelectual y académica, y hacen placentera la labor cotidiana.

Al Departamento de Agronomía de la UNS, que a estas alturas, es casi mi segundo hogar.

A la Bolsa de Cereales de Bahía Blanca, que junto con la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNS aportaron los fondos para la concreción del PGI TIR en el marco del cual se desarrolló esta tesis.

A mis padres, que aunque ya no están conmigo, me acompañan siempre.

A mi querido esposo, y a mis hijos, por su amor y su apoyo incondicional.

RESUMEN

El trigo para fideos (*Triticum turgidum* var. *durum* Desf.), o trigo candeal, como se lo denomina habitualmente en Argentina, es un cereal de larga tradición en el sur bonaerense, donde se lo cultiva de forma excluyente para abastecer la demanda de las industrias semolera y fideera, tanto regional como nacional. Si bien hacia fines de la década del 60' y principios de los 70' la producción de este cereal alcanzó niveles destacados que le permitieron al país incursionar en el mercado internacional, en la actualidad, para asegurarse los volúmenes de grano necesarios para operar a lo largo del año (alrededor de 250.000 t), la cadena del candeal depende de la celebración de contratos con los productores.

La amplitud del área, y la diversidad de suelos en que se lo cultiva, sumadas a las fluctuaciones interanuales en los factores del clima, suelen traer aparejados problemas de falta de consistencia en la calidad industrial del grano cosechado que complican la operatividad de la industria procesadora, cuyos protocolos de elaboración demandan alta homogeneidad en la calidad de la materia prima. A ello se agregan las variaciones debidas al espectro de variedades en uso, y la diferente respuesta de las mismas a las fluctuaciones impuestas por el ambiente. Es por ello que para asistir al sector de la producción en la toma de decisiones que permitan estabilizar los niveles de calidad a lo largo del tiempo, se hace necesaria la implementación de estudios que exploren en profundidad el modo en que las distintas variables que integran la calidad del grano y de la sémola, son afectadas por los factores del ambiente, y por las complejas relaciones que gobiernan la respuesta de los genotipos al mismo. En este marco, en el presente trabajo de tesis se analizaron los efectos del ambiente, el genotipo y las interacciones genotipo-ambiente (GA) sobre seis atributos de calidad de interés para la industria, tres en el grano, peso hectolítrico, vitreosidad y contenido proteico, y tres en la sémola, índice de amarillo, y cantidad y fuerza de gluten, en cinco cultivares comerciales de trigo para fideos, sembrados durante tres ciclos agrícolas en cuatro localidades pertenecientes a las subregiones del Centro Sur Subhúmedo y Sudoeste Semiárido de la zona de producción de trigo candeal.

Los resultados del estudio revelaron la existencia de amplias diferencias en la contribución relativa de los efectos del ambiente, el genotipo y las interacciones GA para los seis atributos analizados, con prevalencia de los efectos asociados al ambiente en el caso de las tres variables medidas en el grano y del gluten húmedo de la sémola, y mayor impacto del genotipo sobre el índice de amarillo y la fuerza de gluten.

En lo que concierne a las interacciones GA, las mismas fueron particularmente importantes para el contenido proteico del grano y el gluten húmedo, en tanto que para el resto, la magnitud fue menor, y estuvo asociada por lo general, con cambios proporcionales a las fluctuaciones del ambiente. El largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón, y en un segundo plano, el rendimiento, y el tamaño y forma del grano, fueron las variables que más influyeron en la respuesta diferencial de las variedades al ambiente, a excepción del gluten index de la sémola, donde la sensibilidad en la respuesta se mostró mayormente vinculada con la fuerza de gluten intrínseca de la variedad.

Entre las subregiones, el Sudoeste Semiárido se destacó consistentemente con altos niveles de proteína, gluten y color, y valores de peso hectolítrico y vitreosidad también satisfactorios y estables entre campañas, lo cual puede considerarse una fortaleza para la región en virtud de los comparativamente bajos niveles de rendimiento que la caracterizan. Por su parte, entre las localidades del Centro Sur, donde los rendimientos fueron por lo general superiores, la calidad del grano fue igualmente satisfactoria, con La Dulce destacándose con valores consistentemente altos de PH, rubro en el que Barrow mostró cierta dificultad para satisfacer las exigencias impuestas por el Grado 1 de la norma comercial, e inconsistencia entre años. Esta última localidad, en contrapartida, ostentó los niveles más altos de vitreosidad, aún en los casos en que la proteína del grano se ubicó en el rango de valores intermedios.

Pese a las diferencias en las condiciones agroclimáticas, y en los rendimientos y calidad del grano cosechado, la evidencia recogida en este estudio permite suponer que en lo que respecta a la calidad, las localidades ensayadas

integran un único mega-ambiente de respuesta, donde por lo general los niveles de calidad exhibidos por los genotipos fueron, proporcionales a los cambios del ambiente, y la ocurrencia de episodios esporádicos de déficit o excesos hídricos, y/o de altas temperaturas durante el llenado de granos, se constituyeron en la principal causa de alteraciones en el comportamiento de las variedades.

ABSTRACT

Pasta wheat (*Triticum turgidum* var. *durum* Desf.), or “candeal” wheat, as usually called in Argentina, is a cereal crop of long tradition in southern Buenos Aires province, where it is grown exclusively for supplying the demands of regional as well as national semolina and pasta industries. Although near the end of the decade of ‘sixties’ and beginning of ‘seventies’ the production of this cereal crop reached substantial levels which allowed the country to participate in the international market, at present, to guarantee the grain volumes required to operate throughout the year (about 250.000 t), the candeal chain depends on pre-sowing cultivation contracts held with producers.

The wideness of cultivation area, and the diversity of soils where it’s sown, along with year-on-year fluctuations of weather factors, usually bring about troubles of lack of consistency in the industrial quality of harvested grain which complicate the operability of the processing industry, whose protocols procedures require high homogeneity in the quality of the raw material. In addition to this, there are the quality variations due to the spectrum of varieties in use, and their different response to fluctuations imposed by environment. This is why, for assisting the production sector in making decisions for allowing stabilize quality levels throughout the time, it becomes necessary the implementation of studies to deeply explore the way different variables integrated in grain and semolina quality, are affected by environmental factors, and by the complex relationships governing the response of genotypes to it.

Within this context, in the present thesis work the effects of environment, genotype and genotype-environment interactions (GE) on six quality attributes of interest for industry, three on the grain, test weight, vitreousness and protein content, and three on semolina, yellow index, and gluten quantity and quality, were analyzed on five commercial cultivars of pasta wheat, sown during three crop cycles in four locations belonging to Sub Humid Central South and Semiarid South West sub-regions of the candeal producing area.

Outcomes of the study revealed the existence of wide differences in relative contribution of environment, genotype and GA interactions for the six attributes analyzed, with environment effects prevailing on the three variables measured on grain and semolina gluten content, and a greater impact of genotype on yellow index and gluten strength.

Concerning GE interactions, they were particularly important for grain protein and wet gluten contents, while for the rest, they were smaller, and generally associated with changes which were in proportion to environmental fluctuations. Cultivar cycle length from emergence to heading, and in second place, yield and grain size and shape, were the variables which influenced the most the differential response of varieties to environment, with exception of gluten index where response sensitivity showed to be mainly related with variety intrinsic gluten strength.

Among sub-regions, Semiarid South West, stood out consistently with high levels of grain protein, wet gluten content and yellow index, and values of test weight and vitreousness also satisfactory and stable between seasons, which can be considered a strength for this region considering its characteristic lower yield levels. Within Central South, where yields were generally higher, grain quality was satisfactory to the same extent, with La Dulce standing out with consistently high values of test weight, where Barrow showed more difficulty to satisfy the demands imposed by Grade 1 of the trading standard and inconsistency among seasons. The latest, in contrast, showed the highest levels of vitreousness, even in cases when grain protein was in the intermediate-range values.

Despite the differences in agro-climatic conditions, and in the yield and quality of harvested grain, evidence gathered in this study revealed that, concerning quality, tested locations represented a single mega-environment of response, where quality levels exhibited by genotypes were, in general, proportionate to environmental changes, and sporadic episodes of water deficit or excess and/or

high temperatures during grain filling, were the most likely causes of alterations in genotypes' behavior.

Certifico que fueron incluidos los cambios y correcciones sugeridas por los jurados.

Firma de la Directora

ÍNDICE

PREFACIO	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XXII
ABREVIATURAS	XXVI
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
HIPÓTESIS Y OBJETIVO GENERAL	13
MATERIALES Y MÉTODOS	14
DISEÑO GENERAL DEL ENSAYO	14
CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LOS AMBIENTES	23
CAPÍTULO 1: Influencia del ambiente, el genotipo y las interacciones genotipo-ambiente sobre los atributos del grano de trigo para fideos asociados al rendimiento de sémola: porcentaje de proteína del grano, vitreosidad y peso hectolítrico.	
1.1. INTRODUCCIÓN	26
1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	41
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	42
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS	43
1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45

1.5.1. Influencia del ambiente, el genotipo y las interacciones genotipo-ambiente sobre porcentaje de proteína del grano.....	48
1.5.2. Influencia del ambiente, el genotipo y las interacciones genotipo-ambiente sobre la vitreosidad del grano.....	74
1.5.3. Influencia del ambiente, el genotipo y las interacciones genotipo-ambiente sobre el peso hectolítrico del grano.....	99
1.6. CONCLUSIONES PARCIALES	120
 CAPÍTULO 2: Influencia del ambiente, el genotipo y las interacciones genotipo-ambiente sobre los atributos del trigo para fideos asociados a la calidad de la sémola: índice de amarillo, y contenido y fuerza de gluten.	
2.1. INTRODUCCIÓN	124
2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	136
2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	137
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	139
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	143
2.5.1. Influencia del genotipo, el ambiente y las interacciones genotipo-ambiente sobre el color de la sémola	146
2.5.2. Influencia del genotipo, el ambiente y las interacciones genotipo-ambiente sobre la cantidad y la calidad del gluten	166
2.6. CONCLUSIONES PARCIALES	213
 CONSIDERACIONES FINALES	 217
REFERENCIAS	219
ANEXO DE TABLAS	259

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Localización geográfica y principales características de los suelos y clima de las localidades de Bordenave, Cabildo, Barrow y La Dulce entre 2004 y 2006.....	15
Tabla II. Cultivos antecesores y tratamientos de fertilización aplicados en los lotes de ensayo de trigo candeal en Barrow, La Dulce, Cabildo y Bordenave durante las campañas agrícolas 2004, 2005 y 2006.....	16
Tabla III. Fechas de siembra de los ensayos de trigo candeal en La Dulce, Barrow, Cabildo y Bordenave durante las campañas agrícolas 2004, 2005 y 2006.....	16
Tabla IV. Año de liberación y pedigree de los cinco genotipos de trigo candeal participantes del ensayo.....	17
Tabla V. Determinaciones analíticas y metodología utilizada para la determinación de distintos atributos de calidad medidos en el grano, la sémola, y la proteína de reserva del grano en trigo candeal cultivado en el sur bonaerense entre 2004 y 2006.....	19
Tabla VI. Principales rasgos climáticos que caracterizaron a las campañas agrícolas 2004 a 2006.....	25
Tabla 1.1: Valores medios y rangos de variación para el contenido proteico (%), el peso hectolítrico (Kg hL ⁻¹), la vitreosidad (%) y el rendimiento de grano (Kg Ha ⁻¹) de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006	45
Tabla 1.2. Análisis de la varianza para los efectos del ambiente (A), el genotipo (G), y la interacción genotipo x ambiente (GA), sobre el contenido de proteína del grano (%), la vitreosidad (%) y el peso hectolítrico (Kg hL ⁻¹), de cinco genotipos de trigo candeal evaluados en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense	46

Tabla 1.3. Varianzas asociadas a los efectos del ambiente (σ^2_E), el genotipo (σ^2_G), las interacciones genotipo-ambiente (σ^2_{ExG}) y cocientes respectivos, para tres atributos del grano de trigo candeal vinculados al rendimiento de sémola	47
Tabla 1.4. Valores medios y rango de variación del contenido de proteína del grano (%) de trigo candeal, en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006	49
Tabla 1.5. Análisis de la varianza para el contenido de proteína del grano (%) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en cuatro localidades del sur bonaerense durante tres años	50
Tabla 1.6. Valores medios de Proteína del grano (%) de trigo candeal, en cuatro localidades del sur bonaerense pertenecientes a dos regiones de cultivo durante los años 2004, 2005 y 2006 (Promedio de cinco genotipos y tres repeticiones).....	52
Tabla 1.7. Coeficientes de correlación de Pearson entre el porcentaje de proteína de los granos, y variables productivas y climáticas asociadas	54
Tabla 1.8. Coeficientes de sendero para los efectos directos e indirectos de las lluvias acumuladas entre enero y septiembre (mm), y la temperatura media del segundo semestre del año (°C) sobre el porcentaje de proteína del grano de diez ambientes de cultivo de trigo candeal en el sur bonaerense	57
Tabla 1.9. Valores medios de proteína en el grano (%) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006	59
Tabla 1.10: Valores medios de proteína del grano (%), rendimiento (Kg Ha^{-1}), peso de mil granos (g), y largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (días) de cinco genotipos de trigo candeal a través de diez ambientes de cultivo en el sur bonaerense.....	63
Tabla 1.11. Valores medios y rangos de precipitaciones (P_p , mm) y temperatura (T° , °C) en dos mega-ambientes de respuesta para el porcentaje	

de proteína del grano de cinco genotipos de trigo candeal a través de diez ambientes de cultivo65

Tabla 1.12. Coeficientes de correlación de Pearson entre el Porcentaje de Proteína del grano, el rendimiento (Kg Ha^{-1}), y la duración del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP, días), en tres ambientes de cultivo de trigo candeal durante 200668

Tabla 1.13: Valores medios de Proteína en el grano (%), y parámetros estimadores de estabilidad de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en diez ambientes del sur bonaerense72

Tabla 1.14. Valores medios y rango de variación de la vitreosidad del grano (%), de diez ambientes de cultivo de trigo candeal en el sur bonaerense entre 2004 y 200676

Tabla 1.15. Análisis de la varianza para la vitreosidad del grano (VIT, %) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en cuatro localidades del sur bonaerense durante tres años77

Tabla 1.16. Valores medios de vitreosidad del grano (%), en cuatro localidades del sur bonaerense pertenecientes a dos regiones de cultivo de trigo candeal entre 2004 y 2006 (Promedio de 5 genotipos y tres repeticiones)79

Tabla 1.17. Influencia de la proteína del grano (PROT, %), el largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP, días), las precipitaciones (mm) y la humedad relativa (HR, %) durante los meses del llenado sobre la vitreosidad del grano (VIT, %) de trigo candeal en diez ambientes del sur bonaerense (Promedio de cinco genotipos)83

Tabla 1.18. Valores medios de vitreosidad del grano (%) de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense entre 2004 y 200685

Tabla 1.19. Medias de Vitreosidad del grano (%), y coeficientes de correlación de Pearson entre la vitreosidad, la proteína del grano (%), el rendimiento (Kg Ha^{-1}), la duración media del período de emergencia a espigazón (días) y

variables de dimensión y forma del grano, peso de mil granos (PMG, g), ancho (A, mm), largo (L,mm) y relación de aspecto A/L, en cinco ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense	92
Tabla 1.20. Influencia del ciclo (días), el rendimiento (RG, Kg Ha ⁻¹), el contenido de proteína (%) y las características asociadas al tamaño y dimensión de los granos (peso de mil granos, ancho, largo y relación A/L) sobre el porcentaje de vitreosidad de cinco variedades de trigo candeal en dos ambientes del sur bonaerense con precipitaciones contrastantes durante el llenado y maduración de los granos	95
Tabla 1.21. Valores medios de vitreosidad del grano (%), y parámetros estimadores de estabilidad para cinco genotipos de trigo candeal cultivados en diez ambientes del sur bonaerense	98
Tabla 1.22. Valores medios y rango de variación de Peso Hectolítrico (PH, Kg hL ⁻¹) de trigo candeal, en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense entre 2004 y 2006	100
Tabla 1.23. Análisis de la varianza para el Peso Hectolítrico del grano (PH, KghL ⁻¹) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en cuatro localidades del sur bonaerense durante tres años.....	101
Tabla 1.24. Valores medios de Peso Hectolítrico (Kg hL ⁻¹), en cuatro localidades del sur bonaerense pertenecientes a dos regiones de cultivo de trigo candeal entre 2004 y 2006	102
Tabla 1.25. Coeficientes de correlación de Pearson entre el Peso Hectolítrico (PH, Kg hL ⁻¹) y variables productivas y climáticas asociadas para diez ambientes de cultivo de trigo candeal en el sur bonaerense	104
Tabla 1.26. Efectos directos e indirectos de la temperatura media de la 1 ^{ra} quincena de diciembre (°C) sobre el peso hectolítrico del grano de trigo candeal (PH, Kg hL ⁻¹) en diez ambientes del sur bonaerense	105
Tabla 1.27. Influencia de la temperatura media de la primera quincena de diciembre (°C) sobre el peso hectolítrico (PH, Kg hL ⁻¹), el peso de mil granos	

(PMG, g) y el porcentaje de proteína del grano en dos ambientes de cultivo con condiciones de temperatura contrastantes	106
Tabla 1.28. Valores medios de Peso Hectolítrico (Kg hL^{-1}) de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense entre 2004 y 2006	108
Tabla 1.29. Valores medios de peso hectolítrico (PH, Kg hL^{-1}), largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP, días), peso de mil granos (PMG, g), y cociente entre el ancho y el largo del grano (A/L), de cinco genotipos de trigo candeal a través de diez ambientes de cultivo del sur bonaerense	112
Tabla 1.30. Valores medios de peso hectolítrico (PH, Kg hL^{-1}) y temperatura de la primera quincena de diciembre ($^{\circ}\text{C}$), y correlaciones entre el peso hectolítrico (PH) y el peso de mil granos (PMG) en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense	113
Tabla 1.31. Valores medios de Peso de mil granos (PMG, g), Peso Hectolítrico (PH, Kg hL^{-1}), relación de aspecto del grano A/L, y variación porcentual de los tres ($\%\Delta$), para cinco genotipos de trigo candeal cultivados en dos ambientes contrastantes del sur bonaerense.....	117
Tabla 1.32. Valores medios de Peso Hectolítrico (Kg hL^{-1}), y parámetros estimadores de estabilidad para cinco genotipos de trigo candeal cultivados en diez ambientes del sur bonaerense	118
Tabla 2.1. Valores medios y rango de variación para el Índice de amarillo de la sémola (b^*), el porcentaje de gluten húmedo (GH, %) y la fuerza de gluten, medida a través del Gluten Index (GI, %) de trigo candeal cultivado en el sur bonaerense entre 2004 y 2006	143
Tabla 2.2. Variabilidad atribuida a los efectos del ambiente (A), el genotipo (G), y la interacción genotipo x ambiente (GA), sobre el Índice de Amarillo de la sémola (b^*), el contenido de Gluten Húmedo (%), y el Gluten Index (%) de cinco genotipos de trigo candeal a través de 10 ambientes de cultivo del sur bonaerense	144

Tabla 2.3. Varianzas asociadas a los efectos del ambiente (σ^2_E), el genotipo (σ^2_G), las interacciones genotipo-ambiente (σ^2_{ExG}) y cocientes respectivos, para tres atributos de calidad de la sémola en trigo candeal	145
Tabla 2.4. Valores medios y rango de variación del Índice de Amarillo de la sémola (b^*), en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense entre 2004 y 2006	147
Tabla 2.5. Análisis de la varianza para el Índice de Amarillo de la sémola (b^*) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en cuatro localidades del sur bonaerense durante tres años	149
Tabla 2.6. Valores medios de Índice de Amarillo de la sémola (b^*) de trigo candeal, para cuatro localidades del sur bonaerense pertenecientes a dos regiones de cultivo entre los años 2004 y 2006	150
Tabla 2.7. Coeficientes de correlación de Pearson entre el Índice de Amarillo de la sémola de trigo candeal (b^*), el largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP, días), el rendimiento de grano (RG, Kg Ha ⁻¹), el peso de mil granos (PMG, g), el contenido de proteína (%), y variables climáticas asociadas, en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense	151
Tabla 2.8. Coeficientes de sendero para los efectos directos e indirectos de las precipitaciones del mes de noviembre (mm), y las temperaturas del segundo semestre del año (°C) sobre el Índice de amarillo de la sémola (b^*) de diez ambientes de cultivo de trigo candeal en el sur bonaerense	153
Tabla 2.9. Valores medios y rango de variación del Índice de Amarillo de la sémola (b^*) de cinco genotipos de trigo candeal a través de diez ambientes de cultivo del sur bonaerense	154
Tabla 2.10. Valores medios de Índice de Amarillo (b^*) de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense entre 2004 y 2006	155

Tabla 2.11. Valores medios de Índice de Amarillo de la sémola (b^*) y coeficientes de correlación de Pearson entre b^* y el peso de mil granos (PMG, g), en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense	157
Tabla 2.12. Valores medios de Índice de Amarillo de la sémola (b^*), largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP, días), peso de mil granos (PMG, g) y coeficientes de correlación de Pearson entre el b^* y PMG, en cuatro ambientes contrastantes	163
Tabla 2.13. Valores medios de Índice de Amarillo de la sémola (b^*), y parámetros de estabilidad de cinco genotipos de trigo candeal a través de diez ambientes de cultivo en el sur bonaerense	164
Tabla 2.14. Valores medios y rango de variación del contenido de Gluten Húmedo (%) y de Gluten Index (%) de la sémola en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense entre 2004 y 2006	167
Tabla 2.15. Análisis de la varianza para el contenido de Gluten Húmedo de la sémola (GH, %), y el Gluten Index (GI, %) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en cuatro localidades del sur bonaerense durante tres años	168
Tabla 2.16. Efectos directos e indirectos de las lluvias acumuladas entre enero y septiembre (mm), y de la temperatura media del segundo semestre del año (°C) sobre el porcentaje de gluten húmedo de la sémola	172
Tabla 2.17. Coeficientes de correlación de Pearson entre el Gluten Index (GI, %), el porcentaje de proteína del grano (PROT,%), el gluten húmedo (GH,%), y las variables farinográficas (NE y AFLO) ^a y alveográficas (W, P,L y P/L) ^b , en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense	173
Tabla 2.18. Coeficientes de correlación simple de Pearson entre las precipitaciones (Pp, mm), las temperaturas medias (T, °C), la humedad relativa ambiente (HR, %) en distintos momentos del llenado de granos, y las variables estimadoras de la fuerza de gluten y de composición de la proteína de reserva, en diez ambientes de cultivo del trigo candeal del sur bonaerense	176

Tabla 2.19. Valores medios de fuerza de gluten, composición de la proteína de reserva del endosperma y significancia de los contrastes, entre dos grupos de ambientes con niveles contrastantes disponibilidad de agua durante el llenado de granos	178
Tabla 2.20. Valores medios de Gluten Index (%), y Variables Alveográficas y Farinográficas de cinco genotipos de trigo candeal de Argentina	186
Tabla 2.21. Composición alélica para los <i>loci</i> vinculados a la síntesis de gluteninas de alto peso molecular (Glu-A1 y Glu-B1), gluteninas de bajo peso molecular (Glu-A3, Glu-B3 y Glu-B2) y de γ y ω Gliadinas (Gli-B1) de cinco genotipos de trigo candeal de Argentina	188
Tabla 2.22. Valores medios, rangos y significancia de los contrastes entre variables cuantitativas y cualitativas asociados a la calidad industrial, y la composición de la proteína de reserva, en dos grupos de genotipos de trigo candeal con diferente composición alélica en el locus Glu-B1	190
Tabla 2.23. Valores medios de Gluten Húmedo (%) de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense entre 2004 y 2006	194
Tabla 2.24. Valores medios de capacidad formadora de gluten (GH/PROT) de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense entre 2004 y 2006	195
Tabla 2.25. Niveles medios de gluten húmedo (GH, %), proteína en el grano (PROT, %), capacidad formadora de gluten (GH/PROT), gluten index (GI,%), y composición de la proteína de reserva, relación gliadina/glutenina (GLI/GLU) y proporción de glutenina insoluble sobre la glutenina total (GI/GT, %) de cinco genotipos de trigo candeal en los ambientes donde exhibieron su mejor y peor comportamiento	200
Tabla 2.26. Valores medios de Gluten Húmedo (%), y parámetros estimadores de estabilidad de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense	202

Tabla 2.27. Valores medios de Gluten Index (%) de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense	203
Tabla 2.28. Niveles medios de Gluten Index (GI, %), Aflojamiento Farinográfico (AFLO, %), Fuerza Alveográfica (W, 10^{-4} Joules), y composición de la proteína de reserva, relación gliadina/glutenina (GLI/GLU) y proporción de glutenina insoluble sobre la glutenina total (GI/GT, %) de cinco genotipos de trigo candeal en los ambientes donde exhibieron el mejor y peor comportamiento del ensayo.	211
Tabla 2.29. Valores medios de Gluten Index (%), y parámetros estimadores de estabilidad de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense	212

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I. Evolución de la superficie, producción y rendimiento por hectárea del trigo candeal en Argentina para el período 1976 - 2015	7
Figura II. Zonas de producción de trigo candeal en Argentina	8
Figura III. Localización de las localidades de Barrow, La Dulce, Cabildo y Bordenave en la Provincia de Buenos Aires	14
Figura IV. Temperatura media y precipitación mensual en las localidades de Barrow, La Dulce, Cabildo y Bordenave durante las campañas 2004, 2005 y 2006	23
Figura V. Precipitación anual (mm) y temperaturas del segundo semestre y del último bimestre del año (°C) en La Dulce, Barrow, Cabildo y Bordenave durante las campañas 2004, 2005 y 2006	24
Figura 1.1: Apariencia externa de granos vítreos (izq.) y no vítreos (der.) de trigo candeal	30
Figura 1.2. Apariencia interna de granos no vítreos (A), moteados (B) y totalmente vítreos (C) de trigo candeal	31
Figura 1.3. Porcentaje de proteína del grano en diez ambientes de cultivo de trigo candeal en función de las precipitaciones (mm) caídas entre enero y septiembre	55
Figura 1.4. Biplot GGE para el Porcentaje de Proteína del grano de cinco genotipos de trigo candeal evaluados en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006	61
Figura 1.5. Proteína del grano (%) en función del rendimiento (Kg Ha^{-1}) para cinco variedades de trigo candeal cultivadas en dos mega-ambientes del sur bonaerense	66

Figura 1.6. Relaciones entre la proteína del grano (%) y el rendimiento (Kg Ha ⁻¹) en función de la temperatura media de la 1 ^{ra} quincena de diciembre en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense	70
Figura 1.7. Biplot GGE para la Vitreosidad del grano (%) de cinco genotipos de trigo candeal evaluados en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006	87
Figura 1.8. Influencia de las lluvias de noviembre y primera quincena de diciembre sobre la variación en los coeficientes de correlación entre la vitreosidad del grano (%) y el largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (días) en cinco ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense	93
Figura 1.9. Influencia de las lluvias caídas en la primera quincena de diciembre (mm) sobre la variación en los coeficientes de correlación entre la vitreosidad y el porcentaje de proteína de los granos en cinco ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense	94
Figura 1.10. Peso hectolítrico (Kg hL ⁻¹) de cinco variedades de trigo candeal en cuatro localidades de cultivo del sur bonaerense.....	109
Figura 1.11. Biplot GGE para el Peso hectolítrico del grano (Kg hL ⁻¹) de cinco genotipos de trigo candeal evaluados en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006	110
Figura 1.12. Efecto de la temperatura media de la primera quincena de diciembre (°C) sobre el grado de correlación existente entre el peso hectolítrico (Kg hL ⁻¹) y el peso de mil granos (g) en diez ambientes de cultivo de trigo candeal	114
Figura 2.1. Biplot GEE para el Índice de Amarillo de la sémola (<i>b</i> [*]) de cinco genotipos de trigo candeal evaluados en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006	159

Figura 2.2. Coeficientes de sendero para los efectos directos e indirectos de (A) las precipitaciones del mes de noviembre (mm), y (B) las temperaturas del segundo semestre del año (°C) sobre el Índice de amarillo de la sémola (b^*) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en diez ambientes del sur bonaerense	162
Figura 2.3. Valores medios de Gluten Húmedo (%) y Gluten Index (%) en la sémola para cuatro localidades del sur bonaerense entre 2004 y 2006	169
Figura 2.4. Contenido de Gluten Húmedo de la sémola (%) en función del porcentaje del proteína del grano en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense	172
Figura 2.5. Gluten Index de la sémola (%) en función de la temperatura media de la primera quincena de diciembre (°C) en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense	174
Figura 2.6. Variación en la composición de la proteína de reserva y en los niveles de aflojamiento farinográfico (AFLO, %) y fuerza alveográfica (W, 10^{-4} Joules) de trigo candeal en función de la temperatura media de la primera quincena de diciembre (°C) para dos condiciones de disponibilidad de agua contrastantes durante el llenado de granos: A, alta y B, baja	180
Figura 2.7. Valores medios de: A) proteína del grano (%), B) gluten húmedo de la sémola (%), y C) cociente GH/PROT de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en el sur bonaerense (Promedio de diez ambientes y tres repeticiones por ambiente)	184
Figura 2.8. Contenido de gluten húmedo de la sémola (%) y capacidad formadora de gluten (GH/PROT) en función del contenido de proteína del grano (%) para cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes del sur bonaerense	192
Figura 2.9. Efectos directos e indirectos del contenido proteico del grano (PROT, %) sobre los niveles de gluten húmedo de la sémola (%) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en diez ambientes del sur bonaerense.....	194

Figura 2.10. Biplot GGE para el Gluten Húmedo de la sémola (%) de cinco genotipos de trigo candeal evaluados en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006196

Figura 2.11. Biplot GEE para el Índice de Gluten de cinco genotipos de trigo candeal evaluados en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006206

Figura 2.12. Variaciones en los niveles de Gluten Index (%), Aflojamiento farinográfico (%), W alveográfico (10^{-4} Joules), y en la composición de la proteína de reserva, relación GLI/GLU y porcentaje GI/GT, en función de la temperatura media de la primera quincena de diciembre ($^{\circ}$ C) para dos grupos de genotipos con diferente composición alélica en el locus GLU-B1: alelo d (A) y alelo e (B) en ambientes con alta y baja disponibilidad hídrica210

ABREVIATURAS

°C: grado centígrado

Å: Angström

AACC: American Association of Cereal Chemists

AAFC: Agriculture and Agri-Food Canada

ACA: Asociación de Cooperativas Argentinas

AFLO: Aflojamiento

A/L: ancho sobre largo

ANOVA: Análisis de la varianza

B.: Buck

ca.: del latín *circa*

CIE: Commission Internationale de l'Éclairage

cm: centímetro

CM: cuadrado medio

CP: Componentes Principales

CV: Coeficiente de variación

CWAD: Canadian West Amber Durum

DA: Dalton/Daltons

EC: Escala de crecimiento

e.g.: del latín *exempli gratia*

EMaESP: Emergencia a espigazón

et al.: del latín *et alii*

FAO: Food and Agriculture Organization

FV: Fuente de variación

g: gramo/gramos

gl: grados de libertad

GA: interacción genotipo por ambiente

GI/GT: glutenina insoluble sobre glutenina total

GLI: gliadina

GLU: glutenina

GREG: regresión por genotipo

H°: Humedad relativa

ha: hectárea/hectáreas

HPLC: High Performance Liquid Chromatography

ICC: International Association for Cereal Chemistry

i.e.: del latín *id est*

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

IRAM: Instituto Nacional de Racionalización de Materiales

ISO: International Organization for Standardization

Kg: kilogramo

Kg Ha⁻¹: kilogramos por hectárea

Kg hL⁻¹: kilogramos por hectolitro

L: extensibilidad alveográfica

LSD: Least Significance Difference

m²: metro cuadrado

MA: mega-ambiente

mg: miligramos

µm: micrón

ml: mililitros

mm: milímetros

msnm: metros sobre el nivel del mar

N: nitrógeno

NE: nivel de energía farinográfico

NIR: Near Infrared Reflectance

OGGG: Official Grain Grading Guide

p : probabilidad

P: tenacidad alveográfica

PDA: Fosfato diamónico

PH: peso hectolítrico

pH: potencial de hidrógeno

P/L: relación de equilibrio entre tenacidad y extensibilidad

PMG: peso de mil granos

PROT: proteína

qq: quintales

QTL: quantitative trait loci

RG: rendimiento de grano

r : coeficiente de correlación

R^2_{Aj} : coeficiente de determinación ajustado

r.p.m.: revoluciones por minuto

S.A.: Sociedad Anónima

SAGPyA: Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación

SAS: Statistical Analysis Software

SC: Suma de cuadrados

SE-HPLC: Size exclusion - high performance liquid chromatography

SENASA: Servicio Nacional de Seguridad Agroalimentaria

SO: Sudoeste

SREG: regresión por sitio

s.s.s.: sobre sustancia seca

t: tonelada

UE: Unión Europea

USA: United States of America

USDA: United States Department of Agriculture

UV-VIS: ultravioleta visible

VIT: vitreosidad

vs: *versus*

W: fuerza o trabajo de deformación alveográfico

INTRODUCCIÓN GENERAL

EL TRIGO CANDEAL EN EL MUNDO

El trigo candeal o trigo para fideos (*Triticum turgidum* L. var *durum*), ($2n=28$, genomio AABB), es un miembro de la familia Poaceae, tribu Triticeae, que evolucionó en Medio Oriente vía hibridación interespecífica y duplicación cromosómica, seguida de domesticación. Las especies parentales *T. monococcum* y *Aegilops speltoides*, contribuyeron con los genomios A y B, respectivamente (Bozzini, 1988). A diferencia del trigo pan hexaploide (*Triticum aestivum* L.), el trigo candeal es una especie tetraploide, con granos de color amarillo ámbar, típicamente grandes, con endosperma de naturaleza dura y vítrea, lo que constituye un aspecto de fundamental importancia a la hora de maximizar el rendimiento de sémolas durante su molienda (Finney *et al.*, 1987)

Por las particulares características de su grano el trigo candeal constituye la materia prima de elección para la obtención de sémolas y elaboración de pastas de calidad, principal destino que se da a este cereal en los países de Occidente. No debe desestimarse, sin embargo, el importante mercado que representan los países del cercano Oriente y del norte de África, para quienes el trigo *durum* constituye el cereal base de la alimentación, en preparaciones tales como couscous, burgol y frek, entre otras (Quaglia, 1988).

Si bien la superficie mundial de trigo candeal no ha variado mayormente en los últimos años, ubicándose en promedio en los 17 millones de hectáreas, el volumen cosechado se ha incrementado como consecuencia de una mejora global en los rendimientos. Alrededor del 60% de la producción de *durum* se cultiva como cereal de invierno en clima mediterráneo en los países pertenecientes a la cuenca del Mediterráneo: Italia, Grecia, Francia y España, en el sur de Europa, Turquía y Siria, en el cercano oriente, y Túnez, Marruecos y Argelia, en el norte de África. Estados Unidos y Canadá, con

aproximadamente el 20% de la producción mundial, lo realizan como cultivo de primavera en la región continental fría, en tanto que el 20% restante se reparte principalmente entre India, Rusia, Méjico y Australia, entre otros (AAFC, 2015).

Con una producción que en la última década ha oscilado entre los 35 y 41 millones de toneladas anuales, en términos de volumen el trigo candeal se ubica en un segundo plano luego del trigo pan, representando entre un 6 y un 8 % del total de trigo producido a escala mundial (Fuente: USDA, 2016). A pesar de no ser un cultivo con especial resistencia a sequía, se lo cultiva en regiones cálidas y de baja pluviometría del mundo, lo que determina importantes fluctuaciones en el rendimiento, que suelen favorecer en contrapartida el desarrollo de una buena calidad de grano. Por ello es que las cotizaciones de *durum* en el mercado son superiores a las del trigo pan, permitiendo compensar el riesgo y el mayor costo de la tonelada producida. Por otra parte, por considerársele un “especiality” que exhibe escasa posibilidad de sustitución por trigo pan, su demanda es de tipo inelástica (AAFC, 2015).

El comercio mundial de *durum* se mantiene en un promedio que ronda los 7 millones de toneladas anuales, lo que representa aproximadamente entre un 15 y un 20 % del total producido. Canadá es líder en este segmento, con un 50-60 % del total de trigo candeal comercializado (promedio de 3,4 millones ton/año en las últimas 5 campañas), siendo el principal abastecedor de Italia y de los países del Norte de África. La destacada calidad de grano que provee, sumada a la consistencia de las entregas (frutos de un estricto sistema de registro varietal y un aceitado mecanismo de segregación), constituyen la principal causa de dicho liderazgo (AAFC, 2015).

El consumo mundial de trigo *durum* de las últimas campañas, se ubica en 37,3 millones de toneladas, con un crecimiento del orden del 1% anual para la década 2000-2010. Los países del Norte de África concentran un quinto del

consumo mundial de este cereal, y un 40% del comercio mundial (3,0 millones de toneladas/año en promedio), aun en años de buenas cosechas locales. Por tradición, estos pueblos consumen el trigo candeal en platos típicos en forma de “*couscous*”, mientras que en otros, como Marruecos por ejemplo, se lo utiliza también en la elaboración de panes chatos. Existen otros platos característicos elaborados con trigo candeal entero, como el burgol y el frek, muy consumidos en los países del medio oriente, India y Pakistán (Quaglia, 1988).

En un segundo plano en cuanto a la demanda de *durum*, se ubica la Unión Europea, cuyo déficit de trigo candeal es una constante, dada la falta de competitividad de este cultivo, que viene cediendo superficie frente a otros cultivos del área. Cabe destacar que buena parte de los 1,5 a 2,2 millones de toneladas de trigo de calidad *Premium* importados anualmente desde Canadá, USA y/o Australia, son utilizados para solucionar problemas de baja proteína y deficiente tenacidad de gluten de las producciones locales, que en este caso, se destinan casi exclusivamente a la elaboración de pastas. Dentro de la Unión Europea el mayor consumo lo exhibe Italia, con 4,2 millones de toneladas de trigo candeal (26 kg/hab/año de pastas a base de *durum*), siendo además el país donde se concentra el 79% de los molinos semoleros que operan en la región. Tanto en Italia como en Francia y Grecia se exige por ley la utilización exclusiva de sémolas de trigo candeal en la elaboración de pastas secas, lo que indudablemente conlleva a una serie de ventajas en cuanto al sabor, textura, y comportamiento durante la cocción de dicho producto.

En América Latina la demanda anual de trigo candeal ronda las 500.000 toneladas anuales, y presenta una tendencia creciente, principalmente en Venezuela, donde el consumo de pastas per cápita, el segundo a escala mundial luego del líder Italia, alcanza los 12,9 kg/año. En la actualidad este segmento de candeal “*premium*”, de alto valor de mercado, es cubierto por Canadá, que también abastece a otros países del área como Chile y Perú,

que exhiben niveles de consumo de pasta comparables o ligeramente superiores a los que se verifican en nuestro país (8,2 kg, 7,5 kg y 7,2 kg, respectivamente) (FAOSTAT, 2015).

EL TRIGO CANDEAL EN ARGENTINA

En nuestro país, el trigo candeal es un cultivo de larga tradición, atribuyéndosele el haber sido el primer trigo sembrado en el Fuerte *Sancti Spiritu* en 1527 por los expedicionarios que acompañaron a Sebastián Gaboto en la exploración del Río de la Plata (Goñi, 1968). Su real difusión se inició en la década del 30' en el centro-sur bonaerense, a partir de poblaciones introducidas por colonos europeos de origen italiano, quienes se ocuparon de su siembra en forma continuada y extensiva. A partir de esos materiales se obtuvieron las primeras variedades puras comerciales, a las que se ha denominado "tradicionales", y que se caracterizaban por su rusticidad, altura, baja capacidad productiva, y susceptibilidad a royas, aspectos que se compensaban con una destacada resistencia a carbones, y una calidad comercial e industrial sobresalientes. Esas primeras variedades argentinas tuvieron un progenitor común en el famoso trigo candeal ruso Taganrog, que aportó los caracteres de alta tenacidad de gluten y buen comportamiento durante la cocción (Vallega, 1974).

En la década del 50', beneficiado por normas propias de comercialización y precios diferenciales respecto del trigo pan, el área de cultivo de trigo candeal se expandió hacia el sudeste bonaerense, coincidente con la región de cultivo de papa. Dado que por esa época los únicos materiales de ciclo corto disponibles eran precisamente los trigos para fideos, las siembras tardías de este cereal permitían aprovechar la fertilidad remanente aportada por el cultivo de papa, con el consecuente beneficio sobre la calidad. Bajo estas condiciones, en pocos años se convirtió en un cultivo gravitante en la economía de las zonas húmeda y sub húmeda de la región triguera argentina,

donde se constituyó en el cereal casi excluyente, desplazando al trigo pan en las décadas del 60' y principios del 70'. La provincia de Buenos Aires, única productora, llegó así a sembrar entre 300.000 y 400.000 hectáreas, con producciones que por más de una década superaron las 500.000 toneladas anuales, lo que por entonces representaba entre un 5,9 y un 10,8% del total de trigo producido en el país (Acuña *et al.*, 1982). Estos importantes volúmenes (con un pico de 750.000 toneladas en la campaña 1969/70), sumados a la destacada calidad industrial que caracterizaba a las variedades cultivadas por entonces, le permitieron al país abastecer al discreto mercado interno, y consolidarse como exportador en el mercado internacional, siendo Italia el principal destino de dichos envíos (Seghezzeo, 2014).

A partir de la década del 70', con el recambio varietal operado como consecuencia del advenimiento de la revolución verde, se consiguieron incrementar sensiblemente los niveles de productividad de grano (por entonces los candeales no superaban los 1500 kg/ha de rendimiento), pero comenzaron a aparecer por esa misma causa, serios problemas de calidad comercial asociados a menores niveles proteicos en el grano. Los nuevos cultivares exhibían, además, una deficiente calidad industrial lo que a la postre fue desalentando el interés del mercado italiano por nuestro candeal. A ello se sumó el severo impacto que tuvieron las fuertes epifitias de fusariosis de los años 1976 y 1977, tanto sobre la producción como sobre la calidad general del grano. A partir de 1978 las exportaciones con destino a Italia disminuyeron en forma sostenida, produciéndose en 1982 la suspensión total de compras por parte de ese país. Como consecuencia de la retracción gradual del estímulo que representaba la existencia de una fuerte demanda externa, se inició un lento pero sostenido retroceso de la superficie de siembra de este cereal, que a mediados de la década del 80' alcanzó escasas 20.000 ha. Esta situación extrema determinó que en los años 1986 y 1990 se debiera importar trigo candeal norteamericano para satisfacer la demanda interna de la industria semolera y fideera nacional (Carbajo, 2001).

A partir de la puesta en marcha en 1995 de un programa de promoción del cultivo liderado por un amplio sector de la industria fideera nacional, apoyado por la SAGPyA, y canalizado a través de la Chacra Experimental de Barrow y el INTA de Bordenave, se pudo revertir progresivamente esta situación. Los nuevos cultivares de trigo candeal que se liberaron al mercado una vez consolidadas dichas acciones exhibían buena cantidad y calidad de proteína, elevada vitreosidad y tamaño de grano, y alto contenido de pigmento amarillo, acorde a las exigencias de materia prima planteadas por la industria elaboradora (Molfese y Seghezzo, 1999).

Pese al avance experimentado en los últimos años, la superficie destinada al cultivo de este cereal nunca pudo recuperar los niveles alcanzados en la década del 60', oscilando entre las 43.000 y las 79.000 hectáreas en los últimos diez años (SAGPyA, 2016). Para igual período, la producción fluctuó entre las 100.000 y las 213.000 toneladas, representando en promedio el 1% del total de trigo producido en el país (entre un 0,8 y un 1,6%). La media de rendimiento de la última década se ubica en los 2600 kg/ha, con importantes fluctuaciones entre campañas (entre 1757 y 3766 kg/ha) que ejercen un efecto decisivo sobre la intención de siembra del año próximo (Figura I).

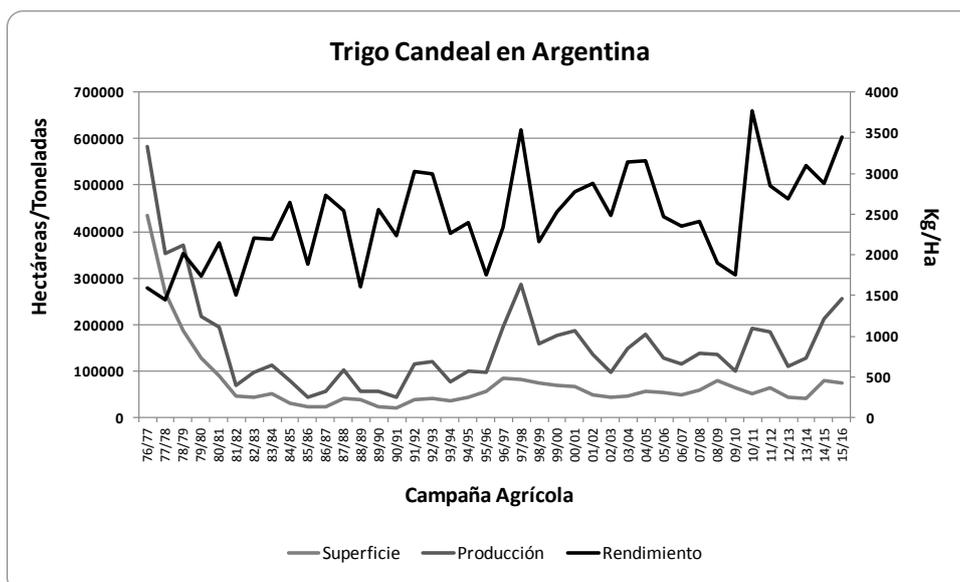


Figura I. Evolución de la superficie, producción y rendimiento por hectárea del trigo candeal en Argentina para el período 1976 – 2015.

En la actualidad el grueso de la producción nacional de trigo candeal se realiza mediante la celebración de contratos entre la industria fideera y los productores, lo que representa una estrategia clave que le permite a las empresas asegurarse una provisión constante de materia prima con la mínima calidad que exigen los actuales protocolos de elaboración de pasta seca (Demarie *et al.*, 1999).

LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE PRODUCCIÓN DE TRIGO CANDEAL DE ARGENTINA

El área tradicional de cultivo de trigo candeal en Argentina ocupa una ancha faja al sur de la provincia de Buenos Aires, que abarca gran parte de la Subregión Triguera IV y parte de la Subregión V Sur. También se registran siembras en las provincias de Tucumán y Salta que cubren alrededor de 10.000 ha (MAGyP, 2016)

La amplitud y heterogeneidad de suelos y climas del área destinada al cultivo de trigo candeal determina que a los fines prácticos la misma sea subdividida en tres regiones, a saber: Sudeste (zona húmeda), Centrosur (zona subhúmeda) y Sudoeste (zona semiárida) (Figura II). Las dos primeras constituyen el área donde se verificó la mayor expansión del cultivo en los años en que el mismo exhibió su máximo protagonismo, siendo además, donde se han obtenido seis de las diez variedades que existen hoy día en el mercado.

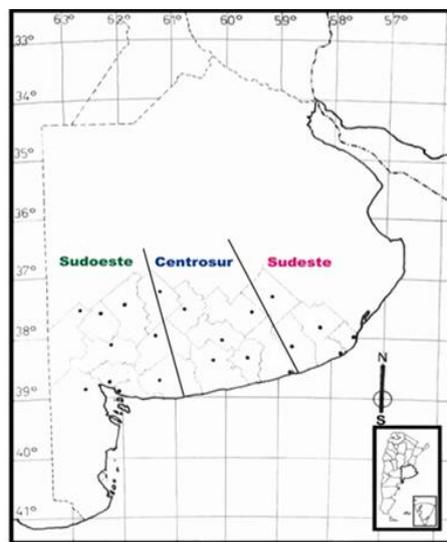


Figura II. Zonas de producción de trigo candeal en Argentina
(Fuente: CHEIA Barrow)

De las tres regiones, la del Sudeste, coincidente con la región papera, presenta régimen hídrico sub-húmedo a húmedo con una precipitación media anual que ronda los 900 mm. Por la fertilidad natural de sus suelos es la subregión con mayor potencial de rinde, pero con mayores riesgos sanitarios (fusariosis, escudete negro, etc.) (Moschini *et al.*, 2006, Moschini, 2009), y problemas de calidad del grano (lavado), ambos asociados a las abundantes precipitaciones y alta humedad relativa ambiental (Carbajo, 2001). Por su parte, el Centrosur, el área más tradicional de cultivo de trigo candeal, presenta una gran heterogeneidad de suelos y régimen hídrico subhúmedo a semiárido, con una

media anual de precipitaciones que va, de oeste a este, de los 600 a los 750 mm. En esta subregión el riesgo de ataque de fusarium es menor que en el sudeste, en tanto que los rendimientos, debido a la buena adaptación de las variedades, no suelen ser muy distintos a los de esa subregión, llegando incluso en algunas campañas, a superarlos. En cuanto a la calidad del grano, en cambio, se observan valores de proteína y vitreosidad por lo general más altos (Larsen y Jensen, 2016).

La última en incorporarse al esquema productivo de candeal ha sido la región del sudoeste, obediendo en parte a la necesidad del sector de contar con áreas donde la probabilidad de ocurrencia de ataques de Fusarium fuese menor. Esta región, de régimen típicamente semiárido en el oeste, a subhúmedo en el noreste (entre 550 mm y 750 mm), presenta niveles de productividad inferiores a los de las otras dos regiones (Seghezzo, 2014), destacándose en contrapartida, por los altos valores de proteína y vitreosidad (Larsen y Jensen, 2016; Miravalles *et al.*, 2016), así como también por los bajos niveles de cenizas en el grano (Miravalles *et al.*, 2008).

PANORAMA VARIETAL DE TRIGO CANDEAL EN ARGENTINA

El panorama varietal de candeal en nuestro país podría juzgarse de modesto si se repara en el acotado número de variedades en cultivo, en comparación a las más de setenta existentes en trigo pan. En la actualidad existen diez cultivares inscriptos, cinco de ellos propiedad del Criadero Buck S.A.: Buck Topacio (1998), Buck Esmeralda (2000), Buck Platino (2004), Buck Granate (2011) y Buck Zafiro (2015), tres obtenidos en la Chacra Experimental Integrada de Barrow, Bonaerense INTA Facón (1998), Bonaerense INTA Cariló (2004), y Bonaerense INTA Quillén (2015), y dos del Criadero de Semillas de la Asociación de Cooperativas Argentinas en Cabildo, ACA 1801 F (2007) y ACA 1901 F (2009). Si bien estas variedades podrían catalogarse sin excepción como de ciclo vegetativo corto a intermedio, en siembras tempranas

principalmente es posible observar notables diferencias en la fecha de espigazón, que permiten clasificarlas de ciclo corto-corto (ACA 1901F, ACA 1801F, B.I. Facón, y B. Esmeralda), corto - intermedio (B. Platino), e intermedio (B. Topacio, B.I. Cariló, B. Granate , B.I. Quillén, B. Zafiro). Para el lapso 2011-2015, el rendimiento en las seis localidades que participan del Ensayo Regional ha oscilado entre un promedio de 5977 Kg Ha⁻¹ para la variedad B.I. Cariló en Miramar, y de 1959 Kg Ha⁻¹ para B. Granate en Cabildo (Larsen y Jensen, 2016) En tanto, datos aportados por productores de la zona del Valle Inferior del Río Colorado (VIRC) dan cuenta de niveles de productividad bajo riego cercanos a los 8000 Kg Ha⁻¹ (Ing Juan Cominelli, 2015, Com. Pers.).

En lo que hace al perfil de calidad industrial de las variedades actuales, si bien es variable, podría decirse que en líneas generales es satisfactorio, logrando reunir algunas de ellas niveles de fuerza de gluten y de color en la sémola que satisfacen los requerimientos del sector de la transformación (Larsen y Jensen, 2016).

IMPORTANCIA DE LA COMPRESIÓN DE LOS EFECTOS DEL GENOTIPO, EL AMBIENTE Y SUS INTERACCIONES SOBRE LA CALIDAD INDUSTRIAL EN EL TRIGO CANDEAL

Los factores o atributos que definen la calidad industrial del trigo candeal están estrechamente ligados a los objetivos que persiguen las dos industrias que procesan este cereal, *i.e.* la industria molinera, responsable de la primera transformación del grano a sémola, y la industria fideera, encargada de la elaboración de fideos a partir de dicha sémola. En lo que concierne a la industria molinera, su objetivo primordial es maximizar la cantidad de sémola extraída con relación al volumen de trigo procesado, para lo cual sus exigencias se concentran principalmente en el tipo de trigo utilizado (candeal mejor que trigo pan, por la mayor dureza de su endosperma), en la limpieza del lote de granos, el peso hectolítrico, el contenido de proteína y la vitreosidad del

grano. La industria elaboradora de fideos, por su parte, privilegia las sémolas de granulometría uniforme y alto tenor de pigmento amarillo, con bajos niveles de cenizas y elevado contenido de proteína, con aptitud para formar una masa que exhiba una red de gluten tenaz y elástica, a la vez que abundante. Todo ello redundará en un producto de color amarillo brillante, que luego de la cocción mantendrá su firmeza o “dente”, y conservará la integridad de su superficie evitando la liberación de almidón en el agua y, por ende, la pegajosidad y compactación entre las piezas de fideos (Sissons, 2008).

La calidad del trigo *durum* depende ampliamente del genotipo, del paquete de técnicas agrícolas utilizadas para su producción, y de las fluctuaciones de los factores bióticos y abióticos (ambientales) (Autran *et al.*, 1986; Nachit *et al.*, 1993). La fertilidad del suelo, la fertilización y la disponibilidad de agua son los principales factores que afectan la estabilidad de dicha calidad (di Fonzo *et al.*, 2000). En el sur bonaerense, la calidad de la producción de trigo candeal varía considerablemente, tanto entre campañas agrícolas, como entre localidades o zonas dentro de la misma campaña, conforme lo revela el Informe Institucional sobre la Calidad del Trigo Argentino, cuya elaboración coordina el Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Agroalimentaria (SENASA), y en el que participan distintas Cámaras Arbitrales, organismos oficiales y otros sectores de la cadena triguera (<http://www.trigoargentino.com.ar/trigofideos>). Esta variabilidad o inconsistencia en la calidad genera serios problemas a las industrias molinera y fideera local, que requieren un alto nivel de uniformidad en la sémola, a fin de satisfacer las exigencias que imponen los protocolos actuales de elaboración de pasta seca.

La comprensión de los efectos del genotipo, el ambiente y sus interacciones facilita el desarrollo de estrategias efectivas para la segregación de lotes comerciales uniformes y consistentes, para responder a las necesidades de la industria transformadora, que aspira alcanzar altos estándares en los productos elaborados y reducir pérdidas durante el procesamiento.

El factor interacción hace referencia a cambios en la respuesta de los genotipos a distintos ambientes (Allard y Bradshaw, 1964). En el caso de los atributos de calidad los mismos son evaluados como observaciones fenotípicas, y como tales, comprenden componentes debidos al genotipo, al ambiente y a sus interacciones (Falconer, 1990). Estudios que incluyan un número considerable de genotipos y de condiciones ambientales, pueden proveer de información útil no solo en lo que concierne a la performance de calidad y la estabilidad del material genético cultivado, sino también sobre las características particulares de los ambientes analizados, con lo cual se podrían respaldar decisiones, en lo concerniente a la definición de zonas de producción con buena expresión de determinados atributos de calidad (Rharrabti *et al.*, 2003a). No obstante, una limitación constante de todos los estudios de GA es el costo. Si bien cualquier experimento de campo es costoso, en particular lo son aquellos que involucran un amplio número de genotipos, analizados en múltiples localidades por dos o más años. Las evaluaciones de calidad de atributos complejos fuera del contenido de proteína y de los atributos físicos del grano, como el peso hectolítrico y los granos chuzos, son costosas e insumen mucho tiempo. El alto costo de los análisis de calidad en estudios de interacción GA ciertamente ha limitado el alcance, y por ende, una más amplia aplicabilidad de las conclusiones de muchos experimentos (Williams *et al.*, 2008).

En Argentina diversos estudios han evaluado los efectos del genotipo, el ambiente y sus interacciones sobre la calidad del trigo pan (Mortarini *et al.*, 2004; Zamora *et al.*, 2005; Chidichimo *et al.*, 2007; Fraschina *et al.*, 2007; Abbate *et al.*, 2010; Gómez, 2011), cereal que representa ca. el 99% del trigo cosechado en el país. En trigo candeal, en contrapartida, los antecedentes locales en el tema son exiguos (Molfese, y Seghezzo, 1999; Molfese *et al.*, 2001; Seghezzo *et al.*, 2005; 2010; Miravalles *et al.*, 2006, 2014, 2016) no habiéndose analizado en profundidad en ninguno de ellos las causas y/o mecanismos que determinan la respuesta diferencial de las variedades al ambiente.

En este contexto, el presente trabajo de tesis se fundamentó en la siguiente hipótesis:

HIPÓTESIS GENERAL

En el sur bonaerense, región donde se concentra la producción de trigo candeal de Argentina, se verifica una gran variabilidad en la calidad industrial del grano, asociada a las fluctuaciones interanuales en los factores del clima, al sitio geográfico y a la respuesta diferencial de las variedades al ambiente.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar e interpretar los efectos del genotipo, el ambiente, y las interacciones genotipo - ambiente sobre los principales atributos del trigo candeal, que determinan el rendimiento y la calidad de la sémola.

MATERIALES Y MÉTODOS

DESCRIPCIÓN GENERAL Y DISEÑO DEL ENSAYO

Para el cumplimiento del objetivo planteado en el presente trabajo de tesis se analizó la calidad industrial de cinco cultivares comerciales de trigo para fideos, sembrados durante los ciclos agrícolas 2004, 2005 y 2006, en cuatro localidades que participan del Ensayo Regional de Trigo para Fideos, coordinado por la Chacra Experimental de Barrow de Tres Arroyos. Las localidades en cuestión pertenecen a dos de las tres zonas agroecológicas de la región productora de este cereal en el sur de la Provincia de Buenos Aires, que concentran, en conjunto, ca. el 80% de la producción de trigo para fideos del país: La Dulce y Barrow en el Centro Sur Subhúmedo, situadas respectivamente en los partidos de Necochea y Tres Arroyos, y Cabildo y Bordenave, en la región Semiárida del Sudoeste, en los partidos de Bahía Blanca y Puán, respectivamente (Fig. III y Tabla I).

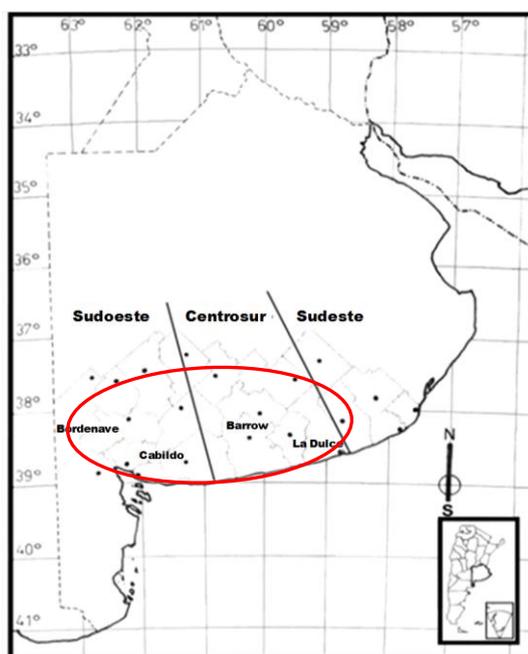


Figura III. Localización de las localidades de Barrow, La Dulce, Cabildo y Bordenave en la Provincia de Buenos Aires

Tabla I. Localización geográfica y principales características de los suelos y clima de las localidades de Bordenave, Cabildo, Barrow y La Dulce. Campañas 2004 a 2006.

Subregión de cultivo	Sudoeste Semiárido		Centrosur Subhúmedo	
Localidad	Bordenave	Cabildo	Barrow	La Dulce
Coordenadas	37° 50' S 63° 1' O	38° 35' S 61° 58' O	38° 20' S 60° 13' O	38° 20' S 59° 0' O
Altitud (msnm)	212	122	120	72
Características de los suelos				
Clasificación	Haplustol éntico	Haplustol éntico	Argiudol petrocálcico	Beunisen con B textural
Textura	arenoso franco	arenoso franco	franco arcilloso	franco
pH	5,6 - 7	5,6 - 7	5,9	5,6 - 7
Obstáculo para raíces (cm)	NO	NO	50 - 70	40 - 80
Temperatura media anual (°C)				
2004	14,5	15,5	15,1	14,7
2005	13,5	15,1	14,4	13,5
2006	14,8	15,7	14,6	13,9
Histórica	14,7	15,0	14,0	13,8
Precipitación anual (mm)				
2004	815	819	750	749
2005	488	423	686	791
2006	585	525	662	645
Histórica	701	650	772	775

Fuente: SIGA (Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico)
<http://siga2.inta.gov.ar/en/estadistica/>

El diseño de los ensayos a campo fue en bloques completos al azar con tres repeticiones. Las parcelas (7 surcos distantes 0,20m, 1,40m x 5,5m) se sembraron a una densidad entre 250 y 280 plantas/m², y se condujeron mediante prácticas agronómicas estándar, observando una secuencia de cultivos y un manejo de la fertilización tendientes a la optimización de los rendimientos (Tabla II). En cuanto a la fecha de siembra, si bien el Ensayo Regional de Trigo para Fideos incluye normalmente dos fechas (primera/temprana y segunda/tardía), a los fines de este estudio solo se analizó la calidad del grano de la primera fecha de siembra (fines de junio-ppios de julio), excepto en Cabildo de 2005, donde se evaluó la información

correspondiente a la segunda fecha de siembra (fines de julio-ppios. de agosto)
(Tabla III)

Tabla II. Cultivos antecesores y tratamientos de fertilización aplicados en los lotes de ensayo de trigo candeal en Barrow, La Dulce, Cabildo y Bordenave durante las campañas agrícolas 2004, 2005 y 2006.

Localidad	Manejo	Campaña Agrícola		
		2004	2005	2006
Barrow	Antecesor	Barb. qco y mec.	Barb. qco y mec.	Barb. qco y mec.
	Fertilización	Psbra: 200 Kg Ha ⁻¹ PDA Mac: 100 Kg Ha ⁻¹ Urea	Psbra: 200 Kg Ha ⁻¹ PDA Mac: 200 Kg Ha ⁻¹ Urea	Psbra: 200 Kg Ha ⁻¹ PDA Mac: 240 Kg Ha ⁻¹ Urea
La Dulce	Antecesor	Avena barb.qco Oct.	Barb. qco	Avena barb.qco Oct.
	Fertilización	Sbra:140 Kg Ha ⁻¹ PDA Mac:170 Kg Ha ⁻¹ Urea	Sbra:100 Kg Ha ⁻¹ PDA Mac:150 Kg Ha ⁻¹ Urea	Sbra:130 Kg Ha ⁻¹ PDA Mac:150 Kg Ha ⁻¹ Urea
Cabildo	Antecesor	Sorgo barbecho	Barbecho	Avena-vicia
	Fertilización	Psbra:100 Kg PDA Mac:100 Kg Ha ⁻¹ Urea	Psbra: 80 Kg Ha ⁻¹ PDA Mac: 100 Kg Ha ⁻¹ Urea	Psbra: 95 Kg Ha ⁻¹ PDA Mac: 100 Kg Ha ⁻¹ Urea
Bordenave	Antecesor	Vicia	--	--
	Fertilización	Sbra: 70 Kg Ha ⁻¹ PDA Mac: 110 Kg Ha ⁻¹ Urea	--	--

Tabla III. Fechas de siembra de los ensayos de trigo candeal en La Dulce, Barrow, Cabildo y Bordenave durante las campañas agrícolas 2004, 2005 y 2006.

Año	Localidades			
	La Dulce	Barrow	Cabildo	Bordenave
2004	5/7	2/7	8/7	13/7
2005	24/6	29/6	1/8	--
2006	11/7	7/7	13/7	--

La pérdida total de sendos ensayos en Bordenave en 2005 y 2006 por causa de la sequía en la implantación, determinó que el presente estudio comprendiera un total de diez ambientes, sobre un total de doce planeados inicialmente (combinación de 3 años x 4 localidades).

En lo concerniente a las variedades, los cinco materiales participantes fueron lanzados al mercado entre 1998 y 2004 (Tabla IV) y cubren un rango de largo de ciclo que va desde corto-corto para las variedades Bon. Inta Facón y Buck Esmeralda, corto-intermedio para B. Platino, e intermedio para Buck Topacio y Bon. Inta Cariló.

Tabla IV. Año de liberación y pedigree de los cinco genotipos de trigo candeal participantes del ensayo.^a

Variedad	Año de liberación	Pedigree
Bonaerense INTA Facón	1998	STERNA,MEX(SIB)/3/CHURRILLA(SIB)/HUITLE(SIB)/(SIB)POCHARD/4/(SIB)MOEWE
Buck Topacio	1998	PROB611/ALTAR-84
Buck Esmeralda	2000	CDEU/BONQUI
Buck Platino	2004	BAMB"S"//MO"S"/YAV79
Bonaerense INTA Cariló	2004	TAGANROG-BUCK-BALCARCE/CANDEF/3/BERKMEN/GDOVZ-516//(SIB)MOUETTE/4/LAKOTA/CANDO

^a Tabla elaborada a partir de la información proporcionada por los Criaderos obtentores.

En cada localidad del ensayo se registraron las fechas de emergencia (EM), y espigazón (ESP) de las variedades, definida en el primer caso, como el momento en el cual el 50% de las plantas emergieron del suelo (EC Zadoks 1.0), y en el segundo, como la fecha en la que el 50 % de las espigas emergieron de las vainas en un 50 % de su longitud final (EC Zadoks 5.5). A

partir de dicha información se calculó el tiempo transcurrido entre ambas etapas (EMaESP), en días.

Durante los tres años que duró el experimento, se recopiló información climática de temperatura media mensual, precipitación total mensual y humedad relativa ambiente del último bimestre del ciclo, a partir de datos recolectados por las respectivas estaciones meteorológicas instaladas en los sitios de estudio, complementada con la base de datos del Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico del INTA (SIGA).

MATERIAL DE ESTUDIO Y ANÁLISIS REALIZADOS

Una vez realizada la cosecha, las muestras de grano (tres repeticiones por variedad por localidad) se limpiaron y acondicionaron (12,5% H^o), y se sometieron a los distintos análisis de manera individual. Se examinaron, un total de 150 muestras sobre las que determinaron 16 atributos de calidad entre variables principales y variables accesorias, siguiendo los protocolos estipulados en los estándares de la AACCC (American Association of Cereal Chemists), y el IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales) (Tabla V).

Tabla V. Determinaciones analíticas y metodología utilizada para la determinación de distintos atributos de calidad medidos en el grano y la sémola en trigo candeal cultivado en el sur bonaerense entre 2004 y 2006.

VARIABLES EVALUADAS EN EL GRANO			
	Abreviatura	Unidades	Metodología
Contenido de Proteína^a	PROT	%	Método NIR Norma AACC N°39-21
Peso Hectolítrico	PH	Kg hL ⁻¹	Resolución ex-SAGPyA 1262/04
Vitreosidad	VIT	%	Resolución ex-SAGyP yAL 1075/94 Norma SENASA XXI
Peso de mil granos	PMG	g	Norma IRAM 15853
Largo, ancho del grano	L, A	mm	Calibre Vernier
VARIABLES EVALUADAS EN LA SÉMOLA			
	Abreviatura	Unidades	Metodología
Índice de Amarillo	<i>b</i> *	---	Método HUNTER - Lab 1975 www.hunterlab.com
Contenido de Gluten Húmedo	GH	%	IRAM 15864-2
Gluten Index	GI	%	IRAM 15864-2
Variables Farinográficas			IRAM 15855:2000 Adaptación Técnica de Irvine <i>et al.</i> (1961)
Nivel de Energía	NE		
Aflojamiento	AFLO	%	
Variables Alveográficas			ICC N° 121 IRAM 15857
Trabajo de Deformación	W	10 ⁻⁴ Joules	
Tenacidad	P	mm	
Extensibilidad	L	mm	
Tenacidad/Extensibilidad	P/L	---	
Variables de composición proteica			Size Exclusion HPLC (Gupta <i>et al.</i> (1993).
Gluteninas	GLU	%	
Gliadinas	GLI	%	
Glutenina insoluble /gluteninas totales	GI/GT	%	

^a Variables principales en negrita.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS

Para el análisis estadístico de los datos se ajustó en primera instancia un Modelo Mixto, con el que se estimó la variación debida al genotipo (G), al ambiente (A), y a la interacción genotipo x ambiente (GA), respecto de la variación total observada para cada atributo en estudio.

A partir de los resultados del ANOVA DOBLE se estimaron los componentes de la varianza, siguiendo la metodología propuesta por Falconer (1981):

$$V_g = \frac{MS_g - MS_{ge}}{re}$$

$$V_{ge} = \frac{MS_{ge} - MS_{er}}{r}$$

$$V_{er} = MS_{er}$$

$$V_p = V_g + \frac{V_{ge}}{e} + \frac{V_{er}}{re}$$

donde: V_g , V_{ge} , V_{er} y V_p son las varianzas debidas a los genotipos, interacción genotipo-ambiente, error experimental y fenotipos, respectivamente. MS_g , MS_{ge} , y MS_{er} son los Cuadrados Medios de los genotipos, la interacción GA y el error, mientras que e y r son el número de ambientes y de réplicas, respectivamente.

A *posteriori*, para determinar cuál de los efectos del ambiente exhibió mayor impacto sobre los atributos de calidad, los mismos se partitionaron en sus respectivos componentes: año y localidad. Para ello se ajustó un Modelo General Lineal (MGL) en el que todos los efectos (genotipo, año y localidad), se consideraron fijos. En el caso de los genotipos, ello se debió a que los materiales incluidos en el estudio son variedades comerciales conocidas, a partir de las cuales se deseaba hacer inferencias acerca de su desempeño y adaptación a las distintas localidades o regiones. Mientras tanto, en lo que respecta a los efectos asociados a la localidad y el año, se consideraron fijos

por tratarse, en el primer caso, de localidades representativas de las zonas tradicionales de cultivo de candeal de Argentina, y en el caso de los años, porque los mismos exhibieron importantes diferencias en lo concerniente al régimen de precipitaciones y el escenario térmico, que permitió su caracterización (Annicchiarico, 2002). Para cada fuente de variación se calculó la suma de cuadrados de Tipo III (Restrepo, 2007) con el procedimiento GLM del programa SAS, y se estimó su contribución a la variabilidad total dividiendo la suma de cuadrados respectiva sobre la suma de cuadrados totales.

Las diferencias de medias se calcularon a través del Test de Diferencias Mínimas Significativas de Fisher (LSD), y contrastes *a priori*, al 1, 5 y 10% de significancia.

Para el estudio de las relaciones entre variables de calidad, entre sí, y con las variables climáticas, se utilizaron correlaciones y regresiones simples y múltiples (Procedimiento Stepwise), complementadas en algunos casos con un Análisis de Sendero para la identificación de las relaciones de causalidad entre las mismas. Estos análisis se realizaron utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2013).

ESTUDIO DE LAS INTERACCIONES GENOTIPO – AMBIENTE

Para la interpretación de los patrones de interacción GA, se utilizaron dos modelos alternativos, SREG y/o GREG, dependiendo de cuál fuera la fuente de variación preponderante. En el caso de las variables donde el ambiente constituyó la fuente de variación más importante, respecto de la contribución de los genotipos y la interacción genotipo x ambiente, se utilizó un Modelo de Regresión por Sitios (SREG) (Cornelius *et al.*, 1996; Crossa y Cornelius, 2002). Para la visualización de los patrones de interacción con remoción de los efectos del ambiente (datos centrados por sitio) se utilizaron gráficos GGE biplots (Yan *et al.*, 2000), que permitieron la diferenciación de mega-ambientes entre los ambientes en estudio, la individualización de los genotipos con mejor

desempeño en un mega-ambiente dado, y la identificación de los mejores ambientes para analizar las causas de la interacción. Mientras tanto, para aquellas variables en las que el genotipo constituyó la fuente de variación más importante, el análisis e interpretación de las interacciones se realizó ajustando un Modelo de Regresión por Genotipos (GREG) (Cornelius *et al.*, 1996), con la ayuda de los gráficos biplots GEE asociados. Esta metodología permitió la identificación de los ambientes más favorables para determinados grupos de genotipos, facilitando la individualización de aquellos que mayor contribución realizaron a la interacción GA. Sendos análisis se realizaron utilizando el Software estadístico INFOGEN (Balzarini *et al.*, 2005).

Los estudios de interacción GA se complementaron con un análisis de estabilidad, para lo cual se utilizó el método de regresión según la metodología descrita por Eberhart y Russel (1966). Los valores de índice ambiental se calcularon restando la media general a la media de cada ambiente. La respuesta de los cultivares a los diferentes ambientes medida a través de la pendiente b_i se estimó realizando un análisis de regresión de la media del cultivar en función de los valores de índice ambiental. Las diferencias de los valores de b con respecto a la unidad se probaron mediante un Test de t .

CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LOS AMBIENTES

Las condiciones climáticas que prevalecieron en los distintos ambientes durante el desarrollo de este estudio contrastaron notablemente, tanto en el nivel y distribución de las precipitaciones, como en las temperaturas que experimentaron los cultivos a lo largo de su ciclo (Tabla I y Figura IV).

En lo que concierne a las precipitaciones, 2004 fue el año más húmedo, y donde se dieron las menores diferencias de lluvias entre localidades, con registros que fluctuaron entre los 750 mm y los 819 mm anuales (Fig. IV). En lo que hace a la distribución, el semestre más lluvioso fue el segundo, con excesos hídricos en diciembre en sendas localidades del Sudoeste semiárido.

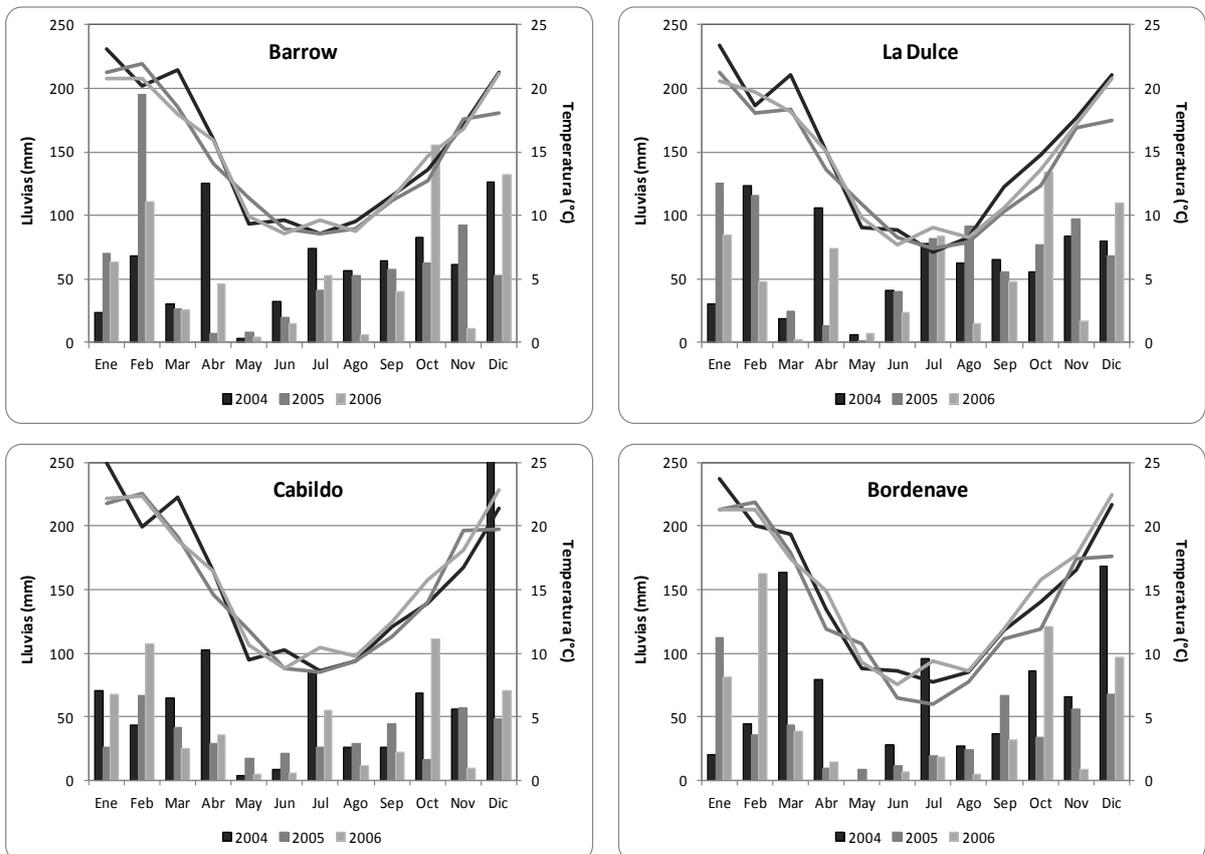


Figura IV. Temperatura media y precipitación mensual en las localidades de Barrow, La Dulce, Cabildo y Bordenave durante las campañas 2004, 2005 y 2006.

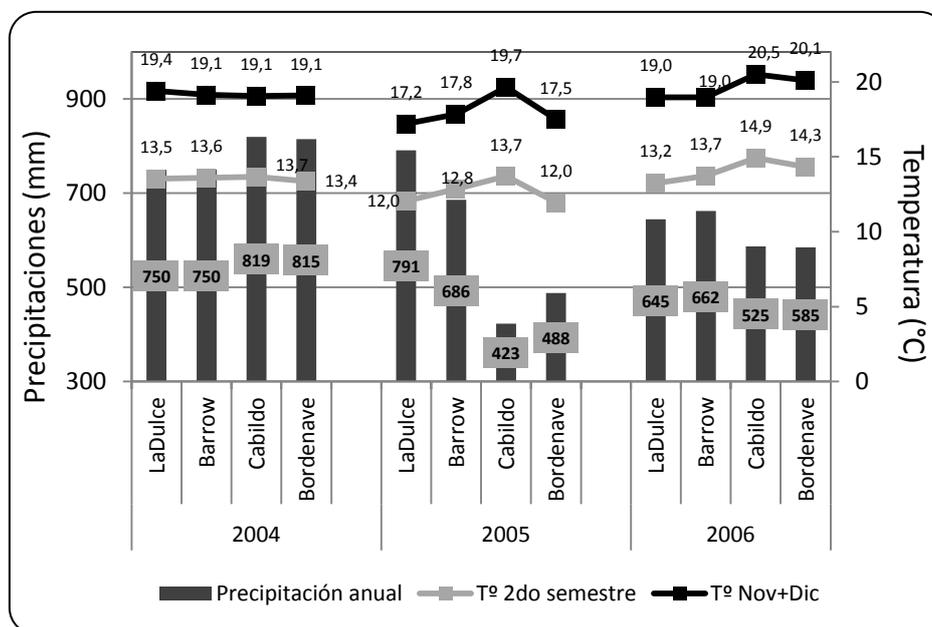


Figura V. Precipitación anual (mm) y temperaturas del segundo semestre y del último bimestre del año (°C) en La Dulce, Barrow, Cabildo y Bordenave durante las campañas 2004, 2005 y 2006.

En contrapartida, 2005 exhibió amplias diferencias de precipitación entre los sitios de ensayo, con valores que fluctuaron entre los 423 mm y los 791 mm anuales. En Bordenave y Cabildo, la escasez de lluvias al momento de la siembra y la implantación comprometió seriamente la etapa inicial de los cultivos, determinando bajos rendimientos en Cabildo, y la pérdida total del ensayo en el caso de Bordenave. En el año 2006, las precipitaciones fluctuaron entre los 525 mm y 662 mm, reiterándose las condiciones de déficit hídrico durante la implantación en las localidades del sudoeste, lo cual derivó nuevamente en la pérdida del ensayo en Bordenave. En esta campaña mereció especial atención la distribución de lluvias del último trimestre del año, en el que se sucedieron abundantes precipitaciones en octubre, severa escasez de lluvias en noviembre, y moderadas a altas lluvias en diciembre.

En lo que respecta a las temperaturas, en líneas generales 2005 se presentó como la campaña más fresca de las tres, particularmente durante el segundo semestre del año, donde los registros fueron entre 0,7° y 1,1°C más bajos que para el mismo período en 2004 y 2006, respectivamente. En estas dos campañas, sin embargo, las condiciones climáticas del último bimestre del año contrastaron notablemente, debido a la ocurrencia de abundantes lluvias que afectaron el peso hectolítrico y la vitreosidad del grano en 2004, y de extrema sequía que impactó negativamente sobre la biomasa de granos en 2006 (Tabla VI)

Tabla VI. Principales rasgos climáticos que caracterizaron a las campañas agrícolas 2004 a 2006 en el sur bonaerense.

Campaña	Rasgos climáticos más distintivos
2004/05	Precipitaciones moderadas a altas durante el crecimiento, con temperaturas elevadas y excesos hídricos hacia el final del ciclo
2005/06	Precipitaciones bajas a moderadas durante el crecimiento, y temperaturas frescas durante el llenado de granos
2006/07	Precipitaciones moderadas a bajas durante el ciclo, con severo stress durante el llenado de granos, por escasas precipitaciones y altas temperaturas en noviembre y diciembre

En resumen, excepto Bordenave que participó de este estudio un solo año, Cabildo, en el Sudoeste semiárido, fue la localidad donde se dio la mayor fluctuación interanual en las precipitaciones, y las temperaturas más altas durante el ciclo del cultivo, especialmente durante el llenado y maduración de los granos. Mientras tanto, en Barrow y La Dulce la variación de las precipitaciones entre años fue de menor magnitud, y las temperaturas medias del segundo semestre, menores a las de Cabildo, con diferencias del orden de 0,1°C y 0,8°C entre ambas.

CAPÍTULO 1

**INFLUENCIA DEL AMBIENTE, EL GENOTIPO Y LAS INTERACCIONES
GENOTIPO-AMBIENTE SOBRE LOS ATRIBUTOS DEL GRANO DE TRIGO
PARA FIDEOS ASOCIADOS AL RENDIMIENTO DE SÉMOLA:**

PORCENTAJE DE PROTEÍNA DEL GRANO,

VITREOSIDAD

Y

PESO HECTOLÍTRICO

1.1. INTRODUCCIÓN

El contenido proteico, la vitreosidad y el peso hectolítrico son los tres atributos del grano sobre los que la industria encargada de la primera transformación del trigo candeal pone mayor énfasis al momento de concretar sus compras. Su influencia sobre el rendimiento total de sémola en el molino, y la uniformidad de la misma, explican su inclusión en los estándares de comercialización de los principales países que producen y exportan este cereal a escala mundial.

1.1.1. CONTENIDO DE PROTEÍNA DEL GRANO

Más allá de la importancia que reviste desde el punto de vista de la nutrición, la concentración de proteína del grano, junto con la calidad de la proteína y el color, es uno de los principales atributos que afectan las características tecnológicas de la pasta seca. La relación entre el contenido proteico del grano y la calidad culinaria de la pasta es compleja, y está influida por diversos factores, aunque por lo general a medida que el contenido proteico aumenta, la pasta se torna más firme y menos pegajosa (Dexter y Matsuo, 1977; 1978; 1980). Un grano de trigo *durum* con alto contenido proteico producirá, además, una sémola de tamaño de partícula uniforme, con una mínima cantidad de partículas almidonosas, que se hidratarán uniformemente durante el mezclado con agua, produciendo un fideo fuerte y elástico (Marchylo *et al.*, 2001). Existe abundante evidencia en la bibliografía acerca de la relación existente entre el contenido proteico del grano y la vitreosidad, y entre estos atributos, y el rendimiento molinero (Pomeranz *et al.*, 1976, Matsuo y Dexter, 1980b, Aalami *et al.*, 2007b). Sin embargo, muy frecuentemente, altos valores proteicos están vinculados a granos de menor peso, y menores rendimientos de sémola, con lo cual se ha puntualizado que la mejor opción para la industria procesadora es buscar trigos con niveles proteicos entre medianos y altos (Irvine, 1971).

El contenido proteico de trigo *durum* comercial oscila entre el 9 y el 18%, siendo superior al del trigo común (Feillet, 1984). A diferencia de lo que ocurre con trigo pan, que aún con contenidos proteicos medianos o bajos puede ser utilizado para una amplia gama de productos (masitas, galletitas, repostería), las partidas de trigo candeal con bajo contenido proteico que quedan como remanente luego de la segregación de los mejores lotes, tienen una baja aceptación en el mercado, y un menor valor comercial, debido a la limitada aplicación que presentan por fuera de la industria de elaboración de fideos (Dexter y Edwards, 2001).

Para la elaboración de pasta se requiere un contenido proteico en la sémola en el rango del 12 al 15% (s.s.s), estando el valor óptimo condicionado al producto deseado y al industrial elaborador (Sissons, 2008). Teniendo en cuenta que el promedio de proteína del grano del último decenio en Argentina (2006 - 2015) fue de 13,8% sss (entre 11,7% y 15,9% sss) www.trigoargentino.com.ar/TrigoFideo), ello estaría significando que en la mayoría de las campañas la producción nacional de trigo candeal se halla dentro del rango de satisfacción planteado por la industria procesadora para este cereal.

Una sémola con niveles proteicos entre el 11,5% y el 13% puede ser procesada fácilmente, rindiendo un producto de características satisfactorias (Irvine, 1971; Kulkarni *et al.*, 1987). En cambio, cuando los niveles proteicos en la sémola son bajos, el fideo seco tiende a exhibir escasa fuerza mecánica, y niveles de estabilidad en la cocción y firmeza por debajo del óptimo (Grzybowski y Donnelly, 1979). Para muestras de sémola obtenidas por reconstitución, que cubrían un rango entre el 9 y el 20% de proteína, Sissons *et al.* (2005b) determinaron que conforme el contenido proteico aumentaba se producía un incremento lineal en la firmeza de la pasta cocida y una disminución de la pegajosidad.

El contenido proteico del grano es un rasgo cuantitativo típico, controlado por un complejo sistema genético, influido por los factores ambientales (disponibilidad de nitrógeno y agua, temperatura e intensidad de luz), y las prácticas de manejo (fecha de siembra, sistema de labranza, dosis y técnicas de fertilización) (Robinson *et al.*, 1979; Motzo *et al.*, 2007; Clarke *et al.*, 2009; Blanco *et al.*, 2012). Alrededor de dos tercios del N de la proteína en el grano a la madurez, está presente en las plantas (hojas y cañas, principalmente) al momento de la antesis, en tanto que el resto es absorbido desde el suelo durante la fase de llenado del grano (Kramer, 1979).

El agua precipitada entre el otoño y el invierno, y la temperatura del aire desde la antesis hasta la cosecha, han de ser mencionadas como las principales responsables de la variabilidad en el contenido proteico del grano (Rharrabti *et al.*, 2003a; Taghouti *et al.*, 2010, Dalla Marta *et al.*, 2011; Guasconi *et al.*, 2011; Toscano *et al.*, 2015). El crecimiento en profundidad de las raíces es impulsado por el tipo de suelo y el largo del período vegetativo; con alta disponibilidad de agua, el sistema radical tiende a crecer más superficialmente y no explora las capas más profundas del suelo. Si la lluvia persiste en la primavera, el N tiende a lavarse y moverse hacia capas de suelo más profundas, por debajo del perfil donde desarrollan las raíces. Además, si el subsuelo está demasiado húmedo, la habilidad de profundización de las raíces puede verse perjudicada, disminuyendo la absorción de N (Lilley y Kirkegaard, 2007).

Diversos estudios han vinculado la disminución en el contenido proteico del grano con incrementos del rendimiento (Motzo *et al.*, 2004; De Vita *et al.*, 2007; Nazco *et al.*, 2012). La relación negativa entre rendimiento y contenido proteico (Rharrabti *et al.*, 2001; Blanco *et al.*, 2012) también ha sido explicada como un efecto de dilución de los compuestos nitrogenados cuando aumenta la deposición de carbohidratos en post-antesis a causa de la fotosíntesis (Martre *et al.*, 2003). Un estrés hídrico durante el llenado de granos, por el contrario, provoca un incremento del contenido proteico y una reducción del peso de los granos (Jenner *et al.*, 1991; Rharrabti *et al.*, 2003a; Motzo *et al.*, 2007;

Balla *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2013). Asimismo, altas temperaturas durante la fase de llenado afectan el contenido proteico del grano (Wardlaw *et al.*, 2002; Gooding *et al.*, 2003; Balla *et al.*, 2009, 2011) a través de una reducción en la deposición de almidón, que influencia la concentración de proteína modificando la cantidad de nitrógeno por unidad de almidón (Stone y Nicolas, 1998). Aunque el flujo diario de carbono y nitrógeno al grano aumenta con el incremento de la temperatura, el flujo de carbono decrece por grado-día (Wardlaw *et al.*, 1980; Daniel y Triboi, 2001). Como resultado de ello, el tamaño del grano se ve más afectado por la temperatura que la cantidad de nitrógeno del grano (Daniel y Triboi, 2000).

Desde el punto de vista de la fisiología de la planta, las variaciones genotípicas en el contenido de proteína del grano han sido atribuidas a diferencias en la cantidad de nitrógeno absorbido desde el suelo antes de la antesis, en la actividad del sistema radical durante el llenado de granos, en la eficiencia de translocación de las sustancias nitrogenadas desde los tejidos vegetativos al grano y en el índice de cosecha (Kramer, 1979; Jenner *et al.*, 1991; Giuliani *et al.*, 2011) Estos procesos están bajo control genético (Cox *et al.*, 1985 a y b, Cox *et al.* 1986; Suprayogi *et al.* 2011) pero su expresión está también influida por el ambiente de cultivo y por las interacciones genotipo-ambiente (Triboi *et al.*, 2000).

1.1.2. VITREOSIDAD DEL GRANO

Debido al considerable impacto que tiene sobre el valor molinero del grano, la vitreosidad es un importante factor de calidad del trigo candeal, presente en los estándares oficiales de comercialización de la mayoría de los países que producen o exportan este cereal (Menger, 1973). La vitreosidad hace referencia a la apariencia translúcida y vítrea del grano, en contraposición al carácter opaco de los granos almidonosos, no vítreos. A partir de madurez fisiológica, el

grano de trigo pierde humedad y reduce su tamaño, lo cual es posible gracias a la red de proteína del endosperma, que al contraerse elimina los espacios de aire presentes en el mismo (Anjum y Walker, 1991). Cuando una discontinuidad en la matriz proteica limita la contracción del endosperma en desecación, los espacios de aire que quedan en el interior del mismo refractan y difunden la luz, dando lugar a la aparición de regiones opacas, *i.e* no vítreas o almidonosas, que externamente se visualizan como una mota blanca (Fig. 1.1). El alto grado de compacidad de su estructura interna, y la ausencia de espacios de aire, hace completamente translúcidos a los granos vítreos, en tanto que la carencia de zonas translúcidas torna opacos y blancos a los granos almidonosos (Dexter *et al.*, 1989).



Figura 1.1. Apariencia externa de granos vítreos (izq.) y no vítreos (der.) de trigo candeal (Fuente: Neethirajan *et al.*, 2006).

Por lo general, los granos vítreos son más duros, y tienen un contenido de proteína mayor que los granos no vítreos o almidonosos (Dziki y Laskowski, 2005). Según estudios realizados por Samson *et al.* (2005) con cuatro genotipos de *durum* en cuatro localidades del sur de Francia, el contenido de proteína de granos completamente vítreos era 1,5 veces superior al de los granos totalmente almidonosos, en tanto que su dureza era 2,2 veces mayor. Durante la molienda, los granos vítreos tienden a rendir una alta proporción de partículas de granulometría más gruesa (sémolas), con baja producción de partículas finas (harinas), en tanto que los granos almidonosos, más blandos, se pulverizan más, produciendo un porcentaje mayor de harinas en detrimento de la producción de sémolas (Owens, 2001). Los granos almidonosos, además,

producen sémolas con mayor contenido de pecas blancas, que se evidencian posteriormente en el fideo, haciéndolos más débiles y de pobre calidad en la cocción (Feillet y Dexter, 1996; Seghezzo y Molfese, 1999).

Además de los vítreos y almidonosos, Dexter *et al.* (1989) reconocieron la existencia de una tercera categoría de granos, a los que denominaron “moteados”. Los granos moteados se caracterizan por presentar zonas almidonosas y vítreas en áreas adyacentes del grano (Dowell, 2000), con niveles proteicos intermedios y dureza comparable a la de los granos vítreos (Fig. 1.2).



Figura 1.2. Apariencia interna de granos no vítreos (A), moteados (B) y totalmente vítreos (C) (Fuente: Sieber *et al.*, 2015).

Cabe aclarar que los normas o procedimientos reconocidos a nivel internacional para la evaluación de este atributo (ISO e ICC) definen como completamente vítreos solo a “aquellos granos que no exhiben la menor traza de endosperma farináceo”, definición adoptada también por la Canadian Grain Commission.

Matsuo y Dexter (1980a) sobre muestras reconstituídas de CWAD con niveles de vitreosidad decrecientes (entre el 100% y 0%) determinaron que un

aumento en la proporción de granos almidonosos no afectaba el rendimiento molinero total (sumatoria de sémolas y harinas). No obstante, en la medida que la vitreosidad disminuía, el contenido de proteína y la proporción de sémolas decrecían, en tanto que la de harinas se incrementaba.

El impacto que produce la presencia de granos no vítreos o panza blanca sobre el rendimiento de sémola varía de un molino a otro, dependiendo de la granulometría buscada en la sémola. Por más de 25 años Menger (1971) cuestionó la importancia de la presencia de granos almidonosos en la molienda de trigo candeal, basado en la tendencia que exhibía la industria molinera hacia menores granulometrías en la sémola. Desde entonces dicha preferencia se ha hecho cada vez más evidente, en la medida que los principales fabricantes de equipos de pasta recomiendan la utilización de sémolas de granulometría más fina, que se adaptan mejor a las modernas prensas de alta capacidad (Dexter *et al.*, 1989; Dexter *et al.*, 2000). En virtud de la probada relación existente entre el contenido de proteína del grano y la vitreosidad, se ha sugerido que cuando en la comercialización del trigo candeal se declara el porcentaje de proteína, la especificación del contenido de granos vítreos es menos importante, a pesar de lo cual este atributo sigue siendo un factor que influye en la molienda (Dexter y Edwards, 2001).

En Argentina la industria molinera busca obtener rendimientos de sémola en el rango del 63 al 65%, con producciones de harinas que no superen el 15 al 17% (Lic. R. Vigna, Molinos Río de La Plata, Com. Pers). Para alcanzar dichos guarismos, la norma comercial contempla bonificaciones a partir del 51% de vitreosidad (Tabla A del ANEXO), y aplica fuertes rebajas a los lotes de grano con niveles de vitreosidad menores al 50%, que en casos extremos pueden llegar a acumular descuentos de hasta el 19 %. Según datos publicados en el informe de Calidad de Trigo Argentino, la vitreosidad de la producción nacional de trigo candeal del último decenio (2006 - 2015) ha oscilado entre el 23% y el 70%, con un promedio del 48%, lo que pone de manifiesto la dificultad que presenta la región de cultivo para alcanzar los niveles mínimos de vitreosidad

(> 50%) que requiere la industria para la elaboración de pasta seca de calidad (Larsen y Jensen, 2016).

Aunque vitreosidad y dureza son dos variables del grano que han demostrado estar medianamente correlacionadas (Stenvert y Kingswood, 1977; Dexter *et al.*, 1988; Aalami *et al.*, 2007), ambos atributos hacen referencia a propiedades del grano diferentes. Así, mientras la dureza es una propiedad mecánica, ligada principalmente al genotipo, y vinculada a la ausencia de puroindolinas en la interfase entre el gránulo de almidón y la matriz proteica de reserva (lo que determina un fuerte grado de adhesión entre ambos compuestos) (Greenwell y Schofield, 1986; Mikulíková, 2007), la vitreosidad es un atributo de índole visual, influida fuertemente por las condiciones agroclimáticas en que se desarrolla el cultivo (Parish y Halse, 1968; Pomeranz y Williams, 1990). Una baja disponibilidad de nitrógeno es considerada como el factor más crítico para la aparición de granos no vítreos y moteados, aunque también deben considerarse factores genéticos y de índole ambiental (Gate, 1996, citado por Samson *et al.*, 2005). BÍlgín *et al.* (2010) reportaron que el porcentaje de granos vítreos de 25 genotipos de *durum* cultivados en tres localidades de Turquía, estuvo correlacionado negativamente con el rendimiento ($r = -0,38$, $P < 0,01$) y, positivamente con el contenido proteico de los granos ($r = 0,45$, $P < 0,01$). En esquemas productivos de muy altos rendimientos del área de riego del Valle Imperial en California, Robinson *et al.* (1979), informaron que a través de la implementación de altas dosis de fertilizantes, por cada punto de aumento de la proteína era posible disminuir entre un 16,4% y un 18,5% el porcentaje de granos panza blanca. Por su parte, Samson *et al.* (2005), para cuatro genotipos franceses de trigo *durum* a los que se aplicaron diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada, confirmaron que un incremento del contenido de proteína en respuesta a la aplicación de nitrógeno, propiciaba la formación de granos vítreos, fenómeno que se vio favorecido cuando dicho aporte se realizó al momento de la floración del cultivo.

Para tres localidades de la isla de Chipre donde se ensayaron 20 genotipos de trigo *durum* bajo tres tratamientos de fertilización nitrogenada, Hadjichristodoulou (1979) observó que la correlación entre proteína y vitreosidad fue significativa solo para el tratamiento testigo (N_0) en dos de las tres localidades ensayadas ($r= 0,51^*$ y $r= 0,74^{**}$). En el mismo trabajo, se comprobó la existencia de una correlación genotípica positiva entre el peso de mil granos y la vitreosidad para dos de dichas localidades ($r= 0,57^{**}$ y $r= 0,50^*$), sugiriéndose que es dable esperar niveles de vitreosidad más altos en variedades que se caracterizan por poseer granos grandes.

Rharrabti *et al.* (2003b) en un estudio conducido durante 1998 y 1999 con diez genotipos de *durum* en tres regiones de España, con y sin tratamiento de riego complementario, concluyeron que la vitreosidad del grano resultó negativamente afectada por el aporte total de agua (*i.e.* lluvia + riego) durante el llenado de granos ($r= - 0,65^*$), lo cual se reflejó en los niveles comparativamente más altos de vitreosidad que exhibieron los ensayos en seco.

El grano de trigo puede perder su vitreosidad si es expuesto a condiciones de lluvias y/o alta humedad hacia el final del período de llenado. Cuando las precipitaciones son ligeras el daño normalmente es menor, resultando solamente en la decoloración de la cubierta externa del grano (“lavado”) y en una reducción leve del peso hectolítrico (Gan *et al.*, 2000). En este caso, si bien se afecta el grado comercial, ni las propiedades de la sémola ni la calidad del spaghetti se ven afectadas (Debbouz *et al.*, 1995). Ahora bien, cuando la humedad persiste, el agua migra hacia el interior del endosperma provocando la expansión de grano, que luego al secarse, no vuelve a su tamaño original. Ello determina la aparición de fisuras o grietas con aire dentro del mismo tornándolo almidonoso y más blando durante la molienda (Dexter *et al.*, 1989).

En un estudio realizado en North Dakota con diez cultivares de trigo *durum*, Sandhu *et al.* (2009) observaron que la exposición del grano durante tres días

consecutivos, ya no a lluvias sino a un ambiente con humedad relativa del 88% provocó una disminución de la vitreosidad del orden del 23,6%, sin modificar la apariencia y el brillo del grano.

La vitreosidad del grano también puede verse modificada por la velocidad a la que se verifica el secado del grano una vez alcanzada la madurez fisiológica. Para granos de trigo cosechados al momento de máximo peso seco y secados bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa, Parish y Halse (1968) observaron que a bajas temperaturas, un secado rápido derivaba en una mayor producción de granos opacos, en tanto un secado lento favorecía el desarrollo de una mayor vitreosidad. Con temperaturas altas, en cambio, todos los granos desarrollaron buenos niveles de vitreosidad, independientemente de la velocidad del secado.

Si bien en la bibliografía existe coincidencia respecto de la fuerte componente ambiental de este atributo, se ha determinado que la vitreosidad del grano se halla controlada por la acción compleja de genes con efectos aditivos, de dominancia y epistáticos, donde los componentes aditivos contribuyen más a la resistencia que a la susceptibilidad de este rasgo (Bnejdi y El Gazzah, 2008). En trigo pan Dhaliwal *et al.* (1986) determinaron que la vitreosidad está controlada por dos o tres genes dominantes en los cromosomas 1A y 7A, y cuatro genes modificadores en los cromosomas 4A, 4B, 6A and 6D, que influyen la expresión de este carácter.

1.1.3. PESO HECTOLÍTRICO

El peso hectolítrico mide la relación entre el peso del grano y su volumen, considerándose una medida grosera de la densidad del mismo, y un indicador de su sanidad (Cubbada, 1988). Puede oscilar entre los 57,9 Kg hL⁻¹ para un trigo de baja calidad, hasta los 82,4 Kg hL⁻¹ para un trigo sano (Atwell, 2001). Por su estrecha relación con el aspecto general del grano el peso hectolítrico

es uno de los rubros más importantes incluido en los sistemas de comercialización de trigo de todo el mundo. Se lo considera un índice adecuado del potencial molinero de cualquier tipo de trigo, aunque se ha sugerido que la relación existente entre el peso hectolítrico y el rendimiento molinero es más fuerte dentro de un mismo cultivar que entre cultivares diferentes (Marshall *et al.*, 1986). En particular, en trigo *durum*, Dexter *et al.* (1987) en un trabajo realizado durante dos años consecutivos sobre muestras comerciales de CWA , determinaron que el rendimiento de sémola estuvo positivamente asociado con el PH ($R^2= 0,47$ a $0,53$), corroborando estudios previos realizados por Irvine (1964), también con CWAD. Por su parte, Watson *et al.* (1977) y Mittleider y Anderson (1977) también concluyeron que el PH fue un indicador efectivo del potencial molinero en trigo *durum* americano. En Italia, en tanto, en un estudio en el que se probaron entre 20 y 22 cultivares de trigo *durum* en 46 a 48 ambientes diferentes, se informaron relaciones entre el PH y el rendimiento de sémola sensiblemente menores ($R^2= 0,20$) (Novaro *et al.*, 2001).

En Argentina la industria de la molienda presta particular atención a este atributo, en la búsqueda de un rendimiento molinero global del orden del 79%, considerando la sumatoria de sémolas y harinas claras de primera rotura (Lic. Romina Vigna, Molinos Río de La Plata, Com. Pers.). La norma comercial de trigo para fideos, a través de la cual se rigen las operaciones de compra-venta de este cereal, refleja tal exigencia, estableciendo un valor mínimo de 78 Kg hL^{-1} para el grado 1 del estandar, en tanto que los grados 2 y 3 deben superar los 76 y 72 Kg hL^{-1} , respectivamente (Tabla A del ANEXO). Más allá de las fluctuaciones interanuales asociadas a las condiciones climáticas particulares de cada campaña, los niveles de peso hectolítrico que exhibe la producción argentina de trigo candeal pueden considerarse satisfactorios, con una media que en la última década se ubica en los 79 Kg hL^{-1} (www.trigoargentino.com.ar)

El peso hectolítrico está influenciado de forma directa por el tamaño, peso y forma del grano, e indirectamente por factores abióticos y bióticos que alteran dicho tamaño y forma, como son el estrés hídrico y/o térmico, el deterioro asociado al lavado por lluvias, el brotado, y el daño provocado por ataques de insectos y presencia de enfermedades (Clarke *et al.*, 2009). Matsuo y Dexter (1980a) hallaron una baja pero significativa correlación entre el peso hectolítrico y el peso de los granos ($r= 0,32^{**}$), variables que a su vez estuvieron positivamente asociadas al rendimiento de sémola ($r= 0,52^{**}$ y $r=0,69^{**}$, para el PH y el PMG, respectivamente). Por su parte, Aalami *et al.* (2007a), para un grupo de seis cultivares de trigo *durum* de la India determinaron que las dos variedades que exhibieron el primer y segundo mejor peso hectolítrico, presentaron respectivamente, el valor más alto y el más bajo de PMG. Del mismo modo, Ghaderi y Everson (1971) determinaron una escasa correlación genética (varietal) entre el PH y el PMG sugiriendo la falta de genes en común para el control de estos atributos, y que la correlación positiva entre ambos era debida a efectos ambientales. En un estudio de dos años en el que se ensayaron 16 cultivares comerciales de *durum* en dos localidades del sur de Italia, Troccoli y di Fonzo (1999) tampoco hallaron correlaciones significativas entre el peso de los granos y el peso hectolítrico, atributo que sí se mostró negativa y significativamente vinculado al largo y al perímetro del grano ($r= - 0,61^*$ y $r= - 0,57^*$, respectivamente). En dicho trabajo, además, el peso hectolítrico estuvo positivamente asociado a la forma del grano, medida a través de la relación de aspecto rectangular (*i.e.* cociente entre el ancho y el largo del grano), y a un factor vinculado a la circularidad del grano ($r= 0,51^*$ y $r=0,59^*$, respectivamente). Según estos autores pueden esperarse valores altos de peso hectolítrico en cultivares de trigo *durum* de grano corto y redondeado o bien con elevadas valores en la relación de aspecto A/L. Estos autores concluyeron que puesto que el peso hectolítrico estuvo fuertemente correlacionado con la eficiencia de empaquetamiento ($r=0,98^{***}$) pero no con el PMG, es altamente probable que las diferencias de peso hectolítrico entre variedades y dentro de una misma variedad de *durum* estén relacionadas más con la forma del grano que con su tamaño. A similares conclusiones arribaron

Ghaderi *et al.* (1971) quienes observaron que el peso hectolítrico correlacionó negativamente con la forma del grano ($r = -0,62^*$), medida en este caso a través del cociente entre el largo y el ancho del mismo (relación L/A).

Las condiciones ambientales imperantes antes de la cosecha, tales como sequía y/o altas temperaturas durante el llenado (Donelson *et al.*, 2002), o la alternancia de ciclos de humedecimiento y secado en la etapa de maduración (Gan *et al.*, 2000; Yamazaki y Briggie, 1969), pueden determinar importantes cambios en el grano que impactan de manera indirecta sobre el peso hectolítrico. En líneas generales la calidad de uso final del trigo tiende a verse reducida por los efectos de lluvias abundantes y prolongadas previo a la cosecha, lo que puede provocar un aumento de la actividad enzimática del grano, determinando en casos extremos, el brotado en planta (Edwards *et al.*, 1989). No obstante, cuando las lluvias son ligeras o de corta duración los efectos sobre la calidad son menos severos, produciéndose una reducción del peso hectolítrico, que normalmente va acompañada por el lavado de los granos (Gan *et al.*, 2000; Czarnecki y Evans, 1986). La ocurrencia de lluvias determina que, al hidratarse, los granos aumenten su tamaño, y el endosperma se separe del pericarpio, disminuyendo la densidad de los mismos pero no su masa; con el secado subsecuente, sin embargo, el grano no recobra su tamaño original, y las capas del pericarpio exhiben una apariencia más abierta y áspera, que afecta el modo en que los granos se distribuyen en el granel (Gaines *et al.*, 1998). Se ha citado, asimismo, que en el endosperma de los granos que persisten bajo condiciones de elevada humedad, se hace evidente la aparición de fisuras que modifican la estructura interna del mismo en cuyo caso también se ve afectada la vitreosidad (Milner y Shellenberger, 1953; Cantamutto y Mockel, 1991; Clarke *et al.*, 2005).

En lo que concierne al comportamiento de las variedades, resultados obtenidos a partir de un estudio conducido en Canadá durante dos años, revelaron amplias diferencias entre cultivares de trigo rojo de primavera en la magnitud de la reducción del peso hectolítrico como consecuencia de la ocurrencia de

lluvias moderadas previas a la cosecha (Czarnecki y Evans, 1986). No obstante ello, Gan *et al.* (2000) reportaron que 90% de la variación genotípica observada en el peso hectolítrico de variedades de trigo cuyos granos fueron sumergidos en agua por tiempos variables era atribuible a las diferencias de PH preexistentes entre los genotipos previo a dicho tratamiento.

El peso hectolítrico también puede verse reducido por la ocurrencia de un estrés hídrico y/o térmico durante el llenado de granos, lo que normalmente se vincula con una reducción severa del peso del grano (Giunta *et al.*, 1993). A este fenómeno se lo conoce vulgarmente como “achuzamiento”. Los granos chuzos se acomodan de manera desuniforme en el granel, lo que incrementa el espacio poroso entre ellos debido a la presencia de superficies planas y cóncavas que se combinan con el contorno convexo de los granos normales (Ghaderi y Everson, 1971). Tanto el PH como el rendimiento molinero de muestras reconstituídas de CWAD disminuyeron significativamente cuando los valores de grano chuzo en la muestra fueron superiores al 4% (Dexter y Matsuo, 1981).

Si bien se reconoce que un peso hectolítrico elevado usualmente es el resultado de la combinación de una humedad adecuada y un período de llenado largo y fresco, existe coincidencia en la bibliografía en que, bajo condiciones de clima seco y cálido normalmente se logran niveles de peso hectolítrico más altos que en áreas más húmedas (Gaines *et al.*, 1996, Taghouti *et al.*, 2010). En España, en sendos trabajos de Michelena *et al.* (1995) y Rharrabti *et al.* (2003), se enfatizó acerca de la notable dificultad que exhibe la zona norte del país, de clima frío y húmedo, en comparación con la región sur más seca y cálida, para alcanzar valores de PH del orden de los 80 kg hL⁻¹ (nivel de peso hectolítrico mínimo requerido por la Unión Europea). Para ambientes de clima Mediterráneo, Borghi *et al.* (1997), señalaron que en regiones donde la disponibilidad hídrica es moderadamente baja, si bien los rendimientos suelen ser menores y más erráticos, se dan condiciones que propician una mejor expresión de aquellos parámetros asociados a la calidad,

como lo son el peso hectolítrico, el contenido proteico del grano y la vitreosidad. En lo que concierne a la relación entre el peso hectolítrico y la proteína del grano, para un set de diez cultivares de trigo de invierno del Reino Unido se observó que un aumento en el contenido proteico del grano condujo a un incremento en la densidad del mismo y, como consecuencia de ello, del peso hectolítrico, debido a que la proteína pasó a ocupar los espacios de aire existentes entre los gránulos de almidón del endosperma (Pushman y Bingham, 1975). La existencia de correlaciones positivas moderadas entre el contenido de proteína del grano y el peso hectolítrico fue reportada también para trigo blando por Schuler *et al.* (1994) y Thompson (1995) ($r= 0,56$ y $r=0,64$, respectivamente).

En trigo *durum*, Dexter *et al.* (1987) para dos ciclos agrícolas, hallaron una fuerte correlación negativa entre el PH y el contenido proteico de CWAD ($r= -0,95^{**}$ y $r= -0,91^{**}$, respectivamente), resultados que concuerdan con lo informado por Michelena *et al.* (1995) para trigo duro de España ($r= -0,56^{**}$), BÍlgín *et al.* (2010) para 25 genotipos de *durum* en Turquía, y por Preston *et al.* (1995) para dos cultivares de Canada Prairie Spring Wheat (CPSW) ($r= -0,75^*$ y $r= -0,93^{**}$). Al respecto se ha sugerido que tal disminución del peso hectolítrico, más que un efecto directo producido en respuesta a contenidos proteicos crecientes, pudo estar asociado a un aumento en los niveles de grano chuzo (típicamente con alta proteína), por efecto de un estrés ambiental (sequía y/o extremo calor) (Preston *et al.*, 1995). Por su parte, Tipples *et al.* (1977), citado por Preston *et al.* (1995), Dexter *et al.* (1982) y El-Khayat *et al.* (2006), no encontraron relación alguna entre ambas variables, en tanto Gaines (1991) observó que el peso hectolítrico puede estar tanto positiva o como negativamente asociado al contenido proteico.

Sobre la base del marco teórico desarrollado en esta sección, se plantearon las siguientes hipótesis:

1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El genotipo, el ambiente y las interacciones genotipo-ambiente ejercen un impacto significativo sobre el porcentaje de proteína, la vitreosidad y el peso hectolítrico del grano de trigo candeal, cuya contribución relativa es variable dependiendo del rasgo considerado.
- Las variaciones en los factores del clima debidas al sitio de cultivo, y/o a las fluctuaciones interanuales de dichos factores, pueden determinar amplias oscilaciones en la calidad de los cultivares, que podrían relacionarse con variaciones en el largo del ciclo, con la forma y tamaño de los granos, y/o con los niveles de rendimiento.
- Dentro de la región tradicional de cultivo es posible identificar zonas o áreas con capacidad para producir calidades diferentes, pese a lo cual el logro de niveles satisfactorios de calidad de forma consistente puede resultar un objetivo difícil de alcanzar, debido a la existencia de importantes fluctuaciones interanuales en los factores del clima.
- La magnitud de la respuesta de los genotipos a las variaciones del ambiente es variable para los distintos atributos de calidad, y también, entre genotipos, lo cual deriva en una gran dificultad para reunir niveles satisfactorios de todos los atributos en un mismo cultivar.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la contribución relativa del ambiente, el genotipo y las interacciones GA sobre el porcentaje de proteína, la vitreosidad y el peso hectolítrico del grano.

- Analizar el modo en que el ambiente, medido a través de las principales variables del clima que lo caracterizan, afecta a dichos atributos de calidad, ya sea de modo directo, o a través de las relaciones existentes entre los mismos con la longitud del ciclo del cultivar, el rendimiento y/o el PMG.

- Investigar a) si dentro del área bajo estudio es posible la delimitación de ambientes con capacidad para satisfacer en simultáneo niveles satisfactorios de calidad para los tres atributos analizados, y b) si los genotipos estudiados pueden satisfacer las demandas de calidad impuestas por la industria de manera estable.

- Estudiar los patrones de respuesta de los genotipos al ambiente, con el fin de utilizar dicho conocimiento para el desarrollo de perfiles predictivos de calidad tendientes a hacer más eficiente la recomendación de variedades en las distintas zonas de producción.

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Una vez limpias y acondicionadas a 12,5% de humedad, las muestras de granos (tres repeticiones por variedad y por ambiente) fueron sometidas a los siguientes análisis:

1.4.1. Contenido de Proteínas (PROT)

Para la determinación de proteína en grano entero se siguió la metodología NIR, según Norma AACC N° 39-21. Para tal fin se utilizó un equipo INFRATEC, basado en los fenómenos de reflectancia – transmitancia de luz. Los valores se expresaron en por ciento (%) sobre base 13,5% de humedad.

1.4.2. Vitreosidad (VIT)

Se realizó según Norma XXI SENASA (Resolución ex-SAGyP N° 1075/94), a través de la inspección visual mediante Diafanoscopio de 100 granos de trigo provenientes de una muestra libre de impurezas y de granos partidos. El método, basado en el empleo del ensayo de traspaso de luz (Sistema VOGEL), se fundamenta en el hecho de que los rayos luminosos atraviesan las zonas compactas vitrificadas, pero no las harinosas. Los resultados se expresaron en por ciento (%).

1.4.3. Peso Hectolítrico (PH)

Se determinó mediante el uso de la balanza de Schopper equipada con vaso de 250ml, según Resolución SAGPyA 557/97. El resultado se expresó al centésimo, en kilogramos por hectolitro (Kg hL^{-1}).

1.4.4. Peso de Mil Granos (PMG)

La determinación del PMG se realizó según Norma IRAM 15853, usando un contador electrónico NUMIGRAL (Tripette et Renaud, Francia), y posterior pesado de granos. Previamente se removieron de la muestra los granos rotos y las materias extrañas. Este análisis se realizó por triplicado, tomándose como

resultado el promedio de las determinaciones. Se expresó en gramos ($\pm 0,01$ g).

1.4.5. Relación de aspecto del grano (A/L)

El ancho (A) y largo (L) de los granos, expresados en mm, se midieron con un calibre Vernier, sobre 100 granos tomados al azar de cada muestra, luego de lo cual se calculó la relación entre ambas variables de dimensión.

1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las campañas agrícolas 2004, 2005 y 2006 abarcaron un amplio rango de condiciones climáticas, que determinaron importantes variaciones tanto en los niveles de rendimiento como en la calidad del grano cosechado (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Valores medios y rangos de variación para el contenido de proteína (%), el peso hectolítrico (Kg hL⁻¹), la vitreosidad (%) y el rendimiento de grano (Kg Ha⁻¹) de trigo candeal cultivado en el sur bonaerense entre 2004 y 2006.

Variable	Media ^a	Rango
Proteína (%)	14,1	11,7 - 18,4
Vitreosidad (%)	92	67 - 99
Peso Hectolítrico (Kg hL ⁻¹)	78	67 - 84
Rendimiento (Kg Ha ⁻¹)	4288	1701 - 8223

^a Promedio de cinco genotipos cultivados en diez ambientes, con tres repeticiones por ambiente.

El análisis combinado de la varianza reveló que para las tres variables en estudio, los efectos del ambiente (A) prevalecieron ampliamente por sobre los efectos del genotipo (G), y los de las interacciones GA, representando entre un 51,3% y un 64,5% de la variabilidad total observada. Los efectos de G explicaron entre un 8,0 % y un 28,8%, en tanto que las interacciones GA dieron cuenta entre un 7,5% y un 31,6% de la variabilidad. (Tabla 1.2).

Tabla 1.2. Variabilidad atribuida a los efectos del ambiente (A), el genotipo (G), y la interacción genotipo-ambiente (GA), sobre el contenido de proteína del grano (%), la vitreosidad (%) y el peso hectolítrico (Kg hL⁻¹), de cinco genotipos de trigo candeal evaluados en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense.

Variable	Fuente	gl ¹	SC ²	P-valor	%SC ⁶
Proteína	A	9	291,7	<0,0001 ³	51,3
	G	4	45,2	0,081 ⁴	8,0
	GA	36	179,3	<0,0001 ⁵	31,6
	Bloq (A)†	20	24,8	<0,0001	4,4
	Error	80	27,1		4,8
	Total			568,0	
Vitreosidad	A	9	5357,2	<0,0001	64,5
	G	4	876,7	0,0015	10,6
	GA	36	1439,8	<0,0001	17,3
	Bloq (A)	20	147,9	0,2543	1,8
	Error	80	481,5		5,8
	Total			8303,0	
Peso Hectolítrico	A	9	1166,7	<0,0001	56,3
	G	4	596,1	<0,0001	28,8
	GA	36	155,9	<0,0001	7,5
	Bloq (A)	20	35,6	0,275	1,7
	Error	80	118,5		5,7
	Total			2072,7	

† Bloque anidado dentro de ambiente

¹ Grados de libertad; ² Suma de cuadrados

³ Se probó con el cuadrado medio (CM) del bloque anidado en el ambiente (Bloq (A))

⁴ Se probó con el CM de la interacción GA

⁵ Se probó con el CM del error

⁶ Respecto de la SC total

Para las tres variables analizadas, las varianzas asociadas a los efectos del ambiente (σ^2_A) fueron entre 1,7 y 8,4 veces superiores a las varianzas asociadas a los efectos del genotipo (σ^2_G), conforme lo revela el cociente σ^2_A/σ^2_G (Tabla 1.3). Cocientes σ^2_A/σ^2_G mayores a la unidad (>1) reflejan una mayor influencia del factor ambiental sobre la variabilidad del atributo, en tanto que cocientes menores a la unidad (<1) indican una relativamente mayor influencia del factor genético. En España Rharrabti *et al.* (2003) informaron valores de cociente σ^2_A/σ^2_G de 10,6, 23,9 y 3,9 para el contenido proteico del grano, la vitreosidad y el peso hectolítrico, respectivamente, lo que representa

una proporcionalmente mayor varianza ambiental que la observada en el presente estudio. Taghouti *et al.* (2010) determinaron que en el caso del PH, los efectos genéticos prevalecían por sobre los del ambiente (33,5% vs 25% de la variabilidad, para G y A, respectivamente), mientras que para la proteína y la vitreosidad coincidieron con lo observado en el presente estudio.

En lo que concierne a la magnitud relativa de los efectos del genotipo respecto de los de las interacciones GA ($\sigma^2_G/\sigma^2_{AxG}$), se observaron algunas diferencias entre variables. En el caso de PROT y VIT se determinaron valores de cociente $\sigma^2_G/\sigma^2_{AxG}$ menores a la unidad (0,1 y 0,5, respectivamente), lo que implica cierto grado de inestabilidad en la respuesta de los genotipos frente al ambiente. Para PH, en tanto, las varianzas asociadas a los efectos del genotipo quintuplicaron a las debidas a las interacciones GA, reflejando una mayor influencia y estabilidad del factor genético, en sintonía con lo reportado por Rharrabti *et al.* (2003).

Tabla 1.3. Varianzas asociadas a los efectos del ambiente (σ^2_A), el genotipo (σ^2_G), las interacciones genotipo-ambiente (σ^2_{AxG}) y cocientes respectivos, para tres atributos del grano de trigo candeal vinculados al rendimiento de sémola.

Atributo	σ^2_A	σ^2_G	σ^2_{AxG}	σ^2_A/σ^2_G	$\sigma^2_G/\sigma^2_{AxG}$
Proteína (%)	1,8	0,2	1,5	8,4	0,1
Vitreosidad (%)	36,9	6,0	11,3	6,2	0,5
Peso Hectolítrico (Kg hL ⁻¹)	8,3	4,8	0,9	1,7	5,1

1.5.1. INFLUENCIA DEL GENOTIPO, EL AMBIENTE Y LAS INTERACCIONES GA SOBRE EL PORCENTAJE DE PROTEÍNA DEL GRANO

El contenido proteico del grano (PROT, %) es un importante atributo de calidad del trigo *durum* con destino a la elaboración de pasta, debido a su efecto sobre la firmeza del fideo cocido y la tolerancia a la sobrecocción (Dexter y Matsuo, 1977). Por ello, una alta concentración de proteína en el grano es una de las principales especificaciones requeridas por la industria al momento de comprar este tipo de trigo.

Como se mencionó en un párrafo precedente, en este estudio PROT estuvo influido principalmente por los efectos del ambiente, en sintonía con lo informado para trigo *durum* de Argentina por Larsen y Jensen (2016), Miravalles *et al.* (2006, 2008), y Seghezzi *et al.* (2011), y para trigo pan por Mortarini *et al.* (2004), Zamora *et al.* (2005), Chidichimo *et al.* (2007), Frascina *et al.* (2007), Abbate *et al.* (2010) y Gómez (2011). Michelena *et al.* (1995) y Rharrabti *et al.* (2001, 2003) en España, Mariani *et al.* (1995) y Boggini *et al.* (1997) en Italia, Nachit *et al.* (1995) en Siria, Ames *et al.* (1999) y Clarke *et al.* (2009) en Canadá, Taghouti *et al.* (2010) en Marruecos, Akçura (2009) y Sakin *et al.* (2011) en Turquía, y Pinheiro *et al.* (2013) en Portugal, también han informado una mayor influencia del ambiente sobre los niveles de proteína del grano. En un trabajo pionero en el tema Kramer (1979) reportó que las variaciones en el contenido proteico del grano atribuibles a diferencias genéticas, eran generalmente menores en magnitud a la variación causada por la influencia ambiental.

En lo concerniente a los efectos de las interacciones GA, cabe aclarar que la mayoría de los trabajos citados reportan efectos significativos, pero de escasa magnitud en relación a los efectos del genotipo, en tanto que solo unos pocos mencionan contribuciones comparables o superiores a los efectos del genotipo,

conforme lo observado en este estudio (Nachit *et al.*, 1995; Ames *et al.*, 1999; Bilgin *et al.*, 2010).

1.5.1.1. INFLUENCIA DEL AMBIENTE

A través de los diez ambientes del ensayo PROT alcanzó un promedio de 14,1%, fluctuando entre un mínimo de 12,2 % y un máximo de 16,1%, en La Dulce y Cabildo en 2005, respectivamente (Tabla 1.4). Durante los tres años de ensayo, en todas las localidades las variedades superaron holgadamente el 11% de proteína en el grano (base 13,5%H), valor por encima del cual la norma de comercialización de trigo candeal prevé bonificaciones por sobre el precio de referencia de este cereal (Norma XXI en Tabla A del ANEXO). Los elevados valores observados se condicen con las cuidadas prácticas de manejo mediante las que se conduce el Ensayo Regional de Trigo para Fideos.

Tabla 1.4. Valores medios y rango de variación del contenido de proteína del grano (%) de trigo candeal en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006.

Año	Sitio	Ambiente	Media ^a (%)	Rango (%)
2004	Barrow	1	12,8	12,2 - 13,4
	Cabildo	2	15,1	14,4 - 15,8
	La Dulce	3	13,3	12,7 - 13,5
	Bordenave	4	12,6	11,8 - 13,6
2005	Barrow	5	12,9	12,0 - 14,0
	Cabildo	6	16,1	14,9 - 16,7
	La Dulce	7	12,2	11,7 - 12,8
2006	Barrow	8	15,7	12,2 - 17,7
	Cabildo	9	15,3	12,5 - 18,4
	La Dulce	10	15,2	12,8 - 17,4
Media			14,1	12,2 – 16,1
CV (%)			10,5	

^a Promedio de cinco genotipos y tres repeticiones por genotipo

El ANOVA triple que resultó de descomponer el factor ambiente del ANOVA doble, en los respectivos componentes, año (Y) y localidad (L), separadamente, reveló efectos significativos para todas las fuentes de variación involucradas ($P < 0,001$) (Tabla 1.5).

Tabla 1.5. Análisis de la varianza para el contenido de proteína del grano (%) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en cuatro localidades del sur bonaerense durante tres años.

Fuente	gl^1	SC ² Tipo III	SC ³ (%)	CM ⁴	F - valor	
Año (Y)	2	84,68	16,1	42,34	125,26	***
Localidad (L)	3	108,39	20,6	36,13	106,89	***
Y x L	4	73,97	14,0	18,49	54,71	***
Bloq (Y x L)	20	24,76	4,7	1,23	3,66	***
Genotipo (G)	4	42,19	8,0	10,54	31,16	***
G x Y	8	113,56	21,6	14,19	41,94	***
G x L	12	20,61	3,9	1,71	5,07	***
G x Y x L	16	31,64	6,0	1,97	5,84	***
Error	80	27,08	5,1	0,33		

¹ Grados de libertad; ² Suma de cuadrados; ³ Suma de cuadrados respecto de la SC Total; ⁴ Cuadrado Medio
 *** Significativas con $P \leq 0,0001$

En lo concerniente a los efectos del ambiente, la mayor contribución le correspondió al factor localidad, que dio cuenta por el 20,6% de la variación total en los valores de PROT, seguida por los efectos del año (16,1%) y los de la interacción año x localidad (14,0%). Similares resultados han sido reportados por Seghezzi *et al.* (2011) para el mismo set de cultivares, evaluados entre 2004 y 2008 en 30 ambientes del sur bonaerense, y por Rharrabti *et al.* (2003) en España, y Sakin *et al.* (2011) en Turquía. Estos últimos determinaron que los efectos de la localidad y las interacciones localidad x año eran semejantes en magnitud (26,8 y 24,0% de la variación total, respectivamente), y prevalecían por sobre las restantes fuentes de variación, incluidos los efectos

del año. En tanto, Michelena *et al.* (1995) para 16 genotipos cultivados durante tres años en 12 localidades del nordeste de España determinaron que el principal componente ambiental de la varianza fue la interacción año x localidad, seguida por los efectos de la localidad, advirtiendo acerca de la dificultad concreta que representa para las industrias de esa región proveerse de materia prima con niveles proteicos estables a lo largo del tiempo.

De los tres años que abarcó el estudio, 2006 se destacó con el promedio de PROT más alto (15,4% vs 13,4% y 13,7% en 2004 y 2005, respectivamente) (Tabla 1.6), debido a la notable reducción del PMG que se dio en los tres sitios como consecuencia del severo estrés hídrico y las altas temperaturas que experimentaron los cultivos durante el llenado de granos (Ver Fig. V en Pág. 26).

Se determinaron amplias diferencias en los niveles medios de PROT entre localidades dentro de la misma campaña (*e.g.* Cabildo y La Dulce en 2005), y entre campañas para una misma localidad (*e.g.* La Dulce en 2005 y 2006) (Tabla 1.6). Al cabo de los tres años de ensayo, el promedio de proteína más alto le correspondió a Cabildo, en el SO Semiárido (15,5% \pm 0,5) ($P < 0,01$). En 2004 y 2005, esta localidad aventajó a las restantes por 2,2 y 3,6 puntos de proteína, respectivamente, en tanto que en 2006, fue equiparada por Barrow y La Dulce, exhibiendo las tres niveles proteicos superiores al 15% (entre 15,2 y 15,7%). Cabe aclarar que, entre sendas localidades del Centrosur, las diferencias de proteína fueron siempre inferiores a la unidad (0,5% en 2004 y 2006, y 0,7% en 2005). Estos resultados concuerdan con las diferencias citadas por Larsen y Jensen (2016), para las seis localidades que participaron del Ensayo Regional de Trigo para Fideos durante el quinquenio 2011-2014.

Las diferencias en los niveles de proteína entre las subregiones del SO Semiárido, y del Centrosur, variaron en magnitud y significancia entre años (0,7%, 3,5% y -0,2% para 2004, 2005 y 2006, respectivamente) (Tabla 1.6), lo cual concuerda con los resultados informados por Rharrabti *et al.* (2003),

quienes reportaron fuertes interacciones zona x año en un estudio conducido por espacio de dos años en tres regiones de España. No obstante, debido a los consistentemente altos niveles proteicos exhibidos por Cabildo los tres años, y pese al comparativamente bajo valor de proteína que se dio en Bordenave en 2004, al cabo de las tres campañas la región del Sudoeste promedió un punto más de proteína que la región del Centrosur (14,7% vs 13,7%).

Tabla 1.6. Valores medios de Proteína del grano (%) de trigo candeal, en cuatro localidades del sur bonaerense pertenecientes a dos regiones de cultivo durante los años 2004, 2005 y 2006 (Promedio de cinco genotipos y tres repeticiones)..

Año	Media Año	Subregión						Regiones P-valor Contraste
		Sudoeste Semiárido			Centro Sur Subhúmedo			
		Cabildo	Bordenave	Media	Barrow	La Dulce	Media	
2004	13,4B†	15,1a††	12,6b	13,9	12,8b	13,3b	13,1	<0,10
2005	13,7B	16,1a	--	16,1	12,9b	12,2c	12,6	<0,0001
2006	15,4A	15,3a	--	15,3	15,7a	15,2a	15,5	ns
Media Localidad		15,5a			13,8b	13,6b		
Media Región		14,7			13,7			

† Letras en mayúscula diferentes, en la misma columna, indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$)

.†† Letras en minúscula diferentes, en la misma fila, indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

1.5.1.1.a. INFLUENCIA DE LOS FACTORES DEL CLIMA SOBRE EL PORCENTAJE DE PROTEÍNA DEL GRANO: EFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS

Las condiciones climáticas durante la estación de crecimiento, en especial la cantidad de lluvias y la temperatura, tienen una influencia trascendental sobre los procesos de las plantas, y por ende, sobre la calidad del trigo (Balla *et al.*, 2011). A los efectos de este estudio, y teniendo en cuenta que todos los sitios del ensayo fueron adecuadamente fertilizados, y agrónomicamente bien manejados, la influencia del ambiente sobre PROT se investigó en relación a

un total de 39 variables climáticas, entre las que se incluyó la temperatura media anual y la precipitación total anual, la temperatura media mensual y la precipitación total mensual, la temperatura media y la precipitación acumulada del primer y segundo semestres del año, la temperatura media y la precipitación acumulada del primer y segundo trimestres del ciclo del cultivo, y la temperatura media, la precipitación acumulada y la humedad relativa ambiente promedio del último bimestre del ciclo. Se analizaron, asimismo, las relaciones de PROT con las variables productivas, rendimiento de grano (RG), peso de mil granos (PMG) y largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP) (Tablas B a E del ANEXO).

Un análisis de correlación de Pearson determinó que PROT exhibió en general correlaciones negativas con las precipitaciones caídas en distintos momentos del año. En la Tabla 1.7 se presentan las relaciones más relevantes ($r \geq 0,50$). Entre las mismas, la más estrecha correspondió a las lluvias acumuladas durante el primer semestre ($r = -0,86$, $P \leq 0,001$), seguidas en orden decreciente por las lluvias del primer trimestre del ciclo *i.e.* de julio a septiembre ($r = -0,85$, $P \leq 0,001$), las de agosto ($r = -0,78$, $P \leq 0,01$), noviembre ($r = -0,77$, $P \leq 0,01$), junio ($r = -0,71$, $P \leq 0,05$), y las acumuladas a lo largo de todo el año ($r = 0,69$, $P \leq 0,05$). Correll *et al.* (1994) en Australia, Garrido-Lestache *et al.* (2005) en España, Flagella *et al.* (2010), Orlandini *et al.* (2011), Dalla Marta *et al.* (2011), Guasconi *et al.* (2011) y Toscano *et al.* (2015) en Italia, Taghouti *et al.* (2010) en Egipto, y Sakin *et al.* (2011) en Turquía también determinaron correlaciones negativas entre las precipitaciones y el contenido de proteína de los granos.

En lo que concierne a las relaciones de PROT con las temperaturas, las mismas presentaron prácticamente sin excepción signo positivo, pero solo fueron significativas las correlaciones con la temperatura media del segundo semestre del año ($r = -0,75$, $P \leq 0,01$), y con la temperatura media del mes de julio ($r = 0,67$, $P \leq 0,05$) (Tabla 1.7).

Tabla 1.7. Coeficientes de correlación de Pearson entre el porcentaje de proteína de los granos (%), y variables productivas y climáticas asociadas (N=10)

	Proteína (%)	Ciclo EMaESP ^a (días)	Rendimiento (Kg Ha ⁻¹)	Peso Mil Granos (g)
Proteína (%)	--	--	--	--
Ciclo EmaEsp (días)	-0,60 †	--	--	--
Rendimiento (Kg Ha ⁻¹)	-0,54 †	0,47	--	--
Peso Mil Granos (g)	-0,64 *	0,73 *	0,54 †	--
Pp Mayo (mm)	0,57 †	-0,08	-0,38	0,02
Pp Junio (mm)	-0,71 *	0,53	0,66 *	0,50
Pp Agosto (mm)	-0,78 **	0,76 **	0,58 †	0,72 *
Pp Septiembre (mm)	-0,58 †	0,67 *	0,47	0,45
Pp Noviembre (mm)	-0,77 **	0,75 **	0,40	0,81 **
Pp 1 ^{er} semestre (mm)	-0,86 ***	0,47	0,45	0,43
Pp 2 ^{do} semestre (mm)	-0,54 †	0,38	0,50	0,15
Pp1 ^{er} trimestre ciclo (mm)	-0,85 ***	0,67 *	0,77 **	0,60 †
Pp Total del año (mm)	-0,69 *	0,44	0,52	0,26
T° Febrero (°C)	0,54 †	-0,38	-0,82 **	-0,24
T° Abril (°C)	0,57 †	-0,44	-0,44	-0,71 *
T° Julio (°C)	0,67 *	-0,55 †	-0,56 †	-0,62 †
T° Octubre (°C)	0,57 †	-0,93 ***	-0,56 †	-0,83 **
T° 2 ^{do} Semestre año (°C)	0,75 **	-0,87 ***	-0,51	-0,70 *
T° 1 ^{er} Trimestre ciclo (°C)	0,57 †	-0,65 *	-0,78 **	-0,63 *
T° 2 ^{do} Trimestre ciclo (°C)	0,60 †	-0,93 ***	-0,60 †	-0,74 **
T° Último bimestre año (°C)	0,60 †	-0,89 ***	-0,63 *	-0,68 *
T° Año (°C)	0,52	-0,63 *	-0,76 **	-0,57 †

^a Ciclo desde la Emergencia a la Espigazón

*, **, *** Significativas con $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ y $P \leq 0,001$, respectivamente.

† $P > 0,05 < 0,10$

Un análisis de regresión múltiple paso a paso (Stepwise) determinó que del total de variables climáticas consideradas, las lluvias caídas en el primer semestre del año, conjuntamente con las del primer trimestre del ciclo, respondieron por el 86% de la variación de PROT entre ambientes ($b_{Pp\ EN-JUN} = -0,017$, $b_{Pp\ JUL-AGO-SET} = -0,015$, $R^2\ Aj = 0,82$, $F = 21,41$, $P < 0,001$, $N = 10$). Teniendo en cuenta la semejanza entre los coeficientes de ambas variables, se construyó una nueva variable que representó la suma de las precipitaciones de ambos períodos, donde PROT disminuyó a razón de 1,6% por cada 100 mm de lluvias caídas entre enero y septiembre ($b_{Pp\ ENE-SET} = -0,016$, $R^2\ Aj = 0,84$, $F = 48,81$, $P < 0,0001$) (Fig. 1.3).

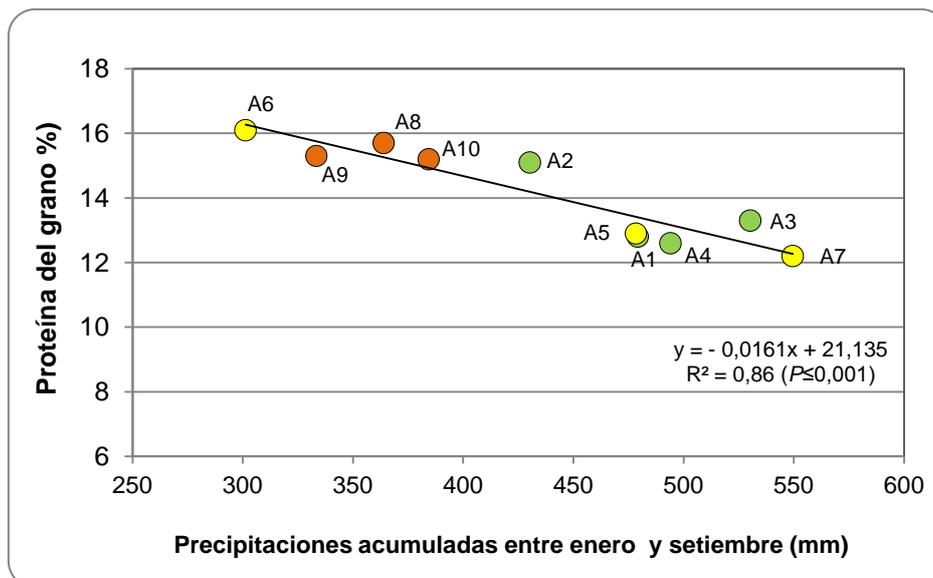


Figura 1.3. Contenido de proteína del grano (%) en diez ambientes de cultivo de trigo candeal en función de las precipitaciones (mm) caídas entre enero y septiembre (Ambientes 1-5-8: Barrow; 2-6-9: Cabildo; 3-7-10: La Dulce) (Círculos verdes: ambientes de 2004; círculos amarillos: ambientes de 2005 y círculos naranjas: ambientes de 2006).

Un Análisis de Sendero determinó que los efectos de las lluvias sobre PROT operaron principalmente de modo directo ($r = -0,98$), en tanto que los efectos indirectos, a través de la modificación del largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP), el rendimiento (RG) y/o el peso de los granos (PMG), fueron menores (Tabla 1.8). Se ha señalado que una alta disponibilidad de agua en el suelo afecta negativamente el contenido proteico del grano, porque propicia la proliferación de estructuras vegetativas que diluyen el nitrógeno acumulado tempranamente. Las lluvias, además, incrementan el lavado y otras formas de pérdida del nitrógeno del suelo, pudiendo aumentar las reservas hídricas del mismo, que prolongan la vida foliar durante el crecimiento del grano, y favorecen la asimilación y traslocación de carbohidratos en mayor medida que la de nitrógeno (Smith y Gooding, 1999).

En lo que concierne a la asociación positiva observada entre PROT y la temperatura media del segundo semestre del año ($r=0,75$, $P\leq 0,05$) (Tabla 1.7), el Análisis de Sendero reveló que sobre dicha relación también prevalecieron los efectos directos (positivos) ($r=0,82$), vinculados posiblemente a una mayor mineralización y disponibilidad de N en el suelo por causa de las mayores temperaturas (Cabrera, 2007). La temperatura y la humedad, junto con la composición de los residuos vegetales, las prácticas de manejo, el pH del suelo, la aireación, y la estructura y textura del suelo, son los principales factores que afectan la mineralización del nitrógeno (Jarvis *et al.*, 1996). En particular, la temperatura, la humedad, y sus interacciones, influyen el crecimiento de los microorganismos del suelo, principales responsables de la degradación de la materia orgánica, y de las formas orgánicas de N en el suelo (Ryan *et al.*, 2003). Mientras tanto, los efectos indirectos de las temperaturas fueron de menor magnitud, y operaron sobre PROT de modo negativo, a través del acortamiento del período comprendido entre la emergencia y la espigazón ($r= -0,33$), y de modo positivo, a través de la reducción del peso de los granos ($r=0,18$) (Tablas 1.7 y 1.8). El tamaño final del grano, y por ende, el grado de dilución del nitrógeno acumulado, está estrechamente asociado con el largo del período en que el cultivo permanece verde luego de la floración: temperaturas altas acortan este período, afectando negativamente la acumulación de carbohidratos totales, y promoviendo una mayor concentración de la proteína (Smith y Gooding, 1999). El rango óptimo de temperatura para alcanzar el máximo peso del grano ha sido ubicado entre los 15 y los 18°C; luego de ello tanto la síntesis de proteína como la de almidón se reducen, siendo esta última más afectada por las temperaturas que la primera (Sofield *et al.*, 1977; Kolderup, 1975; Campbell *et al.*, 1981). En Italia Toscano *et al.* (2015) observaron que el contenido de proteína de los granos del *trigo durum* estaba positivamente correlacionado con las temperaturas de mayo y junio (equivalente a noviembre y diciembre en el hemisferio sur), confirmando resultados previos reportados en la bibliografía por Garrido-Lestache *et al.* (2005) y Flagella *et al.* (2010).

Tabla 1.8. Coeficientes de sendero para los efectos directos e indirectos de las lluvias acumuladas entre enero y septiembre (mm), y la temperatura media del segundo semestre del año (°C) sobre el porcentaje de proteína del grano de diez ambientes de cultivo de trigo candeal en el sur bonaerense.

Efecto	Vía	Coeficientes	<i>p</i> -valor
Lluvias ENE-SET	Directa	-0,98	
	EmaEsp	-0,07	
	RG	0,15	
	PMG	-0,16	
<i>r</i> total		-0,93	0,0001
T° 2do.Semestre	Directa	0,82	
	EmaEsp	-0,33	
	RG	0,08	
	PMG	0,18	
<i>r</i> total		0,75	0,0121

El análisis de los efectos (directos e indirectos) de los factores del clima que exhibieron mayor impacto sobre PROT permitió explicar buena parte de la variabilidad observada entre localidades y años del ensayo. Así, las menores precipitaciones registradas tanto en el semestre previo a la siembra, como durante el primer trimestre del ciclo, y las mayores temperaturas que acortaron el período entre la emergencia y la espigazón, fueron las principales responsables de los altos niveles proteicos observados los tres años en Cabildo, así como también en los tres sitios de ensayo durante 2006 (Ver Figs. IV y V en Pág. 25 y 26), Estas observaciones se hallan en sintonía con los resultados reportados por Sakin *et al.* (2011) para tres localidades de Siria en las que se evaluaron 25 genotipos de trigo *durum* durante dos años. Estos autores atribuyeron los mayores niveles de proteína de la localidad de Sivas-Ulas durante el primero de los años, a las bajas precipitaciones y las altas temperaturas durante la etapa vegetativa, que afectaron negativamente el rendimiento, debido al acortamiento del período de acumulación de materia seca. Al respecto, Rharrabti *et al.* (2003) puntualizaron que si bien las

condiciones más cálidas y secas que imperan en el sur de España causan grandes fluctuaciones en los rendimientos, las mismas favorecen la expresión de una mejor calidad de grano.

1.5.1.2. INFLUENCIA DEL GENOTIPO Y LAS INTERACCIONES GA

El contenido proteico del grano es un rasgo cuantitativo típico controlado por un complejo sistema genético, influido por los factores ambientales (disponibilidad de nitrógeno y agua, temperatura e intensidad de luz), y las prácticas de manejo (Blanco *et al.*, 2012).

En el presente estudio, el genotipo y las interacciones GA, explicaron respectivamente un 8% y un 31,6% de la variabilidad total observada en los valores de PROT, cuadruplicando los efectos de las interacciones a los del genotipo (Tabla 1.2). Para el conjunto de ambientes del ensayo los promedios de proteína más altos correspondieron a Facón y Topacio, seguidas en orden decreciente por Esmeralda, Platino y Cariló (14,8%, 14,7%, 14,1%, 13,6% y 13,4%, respectivamente) ($P \leq 0,001$). No obstante, debido a la diferente respuesta de las mismas al ambiente, el ranking según el cual se ordenaron varió significativamente, lo cual determinó que las variedades que en algunos ambientes se destacaron con niveles proteicos más altos, en otros exhibieran valores entre los más bajos (Tabla 1.9). Estas observaciones se hallan en sintonía con lo informado por Larsen y Jensen (2016) quienes determinaron importantes cambios de ranking para nueve variedades de candeal de difusión actual evaluadas en seis ambientes del sur bonaerense entre 2011 y 2014.

Pese a las notables fluctuaciones que experimentaron, todas las variedades superaron sin excepción el umbral del 11% requerido por la norma comercial, que busca asegurar un valor mínimo de proteína en la sémola que le permita a la industria elaboradora alcanzar niveles de calidad aceptables en el producto final. Granos con altos niveles proteicos, producen por lo general, sémolas de

tamaño de partícula uniforme, con un número mínimo de partículas almidonosas, que se hidratan uniformemente durante el mezclado para producir una pasta fuerte y elástica, que al ser cocida, se hinchará dejando un mínimo residuo en el agua de cocción, y permanecerá firme hasta el momento de ser servida. Sémolas con baja proteína, producirán una pasta deficiente en alguno o en todas estas características (Sissons, 2004).

Tabla 1.9. Valores medios de proteína en el grano (%) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006.

Año	Sitio	Amb.	Cariló	Esmeralda	Facón	Platino	Topacio	Media Ambientes	DMS†
2004	Barrow	1	<u>12,2</u>	13,0	13,1	13,4	12,4	12,8	0,44
	Cabildo	2	14,6	<u>14,4</u>	15,1	15,8	15,4	15,1	0,69
	La Dulce	3	<u>12,7</u>	13,3	13,4	13,5	13,5	13,3	0,29
	Bordenave	4	12,5	12,2	12,7	13,6	<u>11,8</u>	12,6	1,60
2005	Barrow	5	<u>12,0</u>	12,5	14,0	13,2	12,9	12,9	1,10
	Cabildo	6	16,1	<u>14,9</u>	16,7	16,4	16,0	16,0	0,34
	La Dulce	7	<u>11,7</u>	12,3	12,1	12,8	12,2	12,2	0,47
2006	Barrow	8	16,3	16,1	16,3	<u>12,2</u>	17,7	15,7	1,80
	Cabildo	9	12,9	15,1	17,5	<u>12,5</u>	18,4	15,3	1,50
	La Dulce	10	<u>12,8</u>	17,4	16,8	12,9	16,2	15,2	1,32
Media Genotipos		Ensayo	13,4c	14,1b	14,8a	13,6c	14,7a		

† Diferencia Mínima Significativa protegida de Fisher ($P \leq 0,05$). Valores subrayados y valores en negrita constituyen, respectivamente, los promedios más bajos y más altos de proteína en cada ambiente.

Conforme lo revela el ANOVA triple, entre las interacciones GA, la mayor magnitud le correspondió a la interacción genotipo x año (21,6%), y en menor medida a las interacciones genotipo x año x localidad (6%), y genotipo x localidad (3,9%) (Tabla 1.5). Sakin *et al.* (2011) en seis ambientes de Siria quienes observaron que los efectos de las interacciones GA eran seis veces mayores a los efectos de G (23% vs 3,7% de la variabilidad total, respectivamente), con preponderancia de la interacción genotipo x año x loc por sobre genotipo x localidad, y genotipo x año (12,9% vs 7,3% y 2,8%,

respectivamente). Michelena *et al.* (1995) en España también observaron una mayor contribución de las interacciones genotipo x año x loc lo cual fue considerado poco auspicioso para la industria local en lo que concierne a la dificultad para acceder a materia prima de calidad consistente a través de los años.

Con el fin de investigar el fundamento de las diferencias entre genotipos, y la existencia de un patrón de respuesta de los mismos al ambiente, se utilizó un modelo de regresión por sitios (SREG) (Cornelius *et al.*, 1996), que permitió remover los efectos del ambiente, que fue la fuente de variación preponderante, y expresar la respuesta en función de G+GA. Para la interpretación y visualización de los patrones de interacción se emplearon gráficos biplot GGE, asociados a dicho modelo (Yan *et al.*, 2000).

En el biplot GGE (Figura 1.4), las dos primeras componentes principales (CP1 y CP2) obtenidas por descomposición del valor singular de los datos centrados por ambiente, explicaron el 89% de la suma de cuadrados de G+GA ($P \leq 0,001$). Cada genotipo se simbolizó con un punto o marcador, definido al graficar los coeficientes de cada genotipo en la CP1 (eje x) contra los respectivos coeficientes en la CP2 (eje y). Los ambientes se representaron como vectores, con origen en la coordenada (0,0) del biplot, que se extendieron hasta el marcador correspondiente. Sobre el sector positivo de la CP1 se ubicaron las variedades Topacio, Facón y Esmeralda, en tanto que sobre el sector negativo quedaron Cariló y Platino. La existencia de una alta correlación entre los coeficientes genotípicos sobre la CP1 y las medias de proteína de las variedades ($r = 0,90$, $P \leq 0,05$) permitió inferir que las proyecciones genotípicas sobre la CP1 reflejaron con relativa precisión el ranking promedio de los genotipos a través de los diez ambientes, *i.e.* Topacio = Facón > Esmeralda > Cariló = Platino.

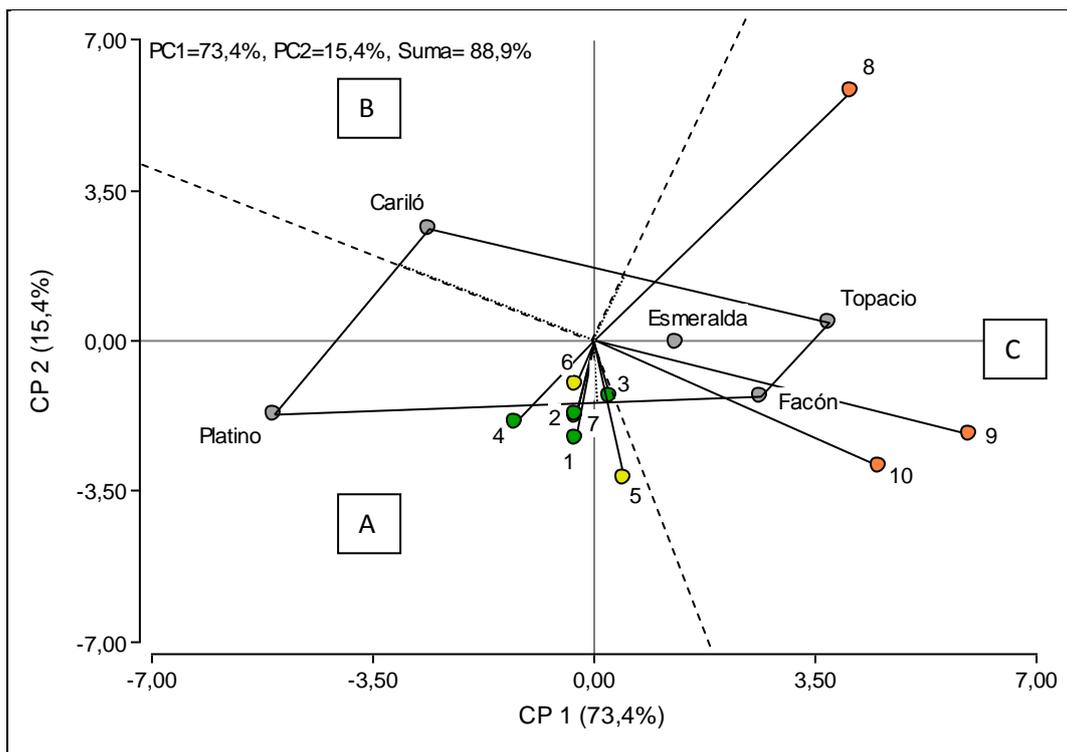


Figura 1.4. Biplot GGE para el Porcentaje de Proteína del grano de cinco genotipos de trigo candeal evaluados en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006. (Ambientes 1-5-8: Barrow; 2-6-9: Cabildo; 3-7-10: La Dulce) (Círculos verdes: ambientes de 2004; círculos amarillos: ambientes de 2005 y círculos naranjas: ambientes de 2006).

Sobre la CP2, en tanto, los materiales se separaron según el largo de ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP): los más tardíos (Cariló y Topacio) hacia el sector positivo, y los intermedios (Platino) y precoces (Facón) hacia el negativo, excepto Esmeralda cuyo score sobre la CP2 fue cercano a cero. Esto estaría proporcionando cierta evidencia acerca del impacto del ciclo de las variedades sobre la respuesta de las mismas al ambiente, concordando con las observaciones realizadas por Rharratbi *et al.* (2001).

Los promedios de proteína más altos les correspondieron a Facón y Topacio, las dos variedades con menores valores de rendimiento (RG) y peso de mil granos (PMG), variables que en conjunto explicaron el 100% de la variación de

los valores medios de PROT de los genotipos ($b_{RG} = -0,34$; $b_{RG}^2 = 0,00004$; $b_{PMG} = -0,11$; $F = 3433$, $P = 0,0125$ (Tabla 1.10). Michelena *et al.* (1995) para 16 variedades comerciales de España reportaron una correlación genotípica negativa de considerable magnitud entre PROT y RG ($r = -0,83^{**}$), lo que fue considerado por dichos autores un obstáculo para reunir en una misma variedad altos rendimientos y niveles proteicos acordes a las exigencias del mercado. Marinciu y Săulescu (2008), concluyeron que una vez eliminada la influencia del rendimiento, las diferencias en el contenido proteico de los granos entre cultivares eran leves, pero merecían atención. Blanco *et al.* (2012) determinaron que el contenido proteico del grano correlacionó negativamente con los componentes del rendimiento número de granos espiga⁻¹ y peso de mil granos. En dicho estudio se observó que seis de las diez regiones genómicas independientes involucradas en la expresión del contenido proteico del grano estuvieron asociadas a QTLs relacionados con uno o más componentes del rendimiento. Bilgin *et al.* (2010) informaron la existencia de una correlación negativa entre PROT y PMG ($r = -0,77^{***}$), contrastando con los resultados reportados por Mohamed *et al.* (2012) quienes para 16 genotipos de Etiopía observaron la existencia de correlaciones genotípicas positivas entre PROT y PMG ($r = 0,55^*$). En Cerdeña, Italia, Motzo *et al.* (1996) no hallaron evidencia acerca de la existencia de una asociación negativa entre el peso de los granos y el contenido de proteína lo cual concuerda con los resultados reportados por Rharrabti *et al.* (2003b) y Akçura (2009).

Tabla 1.10. Valores medios de proteína del grano (%), rendimiento (Kg Ha⁻¹), peso de mil granos (g), y largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP, días) de cinco genotipos de trigo candeal a través de diez ambientes de cultivo en el sur bonaerense.

Atributo	Genotipos ^a					Media	DS ^c
	Cariló	Platino	Esmeralda	Facón	Topacio		
Proteína del grano (%)	13,4 ^d	13,6 ^c	14,1 ^b	14,8 ^a	14,7 ^a	14,1	1,9
Rendimiento (Kg Ha ⁻¹)	4404 ^a	4213 ^b	4529 ^a	4141 ^b	4151 ^b	4288	1830
Peso de mil granos (g)	43,4 ^c	45,2 ^b	47,8 ^a	43,1 ^c	42,7 ^c	44,5	6,9
Ciclo EMaESP (días) ^b	103	101	97	96	102	99	2,8

(^a) Promedio de tres repeticiones en diez ambientes

(^b) Ciclo desde Emergencia a Espigazón

(^c) Desvío Estándar

(^d) Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$)

De los diez ambientes del ensayo, Cabildo de 2006 (ambiente 9), con el más alto score sobre la CP1 y uno de los más bajos scores sobre la CP2, se erigió como el más representativo de la respuesta de los cultivares (Yan y Tinker, 2006). Mientras tanto, el ambiente 8, conforme lo refleja su ubicación sobre el sector positivo de la CP2, opuesta a la del resto de los ambientes, fue donde se verificaron las interacciones con cambio de rango más notables. Estas observaciones concuerdan con lo puntualizado por Thomason y Phillips (2006), quienes reportaron que las interacciones de mayor magnitud suelen darse en sitios donde prevalecen elevadas temperaturas y estreses severos luego de la espigazón.

1.5.1.2.a. ANÁLISIS DE LAS INTERACCIONES GENOTIPO - AMBIENTE

La comparativamente más alta contribución de los efectos de las interacciones GA respecto de los de G, y la observación en el biplot GGE de coeficientes ambientales y genotípicos con proyecciones sobre la CP1 y la CP2 de signo

tanto positivo como negativo, constituyen un indicio acerca de la presencia de diferencias en la respuesta de los genotipos no proporcionales a las variaciones del ambiente (Yan y Kang, 2003). En el biplot GGE los cuatro genotipos con comportamiento más extremo en alguno de los diez ambientes (Platino, Cariló, Topacio y Facón), conformaron los vértices de un polígono de cuatro lados que quedó subdividido en tres sectores, dos de los cuales albergaron a los diez ambientes en estudio (Figura 1.4) Ello permitió la identificación de dos mega-ambientes de respuesta (MA), los cuales han sido definidos por Gauch y Zobel (1997) como una porción de ambiente homogéneo dentro de la región de cultivo de una especie, donde algunos genotipos se comportan de manera similar.

El primero de los MA, coincidente con el sector A del polígono, y con Platino en el vértice como genotipo ganador, incluyó los siete ambientes correspondientes a las campañas 2004 y 2005, donde el llenado de granos transcurrió con precipitaciones entre moderadas y altas, y un rango relativamente amplio de temperaturas (Tabla 1.11).

Tabla 1.11. Valores medios y rangos de proteína del grano (%), largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP, días), rendimiento (Kg Ha⁻¹) y peso de mil granos (PMG, g) de trigo candeal, y precipitaciones (Pp, mm) y temperaturas (T°, °C) en distintos momentos del ciclo y del año en dos mega-ambientes de respuesta del sur bonaerense.

	Mega-ambiente A		Mega-ambiente B	
	Media	Rango	Media	Rango
Proteína (%)	13,6	11,7 - 16,7	15,4	12,2 - 18,4
Ciclo EMaESP (días)	102	96 - 109	94	88 - 98
Rendimiento (Kg Ha ⁻¹)	4411	1701 - 8223	3999	2217 - 7260
Peso mil granos (g)	47	39 - 59	38	30 - 49
Pp ENE-JUN (mm)	298	202 - 335	249	239 - 265
Pp JUL-SET (mm)	168	99 - 229	111	89 - 145
Pp ENE-SET (mm)	466	301 - 550	361	333 - 384
PpOCT (mm)	64	16 - 87	134	112 - 155
PpNov (mm)	75	56 - 103	13	10 - 17
Pp1° quin. DIC (mm)	82	16 - 195	65	50 - 89
Pp llenado (mm)	157	74 - 257	78	60 - 100
T° 2do JUL-DIC (°C)	12,0	11,3 - 12,7	13,3	12,8 - 14,1
T° Nov (°C)	17,5	16,5 - 19,0	17,8	17,2 - 18,1
T° 1°quin DIC (°C)	19,4	16,5 - 21,5	21,1	19,2 - 22,4
T° media llenado (°C)	18,5	16,7 - 19,2	19,4	18,2 - 20,3

En dichos ambientes, las variedades siguieron un similar patrón de respuesta al ambiente (bajas interacciones GA), según se desprende de los ángulos agudos que formaron los respectivos vectores ambientales entre sí. El orden promedio de proteína en el que se ubicaron las variedades en este MA fue: Platino = Facón > Topacio = Esmeralda = Cariló. Un análisis de regresión múltiple donde se consideraron el RG, el PMG y el largo del ciclo EMaESP determinó que para este grupo de ambientes RG fue la variable con mayor impacto sobre PROT, dando cuenta por un 58% de la variación exhibida por las variedades ($b_{RG} = -0,002$, $b_{RG}^2 = 0,0000001$, $R^2 Aj = 0,55$, $F = 21,96$, $P \leq 0,0001$) (N=35) (Fig. 1.5). Rharrabti *et al.* (2001) también observaron que una curva asintótica negativa era la ecuación que mejor describía la relación entre el porcentaje de proteína y el rendimiento en ambientes fértiles, a partir de lo cual se desprende que

mediante el empleo de prácticas agronómicas adecuadas es posible alcanzar niveles satisfactorios de proteína aun en el rango de rendimientos más elevados.

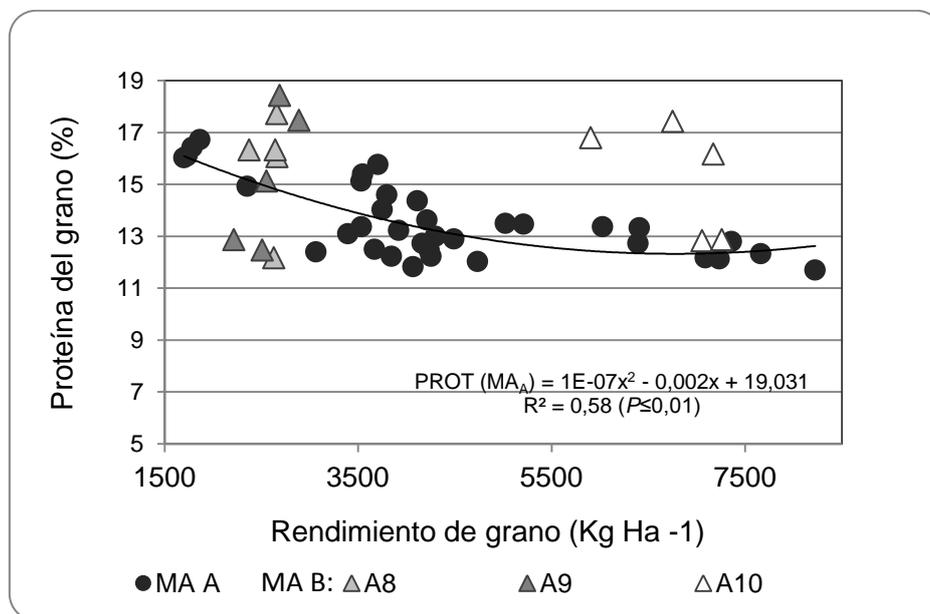


Figura 1.5. Proteína del grano (%) en función del rendimiento (Kg Ha⁻¹) para cinco variedades de trigo candeal cultivadas en dos mega-ambientes del sur bonarense (Mega-ambiente A: ambientes 1 al 7, N=35; Mega-ambiente B: ambientes 8 al 10, N=15).

Mientras tanto el segundo MA, representado por el sector B del polígono, y con Topacio en el vértice como genotipo ganador, comprendió los tres sitios de 2006 (ambientes 8, 9 y 10), cuyos vectores se separaron en el sentido de los marcadores genotípicos correspondientes a las variedades Topacio, Facón y Esmeralda. Ello refleja un mejor desempeño de estos cultivares en dichos ambientes, y un cambio notable en el caso de Platino, que pasó de primera a última del ranking. El orden promedio de proteína en el grano fue: Topacio = Facón = Esmeralda > Cariló = Platino. En este MA, debido a la notable escasez de lluvias del mes de noviembre y las altas temperaturas del llenado (Tabla 1.11), las variedades experimentaron, respecto del primer MA, una significativa

disminución del PMG (38g vs 47g), y un incremento de ca. 2 unidades de proteína en promedio (15,4% vs 13,6%). Las abundantes lluvias caídas en octubre (entre 112 y 155 mm), pueden haber contribuido a magnificar dichos efectos, determinando que luego de la floración se estableciera una fuerte competencia entre la masa de granos en desarrollo y la materia verde generada en exceso durante la encañazón. En el caso de Platino, sin embargo, pese a la reducción que experimentó en su PMG (39g vs 48g para los mega-ambientes B y A, respectivamente), los niveles proteicos fueron llamativamente bajos, exhibiendo entre 2,9 (La Dulce06, ambiente 10) y 4,4 (Barrow06, ambiente 8) puntos porcentuales menos de proteína que el promedio de las otras cuatro variedades (12,5% vs 16,1% para el promedio del mega-ambiente B). En Barrow (ambiente 8), en particular, donde las diferencias de proteína entre variedades no estuvieron asociadas a la longitud del ciclo ni tampoco a RG y a PMG (Tabla 1.12), es posible que las escasas lluvias y las altas temperaturas con vientos desecantes de la etapa de llenado, hayan afectado negativamente la translocación de compuestos nitrogenados al grano de esta variedad, contrarrestando el efecto de concentración derivado de una menor deposición de almidón por causa del calor y la sequía. Desde el punto de vista de la fisiología de la planta, las variaciones genotípicas en el contenido de proteína del grano han sido atribuidas a diferencias en la cantidad de nitrógeno absorbido desde el suelo antes de la antesis, en la actividad del sistema radical durante el llenado de granos, en la eficiencia de translocación de las sustancias nitrogenadas desde los tejidos vegetativos al grano y en el índice de cosecha (Kramer, 1979; Jenner *et al.*, 1991). Giuliani *et al.* (2011) informaron que buena parte de las diferencias en el contenido de N del grano halladas entre cuatro variedades de *durum* cultivadas por dos años en el sur de Italia, estuvieron asociadas a diferencias en la eficiencia de translocación de N al grano desde los órganos vegetativos. De los dos años que abarcó el estudio, aquel en el que la disponibilidad hídrica durante el llenado de granos fue limitante, las variedades experimentaron menores niveles de translocación de N al grano, con diferentes grados de respuesta frente a la condición de estrés. La literatura cita que cuando las plantas sufren de estrés hídrico durante el período de

llenado de granos es frecuente observar incrementos en la eficiencia de translocación de N; una limitada absorción de N durante este período puede forzar a la planta a hacer un mayor uso del N almacenado (Palta *et al.*, 1994; Barbottin *et al.*, 2005; Muurinen *et al.*, 2007). Del mismo modo, Yang *et al.* (2000) sugirieron que si la absorción de N cesa al momento de la antesis debido a la falta de agua en el suelo (o de N disponible), la totalidad del N en el grano debería ser provista por la translocación desde otros órganos.

La ocurrencia de lluvias excepcionalmente abundantes en el mes de octubre en los tres sitios durante 2006, previo a la etapa de floración, pudo haber propiciado un aumento en la absorción de N desde el suelo; luego de ello, el establecimiento de un fuerte estrés hídrico pudo haber afectado la translocación de N con el consecuente incremento del N en la planta y la disminución de la eficiencia de traslocación de este nutriente al grano (Giuliani *et al.*, 2011). Cabe señalar que a nivel fisiológico la formación de proteína del grano involucra la absorción de N por las raíces, la acumulación en los órganos vegetativos y la subsecuente removilización al grano para la síntesis proteica. Estos procesos están bajo control genético (Cox *et al.* 1985a, b, 1986) pero su expresión está también influida por el ambiente de cultivo y por las interacciones genotipo-ambiente (Triboï *et al.*, 2000; Suprayogi *et al.*, 2011).

Tabla 1.12 Coeficientes de correlación de Pearson entre el Porcentaje de Proteína del grano, el rendimiento (Kg Ha^{-1}), y la duración del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP, días), en tres ambientes de cultivo de trigo candeal durante 2006 (N=5).

Año	Localidad	Ambiente	Proteína %	Contenido de Proteína vs	
				Rendimiento	EMaESP
2006	Barrow	8	15,7	-0,07	0,02
	Cabildo	9	15,3	0,80	-0,39
	La Dulce	10	15,2	-0,59	-0,90*

* Significativa al 5% de probabilidad

A diferencia de lo observado en Barrow (ambiente 8), en los ambientes 9 y 10 (Cabildo y La Dulce de 2006) PROT estuvo positivamente asociado a RG ($r= 0,80$ en ambiente 9), e inversamente asociado al largo del ciclo EMaESP de la variedad ($r= -0,90$, en ambiente 10) lo que permite explicar los comparativamente bajos niveles de proteína de Cariló, ubicada en el cuadrante opuesto al de estos ambientes.

En lo que respecta a las relaciones de PROT con RG, cuando estas se exploraron en cada uno de los tres ambientes de este MA por separado, las mismas variaron significativamente, tanto en magnitud como en signo, reflejando el efecto diferencial del ambiente sobre las relaciones entre ambas variables (Tabla 1.12). Un análisis de regresión múltiple paso a paso, en el que se consideraron los diez ambientes del ensayo, determinó que la notable variación observada en los coeficientes de correlación entre PROT y RG en estos tres ambientes, encuadró dentro de un modelo general de respuesta de tipo polinomial, en el que la temperatura media de la primera quincena de diciembre, dio cuenta por un 86% de la variación observada en los valores de r entre PROT y RG ($R^2 Aj.= 0,82$, $F= 21,34$ $P< 0,001$, $N=10$) (Figura 1.6). Según dicho modelo el punto de inflexión de la curva se ubicó cercano a los 18°C ($18,1^{\circ}\text{C} \pm 0,2$), coincidiendo con el umbral de temperatura por encima del cual se ha considerado que cualquier reducción en la duración del período de llenado de granos no puede ser compensada en su totalidad con un aumento en la tasa de acumulación de almidón (Jenner, 1994).

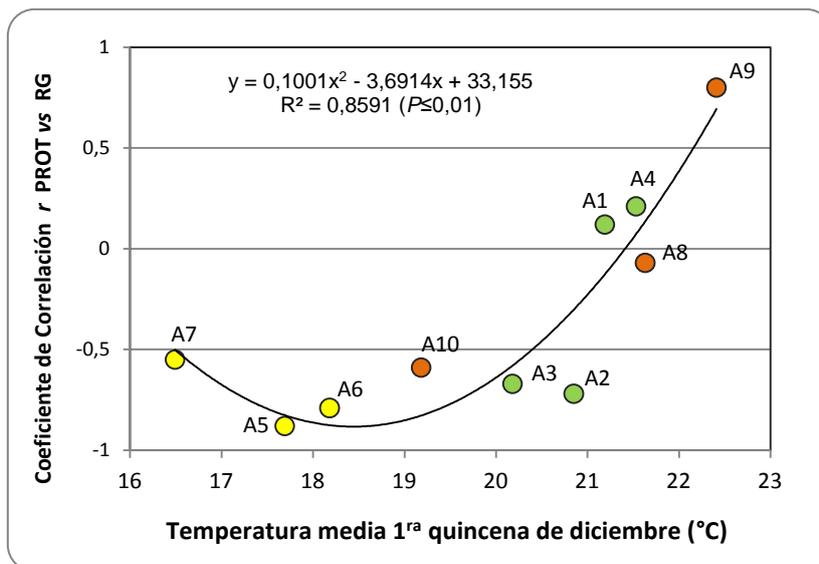


Figura 1.6. Relaciones entre la proteína del grano (%) y el rendimiento (Kg Ha^{-1}) en función de la temperatura media de la 1ª quincena de diciembre en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense (Ambientes 1-5-8: Barrow; 2-6-9: Cabildo; 3-7-10: La Dulce) (Círculos verdes: ambientes de 2004; círculos amarillos: ambientes de 2005 y círculos naranjas: ambientes de 2006).

Así, en Barrow (ambiente 8), con $21,6^{\circ}\text{C}$ de temperatura en la 1ª quincena de diciembre (promedio de $19,8^{\circ}\text{C}$ durante el llenado) y vientos desecantes, la correlación entre proteína del grano y el rendimiento fue prácticamente nula (Fig. 1.6), siendo Platino, por las razones expuestas en párrafos previos, la única variedad que exhibió niveles de proteína significativamente menores al resto. En cambio, en Cabildo (ambiente 9), donde la temperatura de la 1ª quincena de diciembre alcanzó $22,4^{\circ}\text{C}$ (promedio de $20,3^{\circ}\text{C}$ en el llenado), PROT correlacionó positivamente con RG ($r = 0,80$), de allí que Facón, Topacio y Esmeralda, con rendimientos comparables o superiores a la media, exhibieran los niveles proteicos más altos, en tanto que Cariló y Platino, con rendimientos más bajos, presentaron valores de proteína menores (2711 Kg Ha^{-1} y $17,0\%$ PROT, para los tres primeros, en promedio, vs 2364 Kg Ha^{-1} y $12,7\%$ PROT, para los dos últimos, en promedio).

En La Dulce (ambiente 10), donde las temperaturas de noviembre y diciembre fueron comparativamente más frescas (17,2°C y 19,2°C, respectivamente, con media de 18,2 °C), PROT estuvo inversamente asociado con el rendimiento ($r = -0,59$) y con el largo del ciclo ($r = -0,90$, $P \leq 0,05$, $N=5$). Esa es la razón por la cual Esmeralda y Facón, que por su precocidad exhibieron los niveles de rendimiento más bajos (5905 Kg Ha⁻¹ y 6752 Kg Ha⁻¹, respectivamente vs 7163 Kg Ha⁻¹ de los otros tres, en promedio) en este ambiente ostentaron los valores proteicos más altos, mientras que Cariló, el cultivar más tardío, con un rendimiento por encima de la media del ensayo, presentó valores proteicos más bajos (7056 Kg Ha⁻¹ y 11,7% de proteína vs 6829 Kg Ha⁻¹ y 12,4% de proteína, del resto en promedio).

Marinciu y Saulescu (2008) observaron correlaciones entre PROT y RG que fluctuaron entre +0,2 y -0,95, puntualizando que los efectos de dilución, considerados la principal causa de la asociación negativa entre PROT y RG, pueden estar presentes en condiciones muy diferentes. Un estudio multi-ambiental conducido en Francia, entre 1977 y 1999 demostró que la relación negativa entre el contenido proteico del grano y el rendimiento puede verse con frecuencia enmascarada por los efectos ambientales, puntualizándose que cuando dichos efectos eran pequeños en comparación a los efectos genotípicos, se evidenciaba una fuerte relación negativa entre dichas variables (Oury *et al.*, 2003). Oury y Godin (2007) también informaron que las correlaciones entre PROT y RG, calculadas ambiente por ambiente, eran muy variables debido a las altas interacciones GA entre ambos caracteres.

Finalmente, en el cuadrante C del biplot, que tuvo a Cariló por vértice, no quedó contenido ningún ambiente (Figura 1.4), lo que implica que no hubo ningún sitio donde esta variedad superara al resto en proteína. Solo en los ambientes 4, 6 y 8, donde este genotipo presentó rendimientos inferiores a la media, los niveles proteicos fueron comparables (ambientes 4 y 6), o incluso superiores al promedio de los restantes materiales (ambiente 8) (Tabla 1.9).

1.5.1.2.b. ESTABILIDAD EN LA RESPUESTA DE LOS GENOTIPOS AL AMBIENTE

Las variedades de este estudio exhibieron diferentes niveles de respuesta al ambiente, conforme lo reflejaron los distintos parámetros utilizados para caracterizar la estabilidad (Tabla 1.13). De las cinco, Topacio fue la que manifestó la mayor respuesta al ambiente, según lo demuestra el alto valor de la pendiente de la regresión ($b_i = 1,51$, $P < 0,05$) y su alto CV (16,2%). Pese a ello, la observación de un bajo score sobre la CP2 del biplot GGE sugiere que en el caso de esta variedad prevalecieron las respuestas que fueron proporcionales a los cambios del ambiente, vinculadas a su menor potencial de rendimiento, su bajo PMG, y a la longitud de su ciclo.

Tabla 1.13 Valores medios de Proteína en el grano (%), y parámetros estimadores de estabilidad para cinco genotipos de trigo candeal cultivados en diez ambientes del sur bonaerense.

Genotipo	Proteína (%)	e_1^a	e_2^b	b_i^c	CV ^d (%)
Cariló	13,4	-2,63	2,60	0,93	12,5
Esmeralda	14,1	1,29	-0,03	1,03	12,5
Facón	14,8	2,64	-1,28	1,25	13,2
Platino	13,6	-5,04	-1,71	0,28*	10,2
Topacio	14,7	3,74	0,43	1,51*	16,2
Promedio	14,1		---	1,0	12,9

(a,b) Scores sobre la CP1 y CP2 del biplot GGE, respectivamente; (c) Coeficiente de la regresión; (d) Coeficiente de Variación; * Difiere significativamente de la unidad, con $P < 0,05$

En tanto, Esmeralda, Facón y Cariló, con coeficientes de la regresión b_i que no difirieron significativamente de la unidad, tuvieron un comportamiento más estable (Eberhart y Russell, 1966), con respuestas que también fueron proporcionales a las fluctuaciones del ambiente. En lo que concierne a las dos primeras en particular, su alta estabilidad pudo haber estado asociada a la precocidad de su ciclo, lo cual concuerda con las observaciones reportadas por Hadjichristodoulou (1987) y Saint Pierre *et al.* (2008) quienes concluyeron que

en regiones donde es frecuente observar condiciones de estrés hídrico y altas temperaturas hacia el final del ciclo, las variedades que maduran más tempranamente tienden a producir una calidad de grano más consistente.

Platino, por su parte, pese a haber variado dentro de un rango de valores de proteína más estrecho que el resto (CV=10,2%), de las cinco fue la que experimentó el cambio de ranking más notable (Figura 1.4) y la única que presentó un coeficiente de la regresión significativamente menor a la unidad ($b = 0,28$, $P \leq 0,05$), con niveles proteicos altos en ambientes con promedios de proteína comparativamente bajos, y viceversa, niveles proteicos bajos en ambientes con alta proteína. Su menor potencial de rendimiento, y una dinámica de partición del N bajo condiciones de estrés que, *a priori*, parecería distinta a la de las restantes variedades, surgen como la explicación más probable a dicha respuesta (Martre *et al.*, 2003; Cox *et al.*, 1985 a,b; 1986).

1.5.2. INFLUENCIA DEL AMBIENTE, EL GENOTIPO Y LAS INTERACCIONES GA SOBRE LA VITREOSIDAD DEL GRANO

La vitreosidad del grano (VIT) es uno de los rasgos más estrechamente ligados al rendimiento de sémola en el molino, debido a que por su mayor compacidad y dureza, los granos vítreos tienden a pulverizarse menos durante la molienda, lo cual se refleja en una alta producción de partículas gruesas, y menor liberación de partículas finas o harinas.

En el presente estudio VIT estuvo principalmente influida por los efectos del ambiente (A), que explicaron un 64,5% de la variabilidad total observada para este atributo ($P < 0,0001$). El genotipo (G) y las interacciones GA, por su parte, respondieron por un 10,6% ($P \leq 0,01$), y un 17,3% ($P \leq 0,0001$) de la variabilidad, respectivamente (Ver Tabla 1.2 en Pág. 49). Estos resultados se hallan en sintonía con observaciones reportadas para Argentina por Seghezzo *et al.* (2010), Miravalles *et al.* (2016) y Moraschetti (2016), y concuerdan con lo citado en la bibliografía internacional por Baum *et al.* (1995), Juan-Aracil y Michelena (1995), Michelena *et al.* (1995), Dodig *et al.* (2003), Rharrabti *et al.* (2003), Korkut *et al.* (2007), Bilgin *et al.* (2010), Taghouti *et al.* (2010) y Branković *et al.* (2014), entre otros. Hadjichristodoulou (1979), por el contrario, para 20 genotipos de trigo *durum* cultivados en tres localidades de Chipre determinó que el mayor impacto sobre la vitreosidad del grano le correspondió al factor genético. Por su parte, Pinheiro *et al.* (2013) no observaron influencia ambiental ni genética sobre la vitreosidad del grano de 30 genotipos sembrados en Portugal durante dos años consecutivos, lo que fue atribuido a los altos niveles proteicos exhibidos sin excepción por todos los materiales ensayados (entre 14,7% y 15,9%).

En lo que respecta a la mayor contribución de las interacciones GA respecto de G, los resultados concuerdan con lo reportado por Baum *et al.* (1995), Novaro *et al.* (1997), Dodig *et al.* (2003) y Korkut *et al.* (2007). Baum *et al.* (1995) informaron que bajo condiciones de secano G, A y las interacciones GA

contribuyeron con el 11,4%, el 70,0% y 16,9% de la variabilidad total observada en los valores de vitreosidad, en tanto que bajo condiciones de riego las mismas contribuyeron con el 14,1%, 58,1% y el 23,0%, respectivamente. Rharrabti *et al.* (2003), en España además de resaltar la prevalencia de los efectos de A por sobre las restantes fuentes de variación, mencionaron contribuciones de las interacciones GA ligeramente superiores a las del presente trabajo (52,4%, 4,9%, y 25,5% de la variabilidad total para A, G, y GA, respectivamente), y también a las reportadas por Taghouti *et al.* (2010) y Branković *et al.* (2014).

1.5.2.1. INFLUENCIA DEL AMBIENTE

A través de los diez ambientes de estudio VIT alcanzó un promedio de 92%, fluctuando entre un mínimo de 79% en Bordenave de 2004 (ambiente 4), y un máximo de 98% en Barrow de 2006 (ambiente 8). Siete de los diez ambientes de estudio presentaron niveles de vitreosidad por encima del 90%, en tanto que los tres restantes promediaron 84% ($\pm 4,9$) (Tabla 1.14). Los valores de vitreosidad de este estudio fueron comparativamente más altos a los informados por la SAGPyA para las tres campañas que abarcó este ensayo (50%, 47% y 70%, para 2004, 2005 y 2006, respectivamente), lo que pudo deberse a los altos niveles proteicos, vinculados a las esmeradas prácticas de manejo mediante las que se conduce el Ensayo Regional de Trigo Fideos. El rango de valores observados fue similar al reportado para áreas semiáridas de la cuenca Mediterránea (entre 77,4% y 99,0%), y ligeramente superior al mencionado para áreas bajo riego de Europa (entre 61,5% y 86,7%) (Baum *et al.*, 1995).

Tabla 1.14. Valores medios y rango de variación de la vitreosidad del grano (%), de diez ambientes de cultivo de trigo candeal en el sur bonaerense entre 2004 y 2006.

Año	Sitio	Ambiente	Media ^a (%)	Rango (%)
2004	Barrow	1	94	88 - 96
	Cabildo	2	89	84 - 93
	La Dulce	3	84	79 - 89
	Bordenave	4	79	67 - 87
2005	Barrow	5	96	94 - 98
	Cabildo	6	93	84 - 98
	La Dulce	7	97	93 - 99
2006	Barrow	8	98	96 - 99
	Cabildo	9	95	83 - 99
	La Dulce	10	96	91 - 99
Media			92	67 - 99
CV ^b (%)			6,8	

^a Promedio de cinco genotipos y tres repeticiones por genotipo.

^b Coeficiente de variación

El ANOVA triple arrojó efectos altamente significativos ($P < 0,0001$) para todas las fuentes de variación consideradas. En lo que respecta a los efectos del ambiente se observaron contribuciones similares para los factores año (Y) y localidad (L) (24,8% y 23,3% de la suma de cuadrados total, respectivamente), en tanto que los efectos asociados a la interacción entre ambos (LxY) contribuyeron con el 12,7% (Tabla 1.15).

Tabla 1.15. Análisis de la varianza para la vitreosidad del grano (VIT, %) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en cuatro localidades del sur bonaerense durante tres años.

Fuente	gl ¹	SC Tipo III ²	SC ³ (%)	CM ⁴	F-valor
Año (Y)	2	156,52	24,8	78,26	130,04 ***
Localidad (L)	3	146,75	23,3	48,92	81,28 ***
Y x L	4	80,23	12,7	20,06	33,33 ***
Bloq (Y x L)	20	14,79	2,3	0,74	1,23 ***
Genotipo (G)	4	56,77	9,0	14,19	23,58 ***
G x Y	8	5,29	0,8	0,66	1,10 ***
G x L	12	80,68	12,8	6,72	11,17 ***
G x Y x L	16	41,65	6,6	2,60	4,33 ***
Error	80	48,15	7,6	0,60	

¹ Grados de libertad; ² Suma de cuadrados; ³ Suma de cuadrados respecto de la SC Total; ⁴ Cuadrado Medio
*** Significativas con $P \leq 0,0001$

En un estudio más reciente conducido con cinco variedades de trigo candeal en seis localidades del sur bonaerense entre 2011 y 2014, Miravalles *et al.* (2016) determinaron que los efectos asociados a la localidad (L) y la interacción LxY, realizaron la mayor contribución a la variabilidad en los valores de vitreosidad (34,7%, y 41,1% respectivamente), en tanto que los efectos ligados al factor año (Y) dieron cuenta por el 6,7%. Kling *et al.* (2000), Rharrabti *et al.* (2003), Korkut *et al.* (2007) y Sakin *et al.* (2011) también observaron una mayor contribución de los efectos de L y de las interacciones LxY por sobre los efectos de Y, mientras que Brancović *et al.* (2014) resaltaron la prevalencia de los efectos de Y por sobre los efectos de L y LxY y (42,2%, 20,6% y 27,0, respectivamente). Michelena *et al.* (1995), observaron una mayor preponderancia de los efectos de LxY, seguidos por los efectos de Y.

De los tres años de ensayo, 2004 presentó el nivel de vitreosidad más bajo, en tanto que 2005 y 2006, pese a la notable diferencia en los niveles de proteína del grano (13,7 y 15,4%, respectivamente) exhibieron vitreosidades similares

(86%, 95% y 96% para 2004, 2005 y 2006, respectivamente, $P < 0,05$) debido a las bajas precipitaciones caídas en ambas campañas durante la etapa de maduración de los granos (127mm, 21mm y 65mm, para el promedio de las localidades, caídos durante la primera quincena de diciembre en 2004, 2005 y 2006, respectivamente). Estos resultados se hallan en sintonía con lo reportado por Borghi *et al.* (1997) quienes manifestaron que las estaciones secas y cálidas devienen en una mejor expresión de algunos atributos de calidad, entre ellos, la vitreosidad. Por su parte, Robinson *et al.* (1979) y Rharrabti *et al.* (2003) señalaron que en los ambientes húmedos se reduce el porcentaje de granos vítreos y aumenta la incidencia de escudete negro.

En lo que respecta a las localidades, Barrow se destacó con el promedio de VIT más alto, con diferencias respecto del resto que oscilaron en el orden del 3% al 15% entre años (Tabla 1.16). La variación más amplia para una misma campaña se dio entre Barrow y Bordenave en 2004 (15%), en tanto que la mayor diferencia entre campañas para una misma localidad, se registró en La Dulce (12% entre 2004 y 2006).

Los tres años de ensayo se observó una ventaja leve, pero significativa, en los niveles de vitreosidad de la subregión del Centrosur respecto de la del Sudoeste (en el orden del 2% al 5%). Miravalles *et al.* (2016) observaron que para el período 2011- 2014 las diferencias en los niveles de vitreosidad a favor de la región del Centrosur promediaron 7,4% ($P < 0,0001$), siendo significativas en dos de las cuatro campañas analizadas. Juan-Aracil y Michelena (1995), y Rharrabti *et al.* (2003) en España, también reportaron importantes variaciones interanuales en la vitreosidad del grano entre zonas.

Tabla 1.16. Valores medios de vitreosidad del grano (%), en cuatro localidades del sur bonaerense pertenecientes a dos regiones de cultivo de trigo candeal entre 2004 y 2006 (Promedio de 5 genotipos y tres repeticiones por genotipo).

Año	Media Año	Subregión						Regiones <i>P</i> -valor Contraste	
		Sudoeste Semiárido			Centro Sur Subhúmedo				
		Cabildo	Bordenave	Media	Barrow	La Dulce	Media		
2004	86B†	89b††	79d	84	94a	84c	89	≤ 0,01	
2005	95A	93b	--	93	96a	97a	96	≤ 0,01	
2006	96A	95c	--	95	98a	96b	97	≤ 0,01	
Media Localidad		92b			96a			92b	
Media Región				89		94			

† Letras en mayúscula diferentes, en la misma columna, indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$)

†† Letras en minúscula diferentes, en la misma fila, indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$)

En este estudio se observaron, además, diferencias de vitreosidad del orden del 2% al 10%, según el año, entre localidades pertenecientes a la misma subregión, lo cual pone en evidencia que las variaciones en las condiciones microclimáticas y de suelo para sitios geográficos relativamente cercanos, con frecuencia son suficientemente fuertes para equiparar, o hasta exceder, a las existentes entre localidades pertenecientes a diferentes zonas (Roozeboom *et al.*, 2008). Para el período 2011- 2014 Miravalles *et al.* (2016) observaron que en la región del Sudoeste, Cabildo consistentemente aventajó a Bordenave en los valores de vitreosidad (diferencias en el rango entre el 11,2% y el 59,4%, $P < 0,001$), en tanto que entre las localidades pertenecientes a las subregiones del Centrosur y Sudeste, las diferencias de vitreosidad fueron de menor magnitud, y significativas solo en dos de los cuatro años considerados (entre el 1% y el 9% para Barrow y la Dulce, y entre 3,6% y el 11% para Miramar y Balcarce). En España, Juan-Aracil y Michelena (1995) también observaron variaciones en la vitreosidad para sitios pertenecientes a una misma zona de cultivo, y sugirieron que para el logro de mejores niveles de este atributo es imprescindible recurrir al uso de técnicas agronómicas específicas en cada sitio. Al respecto, para la región de cultivo de candeal de Argentina, se ha

propuesto que la cosecha anticipada, cuando el grano presenta niveles de humedad entre el 18% y el 19%, puede ser una alternativa de manejo a considerar, que permitiría reducir los efectos negativos de las lluvias tardías sobre la vitreosidad del grano (Seghezzo *et al.*, 1998).

1.5.2.1.a. INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA Y LOS FACTORES DEL CLIMA SOBRE LA VITREOSIDAD DEL GRANO

La vitreosidad es un atributo de índole visual, influida fuertemente por las condiciones agroclimáticas en que se desarrolla el cultivo (Parish y Halse, 1968, Pomeranz y Williams, 1990). Si bien se ha considerado que una baja disponibilidad de nitrógeno es el factor más crítico para la aparición de granos no vítreos (y moteados) (Dexter *et al.*, 1989), también se han mencionado como relevantes, factores de índole genético y ambiental (Gate, 1996; Bnejdi y El Gazzah, 2008; Bechtel *et al.*, 2009; Edwards, 2010; Branković *et al.*, 2014).

La vitreosidad en los distintos ambientes de este ensayo se mostró escasamente asociada a los niveles de proteína del grano ($r= 0,31$, $P>0,20$, $N=10$), determinándose niveles de vitreosidad similares en ambientes con niveles proteicos contrastantes (e.g. ambientes 7 y 10), y vitreosidades diferentes en ambientes con niveles proteicos similares (e.g. ambientes 2 y 9) (Tabla 1.17). Estos resultados concuerdan con lo informado por Arriaga *et al.* (1980) en Argentina en un trabajo pionero en el tema, donde se concluyó que el porcentaje de granos vítreos no siempre está relacionado con el contenido proteico. Autran *et al.* (1986), Michelena *et al.* (1995), Rharrabti *et al.* (2003), Longin *et al.* (2013) y Pinheiro *et al.* (2013) tampoco hallaron una asociación significativa entre ambas variables. Por el contrario, Budak y Budak (1998), Samson *et al.* (2005), El-Khayat *et al.* (2003, 2006), Bilgin *et al.* (2010), Taghouti *et al.* (2010), Branković *et al.* (2014), Sieber *et al.* (2015) y Morascheti (2016), este último en el sur bonaerense, reportaron asociaciones positivas significativas entre medianas y altas, entre el contenido de proteína y la

vitreosidad del grano. Por su parte, Sakin *et al.* (2011) en Turquía observaron que los niveles de vitreosidad disminuían en años con bajos niveles de proteína y aumentaban en años con alta proteína.

Cuando los ambientes se agruparon en función del nivel medio de proteína, se observó que entre aquellos que presentaron niveles proteicos superiores al 15% (ambientes 2, 6, 8, 9 y 10) VIT fluctuó dentro de un rango de valores relativamente estrecho (entre 89% y 98%; promedio de 94%), y fue un 4% mayor ($P \leq 0,001$) que para el conjunto de ambientes con niveles proteicos $< 13,5\%$ (entre 79% y 97%; promedio de 90%) (ambientes 1, 3, 4, 5 y 7) (Tabla 1.17). Cantamutto *et al.* (1985) sugirieron que valores altos de proteína podían proporcionarle a los granos una mayor capacidad para “resistir” los efectos negativos de las lluvias previas a la cosecha sobre la vitreosidad. Debido a su mayor compacidad y densidad, los granos vítreos experimentan una menor disminución en su densidad por efecto del humedecimiento que la que registran los granos no vítreos o panza blanca (Sharp, 1927).

En lo que respecta a la influencia de los factores climáticos sobre la vitreosidad del grano, un análisis de correlación de Pearson reveló que para el conjunto de ambientes de este ensayo, VIT estuvo negativamente asociada al total de lluvias del período noviembre-primer quincena de diciembre ($r = -0,78$; $P \leq 0,01$), y a las precipitaciones caídas durante la primera quincena de diciembre ($r = -0,65$ $P \leq 0,05$). El análisis de regresión múltiple paso a paso (Stepwise), donde además de las 39 variables climáticas se incluyó la duración del período comprendido entre la emergencia del cultivo y la espigazón (EMaESP), determinó que esta última variable junto con las lluvias de noviembre, y las de la primera quincena de diciembre, respondieron por el 90% de la variación total de VIT entre ambientes ($b_{PpNOV} = -0,20$ $b_{EMaESP} = 0,91$; $b_{Pp1^oDIC} = -0,06$; R^2 $Aj. = 0,85$, $F = 18,30$, $P \leq 0,01$, $N = 10$). Estos resultados permitieron explicar por un lado los comparativamente bajos valores de vitreosidad observados en 2004, así como también el diferente impacto de las precipitaciones de noviembre y/o de diciembre sobre la vitreosidad, en

ambientes con diferente duración del ciclo EMaESP, que por dicha razón pueden haber experimentado condiciones climáticas distintas durante la etapa de llenado y maduración de los granos. Hadjichristodoulou (1979), en Chipre, determinó una correlación negativa y significativa entre la fecha de espigazón y la vitreosidad ($r = - 0,48$) con altas dosis de N, y ausencia de asociación entre dichas variables para las condiciones del testigo y de dosis bajas de N. Rharrabti *et al.* (2003), para diez ambientes de cultivo de España que cubrieron un rango de proteína similar al del presente estudio, determinaron que la vitreosidad resultó negativamente afectada por el aporte total de agua durante el período de llenado de granos ($r = - 0,68^*$). Stoeva (2012), en Bulgaria, observó que incrementos en la humedad relativa ambiente diaria, y en las lluvias acumuladas en los primeros 10 días de junio (equivalente a diciembre en el hemisferio sur) tenían un efecto negativo sobre la vitreosidad del grano. Asimismo, Branković *et al.* (2014) puntualizaron que el factor climático más importante asociado a las variaciones de vitreosidad entre 15 genotipos cultivados en seis ambientes de Serbia fue la temperatura máxima media del mes de junio, que a su vez se mostró inversamente correlacionada con el total de lluvias caídas en ese mes. Por su parte, Sandhu *et al.* (2009) para diez cultivares de trigo *durum* cultivados en dos localidades de North Dakota observaron que una exposición a altas humedades relativas (88%) de uno a tres días de duración, redujo la vitreosidad en un 23,6%.

Tabla 1.17. Influencia de la proteína del grano (PROT, %), el largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP, días), las precipitaciones (mm) y la humedad relativa ambiente (HR, %) durante los meses del llenado, sobre la vitreosidad del grano (VIT, %) de trigo candeal en diez ambientes del sur bonaerense (Promedio de cinco genotipos y tres repeticiones por genotipo).

Ambientes ^a	PROT (%)	EMaESP (días)	Precipitaciones (mm)			Humedad Relativa (%)			VIT ^b (%)
			NOV	1ºQDIC	NOV+1ºDIC	NOV	1ºQDIC	NOV+1ºQDIC	
AMBIENTES CON PROTEÍNA < 13,5%									
7 (LaDul05)	12,2	109	103	28	131	69	64	66	97
5 (Bar05)	12,9	108	84	20	104	59	55	57	96
1 (Bar04)	12,8	104	62	90	151	71	64	67	94
3 (LaDul04)	13,3	98	103	54	157	77	69	73	84
4 (Bor04)	12,6	96	62	195	257	63	64	64	79
Promedio	12,8	103	83	77	160	68	63	65	90
AMBIENTES CON PROTEÍNA > 15%									
8 (Bar06)	15,7	97	11	89	100	51	57	54	98
10 (LaDul06)	15,2	98	17	57	73	59	64	61	96
9 (Cab06)	15,3	88	10	50	60	55	69	62	95
6 (Cab05)	16,1	98	57	16	74	55	57	56	93
2 (Cab04)	15,1	100	56	169	225	83	84	84	89
Promedio	15,5	96	30	72	106	61	66	63	94

^a Ambientes ordenados según niveles decrecientes de vitreosidad en sendos grupos con proteína < 13,5% y > 15%

^b Promedio de cinco genotipos y tres repeticiones por genotipo.

1.5.2.2. INFLUENCIA DEL GENOTIPO Y LAS INTERACCIONES GENOTIPO-AMBIENTE

Conforme se mencionó en párrafos precedentes los efectos de G y las interacciones GA respondieron en forma conjunta por menos de un tercio de la variabilidad total observada en los valores de VIT del ensayo (10,6% y 17,3% para G y GA, respectivamente) (Ver Tabla 1.2 en Pág. 49).

Entre los genotipos, VIT varió entre 88% y 95%, correspondiéndole los promedios más altos a Esmeralda y Platino, seguidos en orden decreciente por Topacio y Cariló, y por Facón en último lugar (Tabla 1.18). Si bien el número de materiales evaluados varió parcialmente, el ranking de VIT observado en este ensayo coincidió con el reportado por Miravalles *et al.* (2016) para 24 ambientes del sur bonaerense entre 2011 y 2014. Grignac (1965), Hadjichristodoulou (1979), Nachit y Asbati (1987), Sombrero y Monneveux (1989), El Khayat *et al.* (2006), Bnejdi y El Gazzah (2008) y Sandhu *et al.* (2009) también han informado acerca de la existencia de diferencias varietales en la vitreosidad. Bnejdi y El Gazzah (2008) especularon que las variedades más resistentes a la pérdida de la vitreosidad son aquellas que necesitan menos nitrógeno para producir un grano de textura vítrea.

Exceptuando Topacio en Bordenave durante 2004, todos los genotipos superaron holgadamente el nivel de 75% de vitreosidad, valor que representa el umbral por encima del cual la industria transformadora nacional ofrece en la actualidad las mayores bonificaciones por sobre el precio de referencia de este cereal (Larsen y Jensen, 2016). Los países líderes en el mercado internacional, como Canadá y Estados Unidos, también tienen estrictas exigencias para este atributo. En Estados Unidos, por ejemplo, la clasificación de los trigos *durum* por subclases se realiza precisamente sobre la base de los niveles de vitreosidad, debiendo ser mayor al 75% para la subclase Hard Amber Durum (HAD), entre el 60% y el 74% para la Amber Durum (AD), y menor del 60% para la subclase de menor calidad, Durum (D). En Canadá, en cambio, el rubro

vitreosidad participa en la fijación del grado debiendo ser igual o mayor al 80% para el grado 1, no inferior al 60% para el grado 2 (60% - 79%), y no menor al 40% para el grado 3 (40% - 59%) (OGGG, 2006).

De las cinco variedades, Topacio cubrió el rango más amplio de valores de VIT (entre 67% y 99%), y Esmeralda el menor (entre 87% y 99%), en tanto que para las tres restantes, las fluctuaciones se ubicaron en el rango entre el 16 y el 19% de VIT.

Tabla 1.18. Valores medios de vitreosidad del grano (%) de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense entre 2004 y 2006 (N=50)

Año	Sitio	Ambiente	Cariló	Esmeralda	Facón	Platino	Topacio	Media Ambientes	DMS†
2004	Barrow	1	96,0	95,0	<u>88,3</u>	94,0	96,0	93,9	6,9
	Cabildo	2	86,3	89,7	<u>84,3</u>	91,0	92,7	88,8	5,2
	La Dulce	3	85,3	89,3	<u>79,3</u>	83,7	80,0	83,5	3,3
	Bordenave	4	79,3	87,3	80,3	81,3	<u>67,3</u>	79,1	8,8
2005	Barrow	5	<u>93,7</u>	95,7	95,7	98,3	98,0	96,3	2,8
	Cabildo	6	94,7	95,0	<u>83,7</u>	98,0	94,3	93,1	2,8
	La Dulce	7	97,0	97,7	<u>92,7</u>	98,3	99,0	96,9	2,7
2006	Barrow	8	97,7	99,3	<u>95,7</u>	98,3	99,0	98,0	2,5
	Cabildo	9	98,0	98,3	<u>82,7</u>	99,0	96,3	94,9	3,9
	La Dulce	10	<u>91,0</u>	98,7	94,7	98,7	98,3	96,3	3,8
Media Genotipos			91,9b	94,6a	<u>87,7c</u>	94,1a	92,1b	92,1	

† Diferencia Mínima Significativa protegida de Fisher ($P < 0,05$). Valores subrayados y valores en negrita representan, los promedios más bajos y más altos de cada ambiente, respectivamente.

Pese a que en el caso de Facón los niveles de VIT fueron siempre superiores al 75%, esta variedad presentó el valor más bajo de vitreosidad en siete de los diez ambientes del ensayo. Miravalles *et al.* (2016) observaron un comportamiento similar para esta variedad en un estudio donde se evaluaron cinco variedades en seis ambientes de cultivo entre 2011 y 2014.

Según los resultados del ANOVA triple (Tabla 1.15 en Pág. 80), entre las interacciones GA, la mayor contribución le correspondió a la interacción GxL con el 12,8%, seguida por GxLxY con el 6,6% y GxY con el 0,8%. La variedad Topacio experimentó las mayores fluctuaciones de VIT entre localidades dentro de una misma campaña (variación de 29% en 2004), y entre campañas para la misma localidad (19% de variación en La Dulce). En Turquía, Korkut *et al.* (2007) para 44 genotipos evaluados en seis ambientes por dos años consecutivos observaron que las interacciones de G con los factores L, Y y LxY fueron del 11,9%, 5,3% y 11,9%, respectivamente, en tanto que Branković *et al.* (2014), para un set más reducido de genotipos y ambientes (15G en 6A) determinaron interacciones de menor magnitud (2,0%, 2,4% y 1,7%, respectivamente). En España, Rharrabti *et al.* (2003) informaron que las interacciones de G con L, Y y LxY, consideradas en forma conjunta, no superaban al 4% de la variabilidad total, en tanto que para Michelena *et al.* (1995) y Juan-Aracil *et al.* (1995) la interacción más significativa fue GxLxY.

En el biplot GGE, construido con el fin de interpretar la respuesta de los genotipos al ambiente, las dos primeras componentes principales explicaron el 89,6% ($P \leq 0,001$) de la suma de cuadrados de G + GA (Figura 1.7).

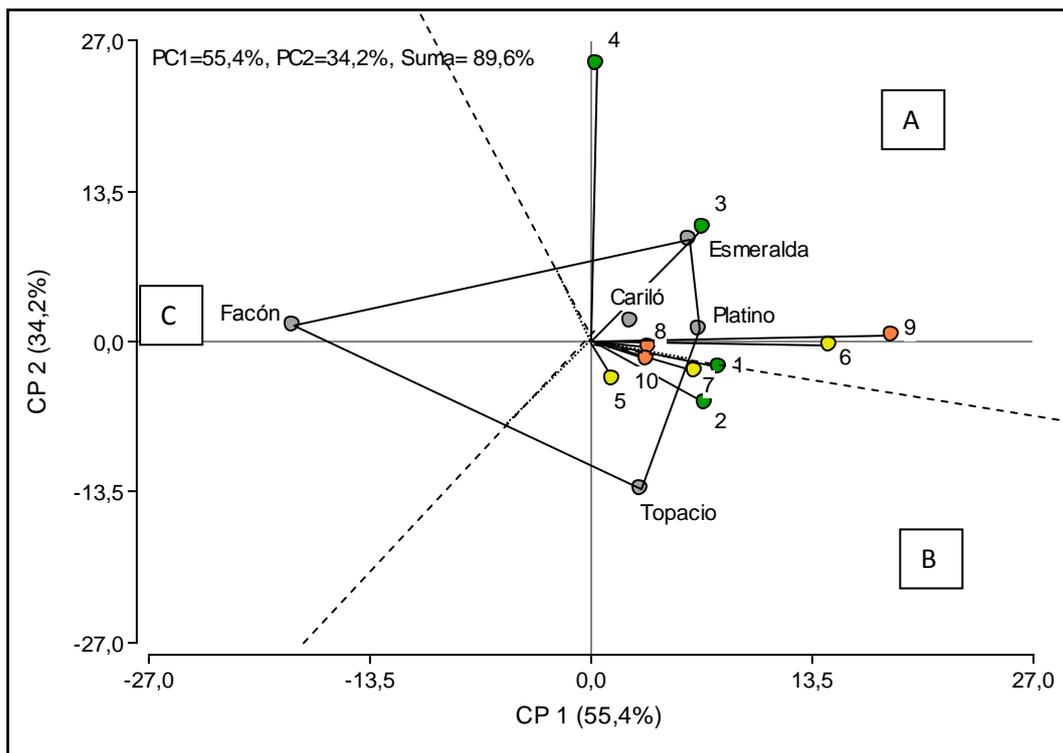


Figura 1.7. Biplot GGE para la Vitreosidad del grano (%) de cinco genotipos de trigo candeal evaluados en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006. (Ambientes 1-5-8: Barrow; 2-6-9: Cabildo; 3-7-10: La Dulce) (Círculos verdes: ambientes de 2004; círculos amarillos: ambientes de 2005 y círculos naranjas: ambientes de 2006).

De los cinco genotipos, Facón fue el único que presentó score negativo sobre la CP1, en tanto que los cuatro restantes se ubicaron todos sobre el sector positivo. Debido a la muy alta correlación entre los coeficientes genotípicos sobre la CP1 y las medias de vitreosidad ($r= 0,958$, $P\leq 0,010$), se consideró que las proyecciones genotípicas sobre la CP1 reflejaron con precisión el ranking promedio de los mismos.

Dicho ordenamiento, *a priori*, estaría sugiriendo la existencia de una mayor predisposición a exhibir niveles altos de vitreosidad entre las variedades de alto PMG (Esmeralda y Platino) y/o ciclo más largo (Cariló y Topacio), respecto de la variedad de bajo PMG y ciclo corto (Facón). En lo que hace a la influencia

del PMG sobre VIT, los resultados concuerdan con lo reportado en un estudio reciente conducido en 24 ambientes del sur bonaerense, donde se determinó que el PMG respondió por el 82% de la variabilidad de la vitreosidad de cinco variedades de trigo candeal de difusión actual (Miravalles *et al.*, 2016). Al respecto, Hadjichristodoulou (1979), para dos localidades de la isla de Chipre (Dromolaxia y Laxia) reportó correlaciones positivas significativas entre el PMG y la vitreosidad ($r= 0,57$ y $0,50$, respectivamente). Por su parte, Sandhu *et al.* (2009) en North Dakota, concluyeron que la mayor susceptibilidad a la pérdida de vitreosidad entre cultivares que experimentaron humedades relativas muy altas en el momento previo a la cosecha ($>80\%$), no podía ser atribuida al tamaño de la espiga, al peso de los granos ni al nivel de proteína.

Sobre la CP1 del biplot, todos los coeficientes ambientales presentaron signo positivo, reflejando la existencia de respuestas de los genotipos proporcionales a las modificaciones del ambiente (Yan y Kang, 2003). Un análisis de regresión múltiple determinó que las proyecciones de los marcadores ambientales sobre dicha CP siguieron un patrón asociado a la longitud promedio del ciclo EMaESP y a las lluvias caídas en la 1ra quincena de diciembre ($R^2= 0,52$; $P=0,07$). La mayor inercia sobre la CP1 ($>$ score) le correspondió al ambiente 9 (Cabildo en 2006) que presentó la menor duración del ciclo EMaESP entre los diez ambientes del ensayo (88 días vs 101 días para el resto, en promedio), y precipitaciones en la primera quincena de diciembre por debajo de la media del ensayo (50mm vs 80mm para el resto en promedio). Ello, sumado al bajo score sobre la CP2, lo erigió como el ambiente más representativo de la respuesta de los genotipos (Yan y Tinker, 2006). En el mismo, el ordenamiento de los genotipos fue Platino = Esmeralda = Cariló = Topacio $>$ Facón (Figura 1.6 y Tabla 1.18).

Sobre la CP2, en tanto, los coeficientes ambientales tomaron tanto signo positivo como negativo, lo cual significa que el comportamiento de algunas variedades en ciertos ambientes no fue proporcional a las variaciones del ambiente. En este caso, un análisis de regresión múltiple determinó que las

proyecciones de los marcadores ambientales sobre dicha CP siguieron un patrón asociado a la longitud promedio del ciclo EMaESP y al porcentaje de proteína ($R^2= 0,59$; $P\leq 0,05$), que serían, en consecuencia, las principales responsables de los cambios en la respuesta de las variedades al ambiente. Así, en ambos sentidos de la CP2, y muy cercanos al origen del biplot, se ubicaron en general los ambientes con niveles proteicos $> 15\%$, lo que sugiere que bajo dichas condiciones la respuesta de las variedades a las variaciones impuestas por el ambiente sería menor. Mientras tanto, los scores más altos sobre la CP2, tanto positivos como negativos, les correspondieron a los ambientes con menores promedios de proteína ($< 13,5\%$), y duración del ciclo desde EMaESP ≤ 98 días (sector positivo), o bien ≥ 100 días (sector negativo).

De los diez ambientes del ensayo, el ambiente 4 (Bordenave de 2004), y en segundo lugar, el 3 (La Dulce de 2004), con los más altos scores sobre la CP2 del biplot, hicieron la mayor contribución a las interacciones GA, *i.e.*, donde se dieron los mayores cambios en la respuesta de los genotipos al ambiente. Teniendo en cuenta que estos dos ambientes presentaron los menores niveles de vitreosidad del ensayo (79% y 84%, respectivamente), los resultados concuerdan con lo citado por Hadjichristodoulou (1979), quien puntualizó que es dable esperar que los mayores cambios en la respuesta de los genotipos ocurran en ambientes en los que prevalecen condiciones que predisponen a una baja vitreosidad. En el resto de los ambientes, en tanto, los genotipos observaron un similar patrón de respuesta al ambiente, conforme lo demuestran los ángulos agudos que formaron los respectivos vectores ambientales entre sí.

Por su parte, entre los genotipos, la mayor contribución a la interacción GA le correspondió a las variedades Esmeralda y Topacio, que exhibieron los más altos scores sobre la CP2 del biplot.

1.5.2.2.a. ANÁLISIS DE LAS INTERACCIONES GENOTIPO - AMBIENTE

Los cuatro genotipos con comportamiento más extremo en alguno de los diez ambientes (Esmeralda, Platino, Topacio y Facón) conformaron los vértices de un polígono que quedó subdividido en tres cuadrantes (A, B y C), dos de los cuales incluyeron a los diez ambientes en estudio (Figura 1.7). En el cuadrante A, que tuvo a Esmeralda y Platino como genotipos ganadores, y a Cariló en un segundo plano, quedaron contenidos los ambientes 3, 4, 6, 8, y 9, que presentaron una duración del ciclo desde la emergencia a la espigazón que varió entre los 88 (ambiente 9) y los 98 días (ambientes 3 y 6), con un promedio de 96 días. Dado que del biplot se desprende que dentro de este MA el comportamiento de las variedades en algunos ambientes estuvo escasamente correlacionado con el observado en los restantes (*i.e.* vectores ambientales dispuestos en ángulos abiertos entre sí, *e.g.* ambientes 3 y 4 vs ambientes 6, 8 y 9), se decidió examinar las relaciones individuales de la vitreosidad con el contenido proteico del grano, el largo del ciclo EMaESP, el PMG y las variables de dimensión del grano (L, A, y A/L) en cada ambiente por separado. El análisis de correlación simple de Pearson determinó correlaciones muy variables en magnitud y signo, entre la vitreosidad y dichos atributos en los distintos ambientes, lo que pone de relieve el impacto que ejerce el ambiente sobre las relaciones entre variables vinculadas a la calidad. En el ambiente 4, por ejemplo, donde las condiciones fueron altamente predisponentes para la pérdida de la vitreosidad (194 mm solo para la primera quincena de diciembre), los valores más altos de VIT les correspondieron a los materiales de ciclo corto e intermedio corto ($r = -0,84$), con granos más largos ($r = 0,88$), baja relación A/L ($r = -0,76$) y alto PMG ($r = 0,73$) (Tabla 1.19). Un análisis de regresión múltiple determinó que en este ambiente, el largo del grano y el ciclo dieron cuenta por el 99% de la variación de la vitreosidad entre variedades ($b_{LG} = 13,39$; $b_{EMaESP} = -1,14$; $F = 65,84$; $P = 0,0150$; $N = 5$). Al respecto, se ha señalado que además de la magnitud de las lluvias (Möckel *et al.*, 1984), el grado de madurez del trigo al momento de la ocurrencia de las mismas (Cantamutto *et al.*, 1986), y las condiciones y velocidad en que opera el secado (Parish y

Halse, 1968) se hallan entre los principales factores que condicionan la respuesta del trigo a dicho fenómeno climático. Estos últimos autores determinaron que los mayores niveles de vitreosidad se dieron cuando los granos se secaban de forma más lenta, o bien a altas temperaturas. Si bien en la bibliografía en el tema no se halló evidencia acerca de la existencia de un efecto de la forma y/o el tamaño del grano de trigo sobre la velocidad de secado del mismo, y por ende, sobre la vitreosidad, resultados reportados para maíz que hablan de mayores velocidades de secado entre materiales con bajo PMG (Wang *et al.*, 1993; Kim *et al.*, 2002) permitirían explicar el mal desempeño de Topacio, de grano corto, bajo PMG, y menor nivel proteico, que debido a su ciclo más tardío pudo haber experimentado un secado a campo más rápido luego de acontecidas las lluvias (Parish y Halse, 1968). Su ubicación en el biplot en el cuadrante opuesto al del marcador correspondiente al ambiente 4 refleja dicho comportamiento. Una respuesta similar en lo concerniente al PMG se dio en el ambiente 3, el segundo con menor vitreosidad del ensayo (Tabla 1.20).

Mientras tanto, en el ambiente 9, donde para el período noviembre-primer quincena de diciembre se registraron solo 60 mm de lluvias, si bien en lo que respecta a la influencia del formato del grano sobre VIT se observó una tendencia similar a la mencionada anteriormente ($r = -0,84$ y $r = -0,65$ para A y A/L, respectivamente), en lo que concierne al ciclo la tendencia fue opuesta ($r = 0,58$) (Tablas 1.19 y 1.20). Al respecto, un análisis de regresión múltiple paso a paso, determinó que las lluvias caídas entre noviembre y primera quincena de diciembre respondieron por un 96% de la variación observada en los coeficientes de correlación entre la vitreosidad y el largo del ciclo ($R^2_{Aj} = 0,94$, $F = 64,85$, $P \leq 0,001$; $N=5$) (Figura 1.8). Ello permitió explicar por qué Topacio, de ciclo relativamente más largo que el resto (excepto Cariló), pasó de exhibir una vitreosidad comparable a la de Esmeralda, Platino y Cariló en el ambiente 9, (donde las lluvias fueron escasas), a experimentar la mayor pérdida de vitreosidad en el ambiente 4 (donde las lluvias en dicho período fueron abundantes) (99% y 67% de VIT, respectivamente).

Tabla 1.19. Medias de Vitreosidad del grano (%), y coeficientes de correlación de Pearson entre la vitreosidad, la proteína del grano (%), la duración media del período de emergencia a espigazón (días) y variables de dimensión y forma del grano, peso de mil granos (PMG, g), ancho (A, mm), largo (L, mm) y relación de aspecto A/L, en cinco ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense (N=5).

Ambiente	Vitreosidad (%)	Vitreosidad del grano vs.					
		Proteína (%)	Ciclo (días)	PMG (g)	Largo (mm)	Ancho (mm)	A/L
3	83,5	-0,35	0,09	0,87*	0,82†	-0,47	-0,76†
4	79,1	0,43	-0,84†	0,73††	0,88*	-0,66	-0,76†
6	93,1	-0,44	0,53	0,44	0,77†	0,17	-0,41
8	98,0	-0,03	0,18	-0,87*	-0,48	-0,79†	-0,18
9	94,9	-0,57	0,58	-0,11	-0,12	-0,84†	-0,65

* , Significativas al 5% de probabilidad; †† Significativas al 10% y al 1,5% de probabilidad.

En sintonía con estas observaciones, Hadjicristodoulou (1979) en tres localidades de Chipre, también reportó correlaciones de distinta magnitud entre la vitreosidad y la fecha de espigazón. Respecto de esto último, Rharrabti *et al.* (2003) puntualizaron que las relaciones entre algunos atributos productivos y de calidad resultan influidas por las condiciones climáticas imperantes durante el llenado de granos, razón por la cual los coeficientes de correlación entre variables pueden oscilar entre positivos, negativos o cero dependiendo de las precipitaciones y las temperaturas imperantes en esta etapa.

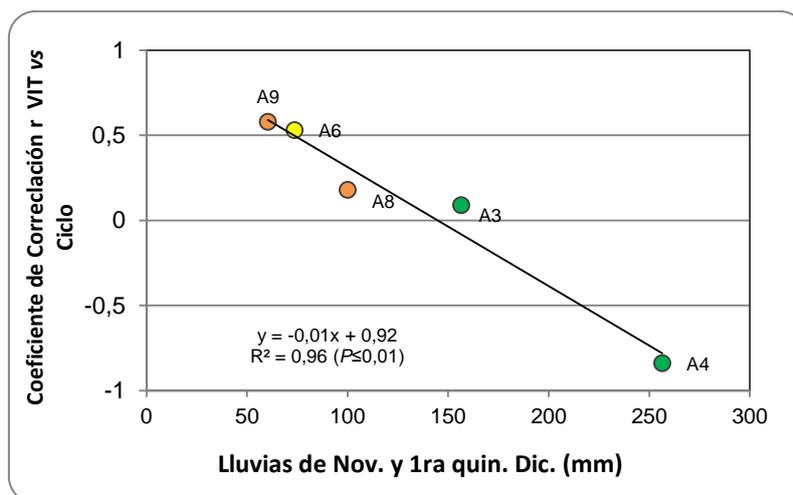


Figura 1.8. Influencia de las lluvias de noviembre y primera quincena de diciembre (mm) sobre la variación en los coeficientes de correlación entre la vitreosidad del grano (%) y el largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (días) en cinco ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense (Ambientes 8: Barrow; 6-9: Cabildo; 3: La Dulce) (Círculos verdes: ambientes de 2004; círculos amarillos: ambientes de 2005 y círculos naranjas: ambientes de 2006).

Entre los ambientes del MA A también se observaron relaciones contrastantes entre la vitreosidad y el porcentaje de proteína de los granos, siendo en este caso las lluvias de la primera quincena de diciembre las que explicaron un 90% de la variación de los coeficientes de correlación entre estas dos variables ($R^2_{Aj} = 0,87$, $F = 27,12$, $P \leq 0,05$, $N = 5$) (Figura 1.9). Según este modelo, bajo condiciones altamente predisponentes para la pérdida de la vitreosidad, como lo fueron los 194 milímetros de lluvias que cayeron en el ambiente 4 durante la primera mitad de diciembre, las variedades que presentaron niveles proteicos más altos, se mostraron menos proclives a perder la vitreosidad, lo cual concuerda con lo reportado por Cantamutto *et al.* (1985). Mientras tanto, con lluvias de diciembre más bajas, la vitreosidad se hizo menos dependiente de la proteína del grano, relacionándose más estrechamente con el ciclo del cultivar, el PMG y/o la forma de los granos (Tabla 1.19).

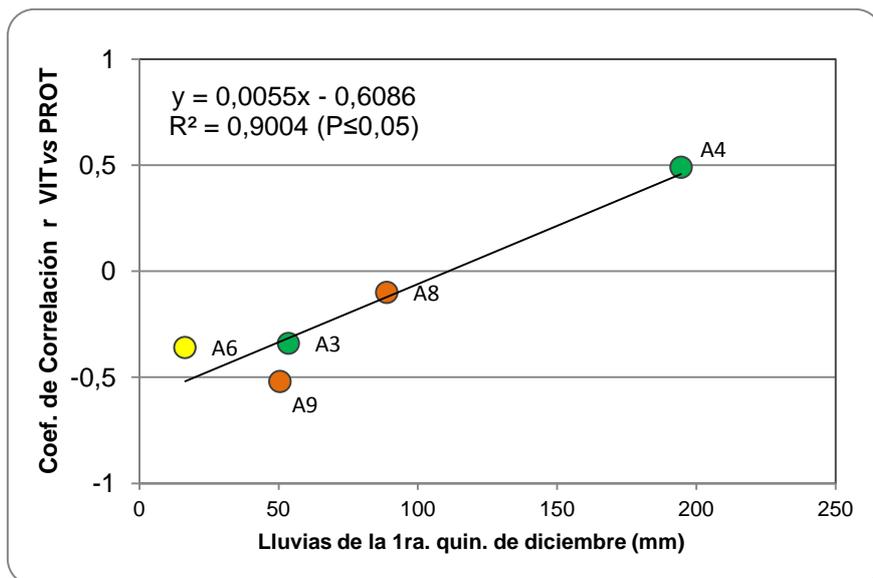


Figura 1.9. Influencia de las lluvias caídas en la primera quincena de diciembre (mm) sobre la variación en los coeficientes de correlación entre la vitreosidad y el porcentaje de proteína de los granos en cinco ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense. (Ambientes 8: Barrow; 6-9: Cabildo; 3: La Dulce) (Círculos verdes: ambientes de 2004; círculos amarillos: ambientes de 2005 y círculos naranjas: ambientes de 2006).

Tabla 1.20. Influencia del ciclo (días), el rendimiento (RG, Kg.Ha⁻¹), el contenido de proteína (%) y las características asociadas al tamaño y dimensión de los granos (peso de mil granos, ancho, largo y relación A/L) sobre el porcentaje de vitreosidad de cinco variedades de trigo candeal en dos ambientes del sur bonaerense con precipitaciones contrastantes durante el llenado y maduración de los granos.

Variedad	Vitreosidad (%)	Ciclo (días)	RG (Kg Ha ⁻¹)	Proteína (%)	PMG (g)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Aspecto A/L
AMBIENTE 4 (Bordenave 2004)								
Esmeralda	87a†	92	4254	12,2	50,2	2,9	7,6	0,37
Platino	81a	96	4212	13,6	47,6	3,0	7,6	0,38
Facón	80a	94	4163	12,7	45,1	2,9	7,2	0,41
Cariló	79a	99	3670	12,5	43,9	2,9	7,5	0,37
Topacio	67b	100	4068	11,8	44,3	3,0	6,8	0,42
AMBIENTE 9 (Cabildo 2006)								
Platino	99 a	90	2510	12,5	38,8	2,7		0,35
Esmeralda	98 a	84	2554	15,1	39,7	2,7	7,4	0,36
Cariló	98 a	91	2217	12,9	34,1	2,9	7,7	0,38
Topacio	96 a	90	2690	18,4	37,9	2,9	7,1	0,40
Facón	83 b	84	2890	17,5	38,3	3,1	7,7	0,40

† Valores seguidos por igual letra en la misma columna difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

En el cuadrante B del biplot (Fig. 1.7), que tuvo a Topacio como genotipo ganador, quedaron contenidos los ambientes 1, 2, 5, 7 y 10, en los que la duración promedio del ciclo EMaESP fue 8 días mayor que en el MA anterior (entre 98 y 109 días; promedio de 104 días), los niveles de VIT ligeramente más altos (entre 84% y 99%; promedio de 94), y el rango de variación de VIT sensiblemente menor al del MA A (CV 4,3% y 10,0%, respectivamente). Conforme lo revelan los ángulos agudos que formaron los respectivos vectores ambientales entre sí, en este MA las variedades observaron un patrón de respuesta similar, que fue proporcional a los cambios del ambiente (bajos scores sobre la CP2). Las menores diferencias de VIT se dieron en el ambiente 5, donde las escasas lluvias de diciembre (20,4mm) favorecieron el desarrollo de una alta vitreosidad en todos los materiales (entre 94 y 98%). Los altos PMG alcanzados (entre 52 y 56g), en conjunción con las bajas temperaturas que

imperaron durante la fase de maduración de los granos (media de 18°C en diciembre vs 20°C \pm 1,6 de los cuatro ambientes restantes, en promedio), pueden haber determinado una menor velocidad de secado de los mismos, condición que ha sido considerada por Parish y Halse (1968) como un aspecto clave para el desarrollo de una alta vitreosidad de los granos. La mayor variabilidad y la media de VIT más baja de este MA se dieron en el ambiente 2 (Cabildo de 2004), que recibió 169 mm de lluvias en la 1ra. quincena de diciembre. No obstante, debido a los altos niveles de proteína (entre 14,4 y 15,8%) el impacto de las lluvias sobre la vitreosidad fue menor al observado para la localidad de Bordenave en esa misma campaña (ambiente 4). En lo que concierne a los genotipos los menos afectados por las lluvias de diciembre resultaron los materiales de PMG más alto, Platino y Esmeralda, mientras que, entre los de menor PMG, fueron los de ciclo más largo y/o grano más redondeado (>A/L) (Cariló y Topacio).

El análisis de regresión múltiple paso a paso estableció que para este grupo de ambientes, la vitreosidad estuvo principalmente ligada a los efectos combinados del PMG y la relación de aspecto A/L, variables que respondieron por un 42% de la variabilidad de este atributo ($b_{\text{PMG}}= 0,34$; $b_{\text{A/L}}=37,6$; $R^2 \text{ Aj.}= 0,37$, $F= 7,92$ $P\leq 0,01$, $N=25$). Estas observaciones se hallan en sintonía con lo reportado para granos de maíz por Kim *et al.* (2002), quienes indicaron que los granos de alto PMG y formato más redondeado, experimentaban menores velocidades de secado a campo, lo cual ha sido señalada como una condición deseable para el desarrollo de una alta vitreosidad en el grano de trigo (Parish y Halse (1968).

Finalmente, en el cuadrante C, que tuvo por vértice a Facón, no quedó incluido ningún ambiente, lo que significa que no hubo ningún sitio donde esta variedad haya exhibido un comportamiento superior al de las demás. Su bajo PMG, sumado a la precocidad de ciclo, aparecen como las principales causas que permitirían explicar las diferencias de vitreosidad entre esta variedad y las restantes en siete de los diez ambientes del ensayo. No obstante, merece

destacarse su buena performance frente a condiciones climáticas altamente predisponentes para la pérdida de la vitreosidad, con valores que nunca cayeron por debajo del umbral del 75%.

Cabe señalar que de la observación del biplot no surge evidencia sobre la existencia de un patrón específico de respuesta de las variedades asociado a la localidad, habida cuenta que los sitios involucrados se agruparon indistintamente en los cuadrantes A y B siguiendo un patrón vinculado exclusivamente al largo del ciclo desde la emergencia a la floración.

1.5.2.2.b. ESTABILIDAD EN LA RESPUESTA DE LOS GENOTIPOS AL AMBIENTE

Los genotipos de este estudio exhibieron diferentes niveles de respuesta a las variaciones impuestas por el ambiente. De los cinco, Topacio se comportó como el más sensible, conforme lo reflejan los tres parámetros utilizados para la estimación de la estabilidad (Tabla 1.21). Esta variedad fue, además, la que exhibió el cambio de rango más notorio, razón por la cual, al menos en lo que respecta a este atributo, su cultivo debiera recomendarse para áreas donde sea menos frecuente la ocurrencia de condiciones predisponentes para la pérdida de vitreosidad. Mientras tanto, las variedades Platino, Cariló y Facón observaron un comportamiento más estable, con valores de b_i que no difirieron significativamente de la unidad. En el caso de Facón, cabe señalar que pese a que los niveles exhibidos fueron por lo general menores a los del resto, en la mayoría de los ambientes presentó valores de VIT satisfactorios (>75%), así como también un buen comportamiento en el ambiente con menor vitreosidad del ensayo. Por su parte, Esmeralda, con un coeficiente b_i significativamente < 1, se presentó como la menos sensible al ambiente de las cinco, exhibiendo elevados valores de VIT aún en ambientes donde imperaron condiciones de altas precipitaciones y/o alta humedad relativa en el período previo a la

cosecha. Su elevado PMG, y la alta estabilidad exhibida en los niveles de proteína del grano permitirían explicar dicho comportamiento.

Tabla 1.21. Valores medios de vitreosidad del grano (%), y parámetros estimadores de estabilidad para cinco genotipos de trigo candeal cultivados en diez ambientes del sur bonaerense.

Genotipo	Vitreosidad (%)	e_1^a	e_2^b	b_i^c	CV ^d (%)
Cariló	92	2,51	1,79	0,92	6,9
Esmeralda	95	5,96	9,05	0,65**	4,6
Facón	88	-18,21	1,38	0,83	7,4
Platino	94	6,69	1,05	1,02	7,0
Topacio	92	3,05	-13,26	1,59**	11,3
Promedio	92		---	1,0	7,4

^(a,b) Escores sobre la CP1 y CP2 del biplot GGE, respectivamente; ^(c) Coeficiente de la regresión;

^(d) Coeficiente de Variación; ** Difiere estadísticamente de la unidad, con $P < 0,01$

1.5.3. INFLUENCIA DEL GENOTIPO, EL AMBIENTE Y LAS INTERACCIONES GENOTIPO-AMBIENTE SOBRE EL PESO HECTOLÍTRICO DEL GRANO

Junto con el tenor proteico, la vitreosidad y la limpieza, el peso hectolítrico (PH) es uno de los atributos físicos más importantes tenidos en cuenta por la industria encargada de la primera transformación del grano de trigo candeal. El PH está directamente influido por el tamaño y forma del grano, y por la eficiencia de empaquetamiento, e indirectamente por factores ambientales tales como estrés hídrico, altas temperaturas, lavado o brotado del grano por excesivas lluvias, y por el ataque de enfermedades (Clarke *et al.*, 2009).

En el presente estudio el PH resultó influido principalmente por los efectos del ambiente, que explicaron un 56,3% de la variabilidad total que experimentó este atributo ($P \leq 0,0001$). Por su parte, el genotipo y las interacciones GA dieron cuenta por un 28,8% y un 7,5% de la variabilidad, respectivamente ($P \leq 0,0001$) (Ver Tabla 1.2 en Pág. 47). Estos resultados se hallan en sintonía con lo reportado en un trabajo previo realizado en Argentina en trigo candeal por Seghezzo *et al.* (2011), y con lo informado para trigo pan en nuestro país por Mortarini *et al.* (2004), Chidichimo *et al.* (2007), Abbate *et al.* (2010) y Gómez (2011). Ghaderi y Everson (1971), Michelena *et al.* (1995), Mladenov *et al.* (2001), Rharrabti *et al.* (2003), Bilgin *et al.* (2010) y Kaya y Akçura (2014) también enfatizaron acerca de la prevalencia de la componente ambiental sobre este atributo. Clarke *et al.* (2009), Taghouti *et al.* (2010) y Pinheiro *et al.* (2013), por el contrario, observaron una mayor influencia genética sobre el PH, en tanto que Zamora *et al.* (2005) y Li *et al.* (2013) informaron contribuciones similares para los efectos de A y G, con interacciones GA de escasa magnitud.

La baja contribución de las interacciones a la variación total de este carácter observada en este ensayo, constituye a *priori*, un indicio acerca de la existencia de respuestas relativamente estables de los genotipos a través de los

diferentes ambientes, conforme lo señalado por Clarke *et al.* (2009) y Kaya y Akçura (2014).

2.5.3.1. INFLUENCIA DEL AMBIENTE

A través de los diez ambientes de estudio el PH promedió 78,3 Kg hL⁻¹, oscilando entre 71,9 Kg.hL⁻¹ en Barrow de 2006 (ambiente 8), y 81,8 Kg hL⁻¹ en La Dulce de 2005 (ambiente 7) (Tabla 1.22). De este modo, al cabo de los tres años de ensayo, solo seis de los diez ambientes de estudio alcanzaron niveles medios de PH por sobre el valor mínimo exigido en el Grado 1 de la norma comercial (78 Kg hL⁻¹), en tanto que entre los restantes, el promedio de PH encuadró dentro de los niveles mínimos requeridos en los grados 2 y 3 (76 y 72 Kg hL⁻¹, respectivamente) (Ver Tabla A del ANEXO)

Tabla 1.22. Valores medios y rango de variación de Peso Hectolítrico (PH, Kg hL⁻¹) de trigo candeal, en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense entre 2004 y 2006.

Año	Sitio	Ambiente	PH† (Kg hL ⁻¹)	Rango
2004	Barrow	1	75,9	72,5 - 78,9
	Cabildo	2	78,3	75,4 - 79,7
	La Dulce	3	77,7	74,5 - 79,8
	Bordenave	4	77,5	73,1 - 79,9
2005	Barrow	5	80,1	78,3 - 80,8
	Cabildo	6	80,6	78,0 - 82,4
	La Dulce	7	81,8	78,3 - 83,6
2006	Barrow	8	71,9	67,4 - 76,1
	Cabildo	9	78,1	72,7- 80,0
	La Dulce	10	81,3	77,7 - 83,8
Media			78,3	
CV (%)			3,8	

† Promedio de cinco genotipos y tres repeticiones por genotipo

El ANOVA triple reveló efectos significativos para todas las fuentes de variación analizadas, con contribuciones similares para los factores año (Y) y localidad (L) (20,7 y 22,7%, respectivamente), que junto con las interacciones entre ambos (LxY), respondieron por ca. el 60% de la variación total de este atributo (Tabla 1.23). En Argentina Seghezzo *et al.* (2011) para el mismo set de genotipos evaluados en 30 ambientes del sur bonaerense también observaron que cuando se los consideraba en forma individual, los efectos asociados al cultivar predominaron por sobre los de Y y L separados, en tanto que la interacción entre estos últimos (LxY) se erigió como la fuente de variación más importante. Similares resultados han sido reportados por Chidichimo *et al.* (2007), Abbate *et al.* (2010), y Gómez (2011) para trigo pan de Argentina, y por Michelena *et al.* (1995) y Rharrabti *et al.* (2003) para trigos *durum* de España. Por su parte, Clarke *et al.* (2009) para ocho poblaciones cultivadas en seis ensayos de campo diferentes reportaron la prevalencia de los efectos de LxY por sobre los efectos individuales de L e Y.

Tabla 1.23. Análisis de la varianza para el Peso Hectolítrico del grano (PH, Kg hL⁻¹) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en cuatro localidades del sur bonaerense durante tres años.

Fuente	gl ^a	SC ^b Tipo III	SC %	CM ^c	F-valor
Año (Y)	2	398,85	20,7	199,43	134,75 ***
Localidad (L)	3	438,51	22,7	146,17	98,76 ***
Y x L	4	319,74	16,6	79,93	54,01 ***
Bloq (Y x L)	20	35,62	1,8	1,78	1,20
Genotipo (G)	4	570,11	29,5	142,53	96,30 ***
G x Y	8	41,53	2,2	5,19	3,51 **
G x L	12	34,94	1,8	2,91	1,97 *
G x Y x L	16	79,76	4,1	4,99	3,37 ***
Error	80	11,85	0,6	0,15	0,10

^a Grados de libertad; ^b Suma de Cuadrados; ^c Cuadrado Medio
 *, **, *** Significativas con $P \leq 0,05$, 0,01 y 0,001, respectivamente

En lo que concierne a los años, 2005 se destacó con el promedio de PH más alto (80,8 Kg hL⁻¹ versus 77,4 y 78,4 Kg hL⁻¹, para 2004 y 2006, respectivamente), y la menor variación entre localidades, debido a los elevados valores de PMG que se lograron en los tres sitios de ensayo como consecuencia de las bajas temperaturas que prolongaron el llenado (Tabla 1.24). En tanto, entre las localidades, el PH más alto al cabo de los tres años le correspondió a La Dulce, con 80,3 Kg hL⁻¹, y el más bajo a Barrow, con 76,0 Kg hL⁻¹, que fue además donde se dio la mayor variación de PH entre años (entre 71,9 Kg hL⁻¹ y 80,1 Kg hL⁻¹). La localidad de Cabildo, en el Sudoeste Semiárido, se presentó como la más estable, con valores de PH que superaron la exigencia mínima del Grado 1 (> 78 Kg hL⁻¹) los tres años de ensayo. Las diferencias de PH entre sendas subregiones del Sudoeste y Centrosur variaron en magnitud y significancia entre campañas, lo que se corresponde con lo citado por Rharrabti *et al.* (2003) para tres regiones de España. Mientras tanto, las diferencias entre localidades pertenecientes a la misma subregión, particularmente en el caso del Centrosur subhúmedo, fueron mayores a las anteriores, y siempre con una ventaja de La Dulce por sobre Barrow.

Tabla 1.24. Valores medios de Peso Hectolítrico (Kg hL⁻¹), en cuatro localidades del sur bonaerense pertenecientes a dos regiones de cultivo de trigo candeal entre 2004 y 2006 (Promedio de 5 genotipos y tres repeticiones).

Año	Media Año	Subregión						Regiones P-valor Contraste
		Sudoeste Semiárido			Centro Sur Subhúmedo			
		Cabildo	Bordenave	Media	Barrow	La Dulce	Media	
2004	77,4B†	78,3a††	77,5b	77,9	75,9c	77,7b	76,8	<0,001
2005	80,8A	80,6b	--	80,6	80,1b	81,8a	81,0	ns
2006	78,4B	78,1b	--	78,1	71,9c	81,3a	76,6	<0,1
Media Localidad		79,0b	--		76,0c	80,3a		
Media Región				78,9			78,1	

† Letras en mayúscula diferentes, en la misma columna, indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$)

†† Letras en minúscula diferentes, en la misma fila, indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$)

1.5.3.1.a. INFLUENCIA DE LOS FACTORES DEL CLIMA SOBRE EL PESO HECTOLÍTRICO DEL GRANO

Un análisis de correlación simple de Pearson reveló que entre 39 variables climáticas, el PH en los distintos ambientes estuvo significativamente correlacionado con la temperatura media de la primera quincena del mes de diciembre ($r = -0,74$, $P < 0,05$), y con la temperatura media del llenado ($r = -0,73$, $P < 0,05$) (Tabla 1.25). Ello permitió explicar los consistentemente altos valores de PH de la localidad de La Dulce, donde para el promedio de los tres años de ensayo las temperaturas medias del llenado, y en particular, de la última fase del llenado, fueron $1,2^{\circ}\text{C}$ y $1,7^{\circ}\text{C}$ menores a las de las otras localidades en promedio. Guasconi *et al.* (2011) en Italia, y Pinheiro *et al.* (2013) en Portugal, también determinaron una asociación negativa entre las temperaturas de la primavera y el PH, lo que fue atribuido a un acortamiento del período de llenado de granos. En tanto, Rharrabti *et al.* (2003) en España, reportaron que la variable con mayor impacto sobre el PH fue el agua total (lluvias + riego) durante el llenado de granos ($r = -0,55^*$). Estos autores argumentaron que una mayor disponibilidad de agua durante el crecimiento de los granos resultó en menores valores de PH, debido a una reducción en la eficiencia de empaquetamiento con la que el grano se distribuye en el silo durante el almacenamiento. En nuestro país, Seghezzi *et al.* (1998) también reportaron un descenso significativo del PH cuando los granos recibieron $152,6$ mm en el momento previo a la cosecha, efecto que no alcanzó magnitud significativa en este experimento, pese a la ocurrencia en 2004 de abundantes lluvias durante la fase final del llenado y maduración de los granos en tres de los cuatro sitios de ensayo (Ver Fig. IV en Pág. 24)

Tabla 1.25. Coeficientes de correlación de Pearson entre el Peso Hectolítrico (PH, Kg hL⁻¹) y variables productivas y climáticas asociadas para diez ambientes de cultivo de trigo candeal en el sur bonaerense (N=10).

	Peso Hectolítrico (Kg hL ⁻¹)	Peso Mil Granos (g)	Ciclo EMaESP (días)	Rendimiento (Kg Ha ⁻¹)	Proteína (%)
Peso Mil Granos (g)	0,80**	--	--	--	--
EMaEsp	0,32	0,73*	--	--	--
Rendimiento	0,51	0,54	0,47	--	--
Proteína	-0,17	-0,64*	-0,60†	-0,54	--
T° 1ºquin Dic	-0,74*	-0,80**	-0,74*	-0,52	0,28
T° llenado	-0,73*	-0,86**	-0,81**	-0,72*	0,48

*, ** Significativas con $P \leq 0,05$, y $P \leq 0,01$, respectivamente.

Un Análisis de Sendero determinó que la relación hallada entre la temperatura media de la primera quincena de diciembre y el PH en los distintos ambientes operó principalmente por la vía indirecta, a través de la influencia que dicha temperatura ejerció sobre el PMG, y sobre la relación de aspecto A/L (negativas), y el contenido proteico del grano (positiva) (Tabla 1.26). Así, por cada °C de aumento de la temperatura el PMG se redujo 2,8 g, y el PH, 1,1 Kg hL⁻¹ ($P < 0,01$). Estos resultados permitieron explicar los comparativamente bajos valores de PH observados en las campañas 2004 y 2006, donde para dicha etapa se registraron, en promedio, 3,5°C más que para el mismo período en 2005. Se ha determinado que cuando las temperaturas superan los 18 - 22°C, la duración de la síntesis y la deposición del almidón en el grano se reduce (Spiertz *et al.*, 2006) debido a que las enzimas involucradas en dicho proceso son sensibles a las altas temperaturas (Jenner, 1994). Similares observaciones fueron informadas por Donelson *et al.* (2002), quienes puntualizaron que las condiciones ambientales que imperan durante el llenado, como altas temperaturas y/o sequía, pueden determinar importantes cambios en el grano que impactan de manera indirecta sobre el peso hectolítrico. En contraposición, Taghouti *et al.* (2010) en Marruecos, observaron que los

valores de PH más altos se dieron bajo condiciones de sequía y altas temperaturas.

Tabla 1.26. Efectos directos e indirectos de la temperatura media de la 1^{ra} quincena de diciembre (°C) sobre el peso hectolítrico del grano de trigo candeal (PH, Kg hL⁻¹) en diez ambientes del sur bonaerense.

Efecto	Vía	Coeficientes	<i>p</i> -valor
T° 1 ^o quin. Dic	Directa	0,33	
	PMG	- 1,03	
	PROT	0,16	
	A/L	- 0,19	
<i>r</i> total		- 0,74	0,0154

Cuando se compararon, por ejemplo, los valores de PMG y PH en los ambientes 7 y 9, donde la temperatura media durante la primera quincena de diciembre fue de 16,7°C y 22,4°C, respectivamente, se observó que mientras en el ambiente más cálido el PMG se redujo en promedio un 30%, el PH disminuyó solo un 4,5%, concordando con las observaciones realizadas por Abbate *et al.* (2001) para dos variedades francesas y una variedad argentina de trigo pan. El concomitante aumento observado en el contenido proteico de los granos, asociado a la disminución del PMG, tuvo un efecto positivo sobre el PH atenuando significativamente su disminución (Tabla 1.27). Se ha puntualizado que debido a que la proteína se ubica en los espacios existentes entre los gránulos de almidón, incrementos en el contenido proteico del grano aumentan la densidad del mismo, incrementando así el PH (Pushman y Bingham, 1975). No obstante, desde el llenado de granos hasta la madurez, un régimen térmico por encima del promedio puede impulsar un incremento en la proteína total y reducir el peso específico de los granos, especialmente si el estrés por calor ocurre en conjunción con un estrés hídrico Blumenthal *et al.*, 1995; Daniel y Triboi 2002; Flagella *et al.*, 2010).

Tabla 1.27. Influencia de la temperatura media de la primera quincena de diciembre (°C) sobre el peso hectolítrico (PH, Kg hL⁻¹), el peso de mil granos (PMG, g) y el porcentaje de proteína del grano en dos ambientes de cultivo con condiciones de temperatura contrastantes.

Ambiente	T° 1 ^{ra} quin.Dic	PH (Kg hL ⁻¹)	PMG (g)	Proteína (%)	Aspecto A/L
La Dulce en 2005 (A7)	16,7	81,8	54,3	12,3	0,44
Cabildo en 2006 (A9)	22,4	78,2	37,8	15,3	0,38
Variación (%)	5,7°C	- 4,5	- 30,0	+ 25	- 13,6

1.5.3.2. INFLUENCIA DEL GENOTIPO Y LAS INTERACCIONES GENOTIPO - AMBIENTE

Como se mencionó en un párrafo precedente los efectos de G y las interacciones GA dieron cuenta, respectivamente, por el 28,8% y el 7,5% de la variación de este atributo ($P < 0,0001$). La baja contribución de las interacciones sugiere un comportamiento relativamente estable de los genotipos a través de los distintos ambientes, en sintonía con lo reportado por la bibliografía en el tema (Mortarini *et al.*, 2004; Finlay *et al.*, 2007, Clarke *et al.*, 2009; Abbate *et al.*, 2010; Gómez, 2011; Seghezzo *et al.*, 2011; Kaya y Akçura, 2014).

Entre los genotipos participantes el PH fluctuó entre un mínimo de 74,9 Kg hL⁻¹ (Cariló) y un máximo de 80,1 Kg hL⁻¹ (Platino). De los cinco, Facón fue el que cubrió el rango de valores más estrecho (entre 76,0 Kg hL⁻¹ y 82,6 Kg hL⁻¹), y Topacio, el más amplio, observando las mayores fluctuaciones entre localidades dentro de una misma campaña (entre 67,4 Kg hL⁻¹ y 80,3 Kg hL⁻¹ en 2006), y entre campañas para una misma localidad (entre 67,4 Kg hL⁻¹ y 80,4 Kg hL⁻¹ en Barrow en 2006 y 2005, respectivamente) (Fig. 1.10).

Platino y Esmeralda, los dos materiales de PMG más alto, y Facón de bajo PMG, en segundo plano, se destacaron consistentemente con los valores más altos de PH, en tanto que Cariló y Topacio, de bajo PMG y ciclo más tardío que las anteriores, exhibieron los valores más bajos ($P \leq 0,001$) (Tabla 1.28). El PH de estas últimas fue, en promedio, un 4,6% inferior al de las variedades más precoces (79,8 vs 76,1Kg hL⁻¹; $F_{CONTRASTE} = 340,81$, $P \leq 0,0001$), presentando ambas amplia dificultad para alcanzar las exigencias que impone el Grado 1 del estándar (PH > 78 Kg hL⁻¹) en la mayoría de los ambientes. Cariló, en particular, se ubicó última en el ranking en nueve de los diez ambientes, pudiendo alcanzar los requerimientos del Grado 1 solo en 2005 (en los tres sitios), año en el que las bajas temperaturas del llenado fueron favorables para que los materiales de ciclo más tardío alcanzaran valores de PMG cercanos al potencial de la variedad. Mientras tanto, las dos variedades de ciclo más precoz (Esmeralda y Facón), junto con Platino, cumplieron con dicha exigencia como mínimo en ocho de los diez ambientes de estudio. Un análisis de regresión simple reveló que el largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP) respondió en forma aislada por el 97% de la variación observada en los niveles medios de PH de las variedades en estudio ($b_{EMaESP} = 85,67$; $b_{EMaESP}^2 = -0,43$; $R^2_{Aj.} = 0,94$; $F = 33,43$; $P \leq 0,0290$). Dettori *et al.* (2011) para un set de 46 genotipos de *durum* evaluados en un ensayo multi-ambiental conducido en Italia y Méjico durante dos años consecutivos, también observaron valores de PH significativamente más bajos entre materiales de espigazón más tardía. Mientras tanto, en nuestro país, Polidoro *et al.* (2004) no hallaron diferencias significativas de PH entre variedades de trigo pan de ciclo largo y corto.

Considerados en forma conjunta el largo del ciclo EMaESP y el PMG respondieron por el 65% de la variación del PH de los genotipos a través de los diez ambientes de estudio ($b_{EMaESP} = -0,25$; $b_{PMG} = 0,49$; $R^2_{Aj.} = 0,63$; $F = 43,0$ $P \leq 0,0001$).

Tabla 1.28. Valores medios de Peso Hectolítico (Kg hL⁻¹) de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense entre 2004 y 2006.

	Sitio	Ambiente	Cariló	Esmeralda	Facón	Platino	Topacio	Media Ambiente	DMS ^(c)
2004	Barrow	1	<u>72,5</u> ^(a)	78,9 ^(b)	76,0	78,1	73,9	75,9	0,96
	Cabildo	2	<u>75,4</u>	79,7	79,3	79,7	77,3	78,3	1,14
	La Dulce	3	<u>74,5</u>	79,8	78,2	78,7	77,2	77,7	0,36
	Bordenave	4	<u>73,1</u>	79,6	78,4	79,9	76,6	77,5	1,14
2005	Barrow	5	<u>78,3</u>	80,5	80,8	80,8	80,4	80,1	1,34
	Cabildo	6	<u>78,0</u>	82,4	81,3	81,2	80,0	80,6	0,62
	La Dulce	7	<u>78,3</u>	83,6	82,6	83,6	80,8	81,8	0,47
2006	Barrow	8	68,7	72,0	76,1	75,2	<u>67,4</u>	71,9	6,12
	Cabildo	9	<u>72,7</u>	79,5	79,2	80,8	78,4	78,1	2,79
	La Dulce	10	<u>77,7</u>	83,8	81,3	83,3	80,3	81,3	1,10
Media Genotipos			<u>74,9</u>	80,0	79,3	80,1	77,2	78,3	0,38

^(a) Surayado, valor más bajo de PH del ambiente ^(b) En negrita, valor más alto de PH del ambiente.

^(c) Diferencia Mínima Significativa ($P \leq 0,05$).

En lo que respecta al comportamiento de las variedades, el ANOVA triple determinó que entre las interacciones GA, la mayor contribución le correspondió a la interacción GxLxY (4,1%), seguida por GxY (2,2%) y GxL (1,8) (Tabla 1.23) lo cual se corresponde con lo reportado por Michelena *et al.* (1995), Rharrabti *et al.* (2003), y Clarke *et al.* (2009). En sintonía con la baja contribución de las interacciones GxL, las variedades observaron un comportamiento consistente a través de las distintas localidades, donde quedaron en evidencia las buenas condiciones de La Dulce y Cabildo para el logro de valores altos de PH, indistintamente del ciclo de la variedad. En Barrow, en tanto, se observó mayor inestabilidad del PH entre años, particularmente en el caso de las variedades de ciclo más tardío (Fig. 1.10).

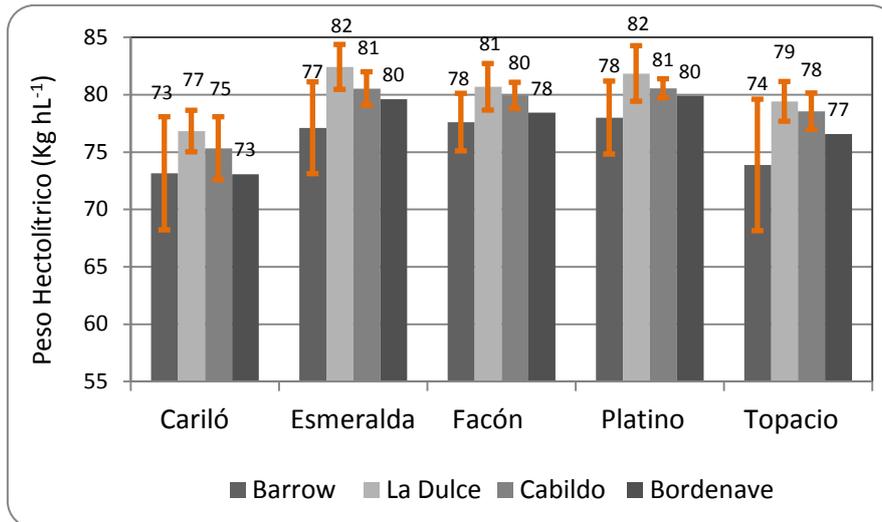


Figura 1.10. Peso hectolítrico (Kg hL^{-1}) de cinco variedades de trigo candeal en cuatro localidades de cultivo del sur bonaerense (Promedio de tres años). (Las barras indican el desvío estándar respecto de la media).

En el biplot GGE utilizado para explorar la existencia de un patrón de respuesta de los genotipos al ambiente, las dos primeras componentes principales explicaron el 96,4% de la suma de cuadrados de $G + GA$ ($P \leq 0,001$) (Figura 1.11). La existencia de una muy alta correlación entre los coeficientes genotípicos y las medias de PH ($r = 0,99$, $P \leq 0,0001$) permite suponer que las proyecciones genotípicas sobre la CP1 del biplot reflejaron con alta precisión el ranking promedio de PH de los materiales, *i.e.*, Platino = Esmeralda > Facón > Topacio > Cariló. De este modo, los dos genotipos de ciclo más corto, Esmeralda y Facón, y Platino, de ciclo corto-intermedio, se separaron en el sentido del sector positivo de la CP1, mientras que los materiales más tardíos, Cariló y Topacio, lo hicieron hacia el sector negativo. Entre los primeros, los de PMG más alto, Esmeralda y Platino, alcanzaron mayores scores sobre la CP1 que Facón, de menor PMG pero con un formato de grano más redondeado (> A/L).

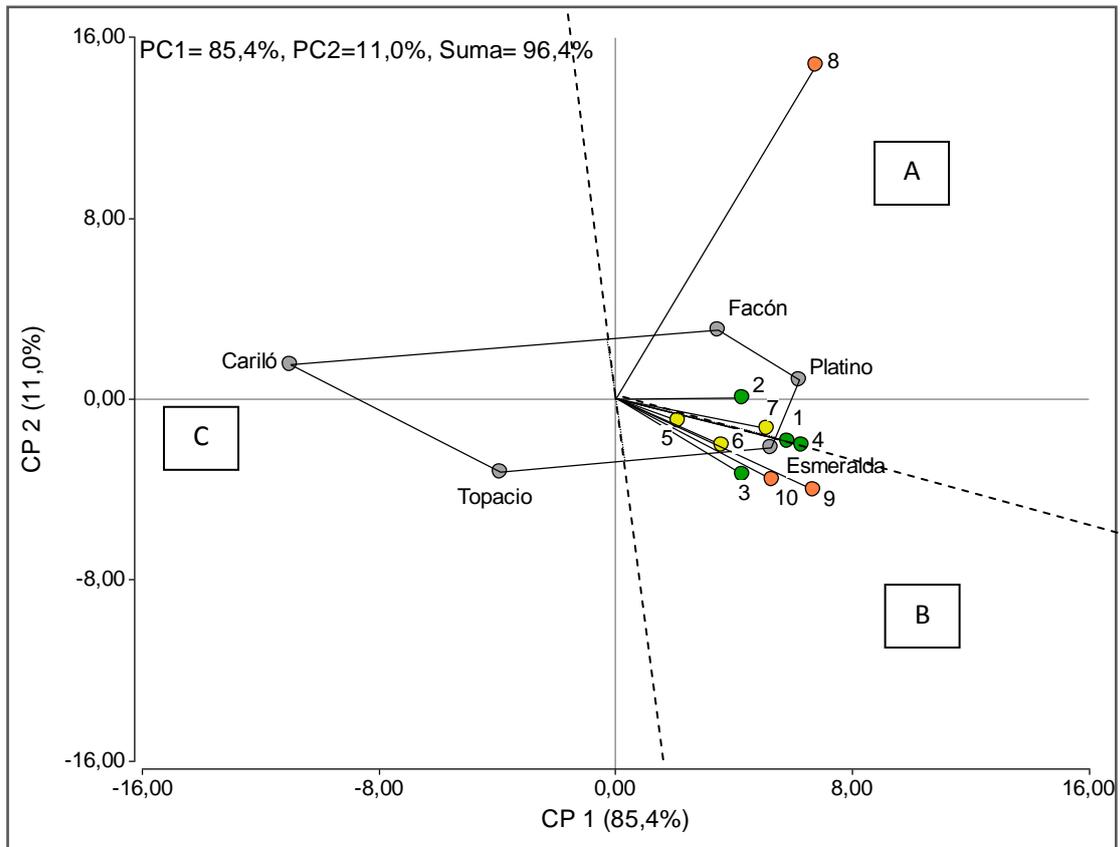


Figura 1.11. Biplot GGE para el Peso Hectolítico del grano de cinco genotipos de trigo candeal evaluados en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006. (Ambientes 1-5-8: Barrow; 2-6-9: Cabildo; 3-7-10: La Dulce) (Círculos verdes, amarillos y naranjas: representan a las campañas 2004, 2005 y 2006, respectivamente).

Cuando las variedades se agruparon según su PMG característico, sin considerar el largo del ciclo, el PH de las dos con PMG más alto (Esmeralda y Platino) resultó significativamente mayor al de las de menor PMG (Facón, Topacio y Cariló), con $80,1 \text{ Kg hL}^{-1}$ y $77,1 \text{ Kg hL}^{-1}$, respectivamente ($F_{\text{CONTRASTE}} = 205,08$, $P \leq 0,0001$). No obstante, si bien para el conjunto de ambientes del ensayo el PH de las variedades se mostró significativamente correlacionado con el PMG ($r = 0,70$, $P \leq 0,001$, $N = 50$), la correlación entre las medias genotípicas entre PH y PMG no alcanzó a ser significativa ($r = 0,58$, $P > 0,20$) en sintonía con lo reportado por Pushman y Bingham (1975), Troccoli y di Fonzo (1999), Rharrabti *et al.* (2003), Oak *et al.* (2004), y Mohammed *et al.*

(2012), quienes observaron falta de una asociación significativa entre ambas variables. Al respecto, Ghaderi y Everson (1971) puntualizaron que la alta correlación observada entre PH y PMG para 30 genotipos de trigo blando de invierno evaluados por dos años consecutivos en siete localidades de Canadá ($r=0,75^{**}$) era debida a efectos ambientales, sugiriendo que los factores que tienen influencia sobre el peso del grano, también la tienen sobre el PH. La baja correlación genética (varietal) hallada entre estos dos atributos, les permitió suponer a estos autores, que al menos para el set de materiales estudiados, no existían genes en común controlando la expresión de ambos atributos. Por su parte, Clarke *et al.* (2009) para ocho poblaciones de trigo *durum* cultivadas en un ensayo multi-ambiental en Canadá reportaron que las correlaciones fenotípicas y genotípicas entre PH y PMG eran variables, oscilando entre ligeramente negativas y fuertemente positivas, siendo la relación promedio, de signo positivo. Troccoli y di Fonzo (1999) señalaron que las diferencias de PH observadas para 16 cultivares comerciales de trigo *durum* de Italia podían ser atribuidas a diferencias en la eficiencia de “empaquetamiento”, más que a la densidad o al peso de los granos. Determinaron, además, que tales diferencias se relacionaban con la forma de los granos, reportando una correlación negativa significativa del PH con el largo de los granos ($r= - 0,61$), y positiva y significativa, tanto con el cociente entre el ancho y el largo, como con el factor de formato circular ($r= 0,51$ y $r= 0,59$). Según estos autores es dable esperar altos PH en cultivares de trigo *durum* con granos cortos y redondeados, o con una alta relación A/L. En sintonía con estas observaciones Gadheri *et al.* (1971) determinaron una correlación negativa significativa entre el PH y el cociente entre el largo y el ancho del grano (L/A). Por su parte, en nuestro país, González (2008), en un estudio donde se evaluaron cinco cultivares de trigo pan y uno de candeal de origen nacional con distinto peso y forma de grano, concluyó que cuando los granos son más redondos, disminuye la porosidad intergranaria y aumenta el PH ($r= - 0,88^{**}$).

Para el set de cultivares incluidos en este ensayo, la variable de aspecto del grano, A/L, conjuntamente con EMaESP, asociada al ciclo del cultivar, dieron cuenta por el 100% de la variación de los valores medios de PH de los cultivares ($b_{EMaESP} = 83,91$; $b_{EMaESP}^2 = -0,42$; $b_{A/L} = -21,04$; $F=10502,52$; $P \leq 0,01$), lo que permitió explicar los comparativamente altos valores de PH de Facón, pese a su bajo PMG, y la diferencia de PH entre sendas variedades de ciclo más tardío (Tabla 1.29).

Tabla 1.29. Valores medios de peso hectolítrico (PH, Kg hL⁻¹), largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP, días), peso de mil granos (PMG, g), y cociente entre el ancho y el largo del grano (A/L), de cinco genotipos de trigo candeal a través de diez ambientes de cultivo del sur bonaerense.

Genotipos ^a	PH (Kg hL ⁻¹)	EMaESP (días)	PMG (g)	A/L
Cariló	74,9 d ^b	103,0a	43,4c	0,40b
Platino	80,1 a	100,5b	45,2b	0,40b
Esmeralda	80,0 a	96,5c	47,8a	0,39b
Facón	79,3 b	96,4c	43,1c	0,42a
Topacio	77,2 c	101,0a	42,7c	0,43a
Media	78,3	99,7	44,5	0,41
DS ^c	2,2	2,8	6,9	0,02

^(a) Promedio de tres repeticiones en diez ambientes

^(b) Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

^(c) Desvío Estándar

Según se desprende del biplot de la Fig. 1.11 en nueve de los diez ambientes del ensayo, los genotipos observaron un comportamiento proporcional a las variaciones del ambiente, conforme lo revelan los ángulos agudos que formaron los respectivos vectores ambientales entre sí. En tanto, en el ambiente 8 (Barrow de 2006), cuyo vector se separó formando un ángulo muy abierto respecto del resto, algunos cultivares exhibieron un comportamiento distinto al esperado, dando como resultado interacciones con cambio de rango (Yan *et al.*, 2000). Es altamente probable que las elevadas temperaturas con vientos desecantes, y la escasez de lluvias durante el mes central del llenado,

hayan operado como disparadores de dicha respuesta, en sintonía con lo reportado por Thomason y Phillips (2006), quienes puntualizaron que las interacciones de mayor magnitud suelen darse en sitios donde prevalecen elevadas temperaturas luego de la espigazón.

Las altas temperaturas de la primera quincena del mes de diciembre no solo impactaron sobre el PMG, y a través de él, sobre el PH, sino que según un análisis de regresión múltiple paso a paso, respondieron además por el 60% de la variación de los coeficientes de correlación entre PH y PMG entre ambientes ($b= 0,12$, $R^2 A_j= 0,55$, $F= 11,80$, $P<0,01$) (Tabla 1.30 y Figura 1.12).

Tabla 1.30. Valores medios de peso hectolítrico (PH, Kg hL⁻¹), y temperatura de la primera quincena de diciembre (°C), y correlaciones entre el peso hectolítrico (PH) y el peso de mil granos (PMG) en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense (N=5).

Año	Ambiente	Peso Hectolítrico (Kg hL ⁻¹)	T° 1ra.quin Dic. (°C)	r PH vs PMG
2004	1	75,9	21,2	0,51
	2	78,3	20,9	0,86*
	3	77,7	20,2	0,53
	4	77,5	21,5	0,76
2005	5	80,1	17,7	-0,29
	6	80,6	18,2	0,55
	7	81,8	16,5	0,27
2006	8	71,9	21,6	0,78
	9	78,1	22,4	0,95**
	10	81,3	19,2	0,66

*, **, Significativas con $P \leq 0,05$, y $0,01$, respectivamente.

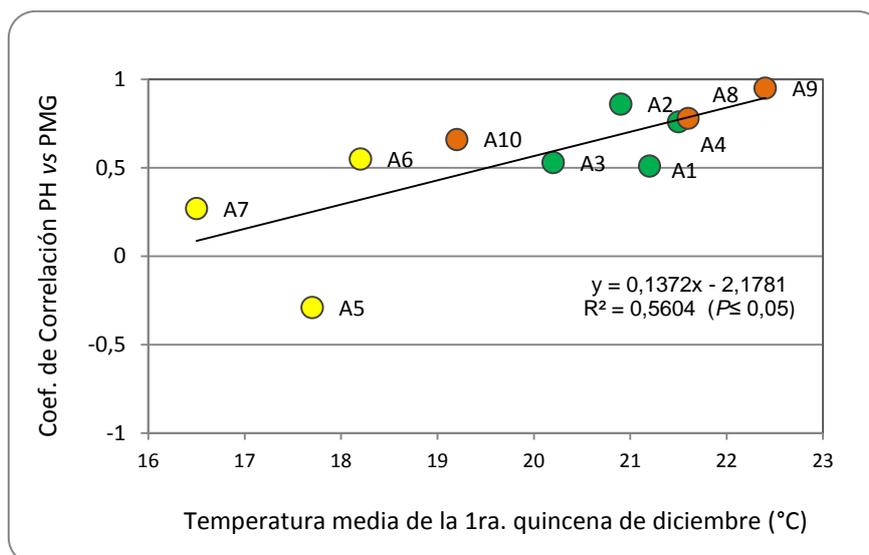


Figura 1.12. Efecto de la temperatura media de la primera quincena de diciembre (°C) sobre la correlación existente entre el peso hectolítrico (PH, Kg hL⁻¹) y el peso de mil granos (PMG, g) en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense (Ambientes 1-5-8: Barrow; 2-6-9: Cabildo; 3-7-10: La Dulce) (Círculos verdes, amarillos y naranjas: representan a las campañas 2004, 2005 y 2006, respectivamente)

Según este modelo, conforme la temperatura de la última fase del llenado aumentó, la asociación entre PMG y PH se hizo cada vez más fuerte, haciendo posible que en algunos ambientes se alcanzaran valores de PH satisfactorios con PMG relativamente bajos. En cambio, en aquellos ambientes donde en diciembre predominaron temperaturas más frescas, y el llenado de granos pudo completarse sin inconvenientes, el PH se hizo menos dependiente del PMG, exhibiendo correlaciones con el mismo de baja magnitud, cercanas a cero. Al respecto, Clarke *et al.* (2009) puntualizaron que la variabilidad en la relación entre PH y el PMG probablemente se deba a la interacción de factores genéticos y ambientales asociados a distintos estreses bióticos o abióticos, que influyen el llenado del grano. Ambas variables tenderán a estar positivamente correlacionadas donde los estreses bióticos y abióticos causan achuzamiento y reducción del peso del grano, pero no en ambientes favorables con adecuada disponibilidad de agua y baja presión de enfermedades.

1.5.3.2.a. ANÁLISIS DE LAS INTERACCIONES GENOTIPO - AMBIENTE

En virtud de la baja contribución de las interacciones, el ranking en el que se ordenaron los genotipos a través de los distintos ambientes experimentó escasas modificaciones, que en la mayoría de los casos significaron variaciones en la magnitud de las diferencias, o bien un desplazamiento de no más de dos lugares en el orden de PH de la variedad involucrada. Queda exceptuado de esta consideración el ambiente 8, donde como ya se mencionó en párrafos precedentes, algunos cultivares exhibieron una respuesta no proporcional a los cambios del ambiente.

Dado que todos los genotipos exhibieron un comportamiento extremo en alguno de los ambientes de estudio, en el biplot GGE, todos ellos se ubicaron en uno de los vértices del polígono envolvente, el que quedó subdividido en tres sectores, dos de los cuales retuvieron a los diez ambientes del estudio (Fig. 1.11).

En el sector A, donde exhibieron su mejor performance las variedades Platino y Facón, quedaron contenidos los ambientes 2 (Cabildo 2004), 7 (La Dulce 2005) y 8 (Barrow 2006). Las condiciones agroclimáticas que imperaron en estos ambientes fueron altamente contrastantes, en especial entre los dos últimos; en ellos se dieron los valores más extremos de PH del ensayo, con 81,8 Kg hL⁻¹ para el ambiente 7, y 71,9 Kg hL⁻¹ para el ambiente 8. En este último, la temperatura media del llenado se ubicó 3°C por encima a las del ambiente 7 (19,8°C vs 16,7°C) y las precipitaciones del mes central del llenado, fueron ca. 90% inferiores (13mm vs 103mm). En el ambiente 2, en tanto, el PH se ubicó en un valor intermedio de 78,3 Kg hL⁻¹.

Conforme lo revela la ubicación en ángulo agudo de los vectores respectivos, en los ambientes 2 y 7 los genotipos exhibieron un ranking similar de PH, con Facón aproximándose a los valores de PH de Platino y Esmeralda (0,4 y 1 Kg hL⁻¹ de diferencia respecto del promedio de ambas, respectivamente).

En el ambiente 8, en tanto, se dieron los cambios más notorios en la respuesta de los cultivares (alto score sobre la CP2), con Facón superando levemente a Platino ($76,1 \text{ Kg hL}^{-1}$ vs $75,2 \text{ Kg hL}^{-1}$), y ampliamente a Esmeralda ($76,1 \text{ Kg hL}^{-1}$ vs $72,0 \text{ Kg hL}^{-1}$), que en este ambiente presentó el PH más bajo de todo el ensayo (72 Kg hL^{-1} vs 81 Kg hL^{-1} para los nueve ambientes restantes, en promedio). En este ambiente, las abundantes de lluvias caídas durante el mes de octubre (155 mm) en coincidencia con la etapa de máximo crecimiento de la espiga, seguidas por un muy bajo aporte hídrico en noviembre (11,3 mm), y elevadas temperaturas con vientos desecantes en la primera quincena de diciembre ($21,6^{\circ}\text{C}$), pueden haber acelerado la senescencia de las plantas, acortando drásticamente el llenado. Estas condiciones determinaron una reducción severa del PMG, del orden del 42% en promedio, y una disminución del PH del 12%, respecto del ambiente 7, el más favorable de los diez para ambas variables. Abbate *et al.* (2001) para tres cultivares de trigo pan también observaron que una limitación en la duración del llenado afectaba en mayor medida al PMG que al PH. En el caso de la variedad Facón, no obstante, el llenado de granos se vio menos afectado que en el resto, alcanzando el PH más alto de dicho ambiente (Tabla 1.31). Estos resultados se hallan en sintonía con los resultados informados por González (2008) quien observó que entre seis cultivares de trigo, el de grano con menor relación L/A (1,94), y forma más esférica (Esf.=56%), resultó menos afectado en su PH frente a limitaciones de fuente durante el llenado, respecto de una situación testigo. Conforme puede apreciarse en la Tabla 1.31, bajo las severas condiciones que imperaron en el ambiente 8, Facón experimentó la menor reducción del PMG (- 34,8%), y la más baja variación porcentual en la relación de aspecto del grano A/L (- 6,8%) respecto del ambiente 7, lo cual, junto a su ciclo precoz, pudo ser la causa de la baja disminución en el PH (- 7,9% vs - 13,2% de los cuatros genotipos restantes, en promedio).

Conforme lo revela su ubicación en el cuadrante opuesto, la variedad Topacio, debido a su ciclo más tardío, resultó la más desfavorecida en este ambiente ($67,4 \text{ Kg hL}^{-1}$ vs $73,0 \text{ Kg hL}^{-1}$ del resto de las variedades, en promedio),

donde sufrió el cambio más notorio en la relación de aspecto A/L respecto del ambiente 7 (-33,3%), compatible con un achuzamiento del grano. Aquí Topacio experimentó el cambio de ranking más importante, pasando de estar entre las primeras posiciones, en el ambiente 5 por ejemplo, a última del ranking en el ambiente 8 (Tabla 1.29 y Tabla 1.31).

Tabla 1.31. Valores medios de Peso de mil granos (PMG, g), Peso Hectolítrico (PH, Kg hL⁻¹), relación de aspecto del grano A/L, y variación porcentual de los tres (%Δ), para cinco genotipos de trigo candeal cultivados dos ambientes contrastantes del sur bonaerense (A7: La Dulce 2005 y A8: Barrow 2006)

Genotipo	Peso de Mil Granos (g)			Peso Hectolítrico (Kg hL ⁻¹)			Relación de aspecto del grano A/L		
	A 7	A 8	%Δ	A 7	A 8	% Δ	A 7	A 8	% Δ
Esmeralda	59,1	30,7	- 48,0	83,6	72,0	- 13,9	0,41	0,38	- 7,3
Platino	54,3	31,2	- 42,5	83,6	75,2	- 10,1	0,39	0,34	-12,8
Facón	51,8	33,8	- 34,8	82,6	76,1	- 7,9	0,44	0,41	- 6,8
Topacio	51,1	30,4	- 40,6	80,8	67,4	- 16,5	0,54	0,36	- 33,3
Cariló	55,0	30,4	- 44,7	78,3	68,7	- 12,2	0,44	0,46	+ 4,5
Promedio	54,3	31,3	- 42,1	81,8	71,9	- 12,1	0,40	0,40	- 11,1

En el cuadrante B del biplot, que tuvo a Esmeralda como genotipo ganador, quedaron retenidos los siete ambientes restantes (1, 3, 4, 5, 6, 9 y 10) (Fig. 1.11), donde los materiales observaron un ranking similar de PH, conforme lo revelan los ángulos agudos que formaron los vectores respectivos. Un análisis de regresión múltiple determinó que para este grupo de ambientes el PMG conjuntamente con %PROT y EMaESP explicaron el 61% de la variación de PH entre las variedades ($b_{PMG}= 0,41$; $b_{PROT}= 0,72$; $b_{EMaESP}= - 0,16$; $R^2A_j.= 0,57$; $F=15,86$; $P\leq <0,0001$), corroborando resultados previos reportados en la bibliografía, que dan cuenta del impacto de estos atributos sobre el PH (Ghaderi *et al.* 1971; Pushman y Bingham, 1975; Dettori *et al.*, 2011).

1.5.3.2.b. ESTABILIDAD EN LA RESPUESTA DE LOS GENOTIPOS AL AMBIENTE

De los cinco genotipos, Topacio fue el que mostró la mayor sensibilidad frente a las variaciones del ambiente, conforme lo revelan los tres parámetros utilizados para caracterizar la estabilidad (Tabla 1.32). Fue además, según se mencionó en la sección precedente, el material que experimentó el cambio más notorio de ranking de PH (> contribución a la interacción GA), pasando de estar primero, junto con Platino, Esmeralda y Facón, en Barrow en 2005 (ambiente 5), a último en la misma localidad al siguiente año (ambiente 8) (Ver Tabla 1.28 en Pág. 109). En tanto Platino, y en segundo lugar Facón, registraron las menores variaciones de PH entre ambientes y la mayor estabilidad, exhibiendo valores altos de PH en la mayoría de ellos, y un comportamiento satisfactorio aún bajo condiciones de calor y sequía donde el resto de los materiales, incluido Esmeralda, experimentaron disminuciones considerables de su PH. Respecto de este último, exceptuando Barrow en 2006, su comportamiento en el resto fue destacado y altamente estable.

Tabla 1.32. Valores medios de Peso Hectolítrico (Kg hL^{-1}), y parámetros estimadores de estabilidad para cinco genotipos de trigo candeal cultivados en diez ambientes del sur bonaerense.

Genotipo	Peso Hectolítrico (Kg hL^{-1})	e_1^a	e_2^b	b_i^c	CV ^d (%)
Cariló	74,9	-11,01	1,54	1,04	4,3
Esmeralda	80,0	5,24	-2,17	1,09	4,1
Facón	79,3	3,45	3,05	0,71*	2,8
Platino	80,1	6,2	0,84	0,81*	3,1
Topacio	77,2	-3,87	-3,26	1,35**	5,3
Promedio	78,3	---	---	1,0	3,9

(a,b) Scores sobre la CP1 y CP2 del biplot GGE, respectivamente; (c) Coeficiente de la regresión;

(d) Coeficiente de Variación; *, ** Difiere estadísticamente de la unidad, con $P < 0,05$ y $P < 0,01$, respectivamente.

La variedad Cariló también observó un comportamiento estable, aspecto que en este caso podría considerarse poco auspicioso, ya que por causa de su

mayor longitud de su ciclo, estuvo asociado a niveles de PH consistentemente bajos. Teniendo en cuenta su alto potencial de rendimiento, que la erige como una opción interesante desde el punto de vista agronómico, para el logro de niveles satisfactorios de PH su cultivo debiera recomendarse para áreas donde prevalecen temperaturas templadas a bajas y buena disponibilidad hídrica durante el llenado.

1.6. CONCLUSIONES PARCIALES

De los resultados presentados en este capítulo se concluye que:

- Para la región bajo estudio la calidad del grano de trigo candeal, medida a través del peso hectolítrico, la vitreosidad y el contenido de proteína, fluctuó ampliamente en respuesta a las variaciones impuestas por el ambiente, los genotipos y las interacciones GA, ubicándose en la mayoría de los casos dentro del rango impuesto por la norma comercial de este cereal.
- Para los tres atributos de calidad evaluados, la contribución relativa de los efectos del ambiente fue mayor que la atribuida a los efectos del genotipo y las interacciones GA, lo que pone en evidencia la importancia del impacto del sitio geográfico y/o del clima sobre las características tecnológicas del trigo candeal.
- En lo que concierne a los efectos del ambiente, para VIT y PH se determinó una contribución similar para los efectos de la localidad y el año, y un menor aporte de las interacciones entre ambos; en el caso del contenido de proteína los efectos asociados a la localidad fueron superiores a los del año. Ello implica que para el logro de una calidad estable a través del tiempo, la industria deberá necesariamente recurrir a la mezcla, a fin de asegurarse la provisión de materia prima uniforme.
- Respecto de las localidades, Cabildo en la región del Sudoeste Semiárido, consistentemente exhibió los niveles de proteína más altos, con valores de PH, y vitreosidad también satisfactorios y estables entre campañas, lo que podría considerarse una fortaleza para la región en virtud de los menores niveles de rendimiento que la caracterizan.

- En lo que hace a la región del Centro Sur, La Dulce se destacó con valores consistentemente altos de PH, rubro en el que Barrow mostró dificultad para satisfacer las exigencias impuestas por el Grado 1 de la norma comercial, e inconsistencia entre años. Esta última localidad, en contrapartida, los tres años ostentó los niveles más altos de vitreosidad, aún en los casos en que la proteína del grano se ubicó en el rango de valores intermedios.
- Las diferencias de vitreosidad, proteína y/o peso hectolítrico observadas entre localidades pertenecientes a la misma subregión, en algunas de las campañas fueron mayores a las existentes entre localidades pertenecientes a diferentes subregiones. Esto por un lado podría proporcionarle a la industria localizada en una determinada región, un espectro de calidades más amplio a partir del cual confeccionar sus mezclas en la búsqueda de una calidad de materia prima estable, pero implica, en contrapartida, la necesidad de aplicar tecnologías de manejo sitio-específicas que permitan a los productores satisfacer las exigencias mínimas de calidad que plantea la industria.
- El ciclo de la variedad tuvo un impacto significativo sobre los tres atributos del grano analizados, y/o sobre la estabilidad en la respuesta de los materiales frente a las variaciones del ambiente. De los tres, el peso hectolítrico fue el más afectado por el largo del ciclo, por la estrecha vinculación existente entre el mismo, el PMG, y el escenario térmico que prevalece durante el llenado de granos, que habitualmente resulta menos favorable para las variedades que deben completar dicha etapa más tardíamente, cuando las temperaturas tienden a ser más elevadas. En los ambientes donde las condiciones de temperatura y humedad durante el llenado fueron extremas, un formato de grano más redondeado ($> A/L$) se presentó, *a priori*, como una característica genotípica favorable, que permitió reducir el impacto de la disminución del PMG sobre el PH del grano.

- En lo que respecta al porcentaje de proteína la precocidad fue un factor clave para el logro de niveles proteicos satisfactorios y estables en el tiempo, en virtud de la ventaja que representa el hecho de que la mayor parte del llenado transcurra en un momento en el que las temperaturas son aún moderadas. En el caso de esta variable fue posible observar, por un lado, respuestas de las variedades proporcionales a las variaciones del ambiente (vinculadas a la longitud de su ciclo, al rendimiento y/o al tamaño característico de grano), y por el otro, respuestas menos predecibles que se hicieron evidentes bajo condiciones severas de estrés hídrico y altas temperaturas, y que podrían estar relacionadas con diferencias genotípicas en la dinámica de partición del nitrógeno hacia el grano.

- En lo que concierne a la vitreosidad, un alto PMG y un nivel proteico elevado fueron requisitos claves que les proporcionaron a las variedades mayor tolerancia frente a la ocurrencia de condiciones predisponentes para la pérdida de vitreosidad, en tanto que el impacto del ciclo de la variedad varió en función del momento de ocurrencia de las precipitaciones.

- De los tres atributos en estudio, el peso hectolítrico fue el único donde la componente genotípica prevaleció por sobre la componente de interacción, lo que se reflejó en una alta estabilidad en la performance de los genotipos entre ambientes. Ello determinó que, en tanto las variedades con alto PMG y/o ciclo corto exhibieron niveles satisfactorios de PH en la mayoría de los ambientes, en el caso de las variedades de ciclo más tardío, ello solo fue posible cuando las temperaturas medias del llenado fueron moderadas a bajas.

- De los cinco genotipos evaluados, Topacio se presentó como el más sensible a las variaciones del ambiente, en tanto que los cuatro restantes tuvieron un comportamiento estable en la mayoría de los

ambientes, lo cual resulta particularmente contraproducente en el caso de Facón y Cariló, que debido a su bajo PMG y a su ciclo (precoz en la primera, y tardío en la segunda), presentaron respectivamente, valores de vitreosidad y de PH consistentemente menores a los del resto. Respecto de Cariló, teniendo en cuenta su alto potencial de rendimiento, que la erige como una opción interesante desde el punto de vista agronómico, para el logro de niveles satisfactorios de PH, su cultivo debiera recomendarse para áreas donde prevalecen temperaturas templadas a bajas durante el llenado.

- Los genotipos presentaron niveles similares de estabilidad para los tres caracteres de calidad analizados, de modo tal que aquellos que observaron un comportamiento estable para un carácter, también lo hicieron con los demás.

CAPÍTULO 2

**INFLUENCIA DEL AMBIENTE, EL GENOTIPO Y LAS INTERACCIONES
GENOTIPO-AMBIENTE SOBRE LOS ATRIBUTOS DEL TRIGO PARA
FIDEOS ASOCIADOS A LA CALIDAD DE LA SÉMOLA:**

ÍNDICE DE AMARILLO

Y

CONTENIDO Y FUERZA DE GLUTEN

2.1. INTRODUCCIÓN

Los criterios utilizados por la industria para definir la calidad de la sémola con destino a la elaboración de pasta seca varían según el país o región bajo estudio (Cubadda, 1988). En Europa por ejemplo, Alemania, Suiza y Austria se han focalizado tradicionalmente en el color, mientras que Italia ha puesto mayor énfasis en la calidad del gluten, por su influencia sobre el comportamiento de la pasta durante la cocción. Ello explica por qué, durante años, los viejos cultivares de trigo candeal argentinos, de notable fuerza de gluten y excelente calidad culinaria, tuvieron buena aceptación en el mercado italiano pese a su deficiente color (Matsuo, 1988). Más allá de estas diferencias en la preferencia, en líneas generales la industria elaboradora de pasta seca privilegia las sémolas de granulometría uniforme, color amarillo brillante, con alto contenido de gluten, el que además deberá exhibir características destacadas de fuerza y tenacidad.

2.1.1. COLOR DE LA SÉMOLA

Los consumidores valoran especialmente la pasta de color amarillo-ámbar brillante, preferida ampliamente por sobre las de color amarronado o crema. Por ello es que en trigo *durum* la concentración de pigmento amarillo es un criterio clave, tenido en cuenta en la evaluación de la calidad del grano, y de la sémola; su importancia alcanza también a la determinación del valor comercial y nutricional de la pasta como producto final (Digesù *et al.*, 2009).

El color amarillo de la sémola depende principalmente de la presencia de pigmentos carotenoides en el grano (Ficco *et al.*, 2014), y está influenciado por la tasa de extracción (Matsuo y Dexter, 1980b), las características de la molienda (Borrelli *et al.*, 2008) y la degradación oxidativa de los pigmentos por enzimas lipoxigenasas que actúan durante la molienda y el amasado (Manna *et al.*, 1998; Borrelli *et al.*, 1999). Mientras tanto, el indeseable proceso de

amarronamiento de la pasta es atribuible a la acción de enzimas peroxidasas y polifenol oxidasas, que se activan durante la etapa de elaboración y secado de la misma (Kobrehel *et al.*, 1974; Kobrehel y Gautier, 1974).

Los pigmentos carotenoides se hallan entre los pigmentos más importantes y difundidos en la naturaleza, exhibiendo estructura química variable y numerosas funciones biológicas. En las plantas, son parte de los complejos captadores de luz, están involucrados en la protección foto-oxidativa, son precursores de la hormona ácido absísico, y la fuente de color amarillo, naranja y rojo de diversas flores y frutos (Hirschberg, 2001; Della Penna y Pogson, 2006). Se reconocen dos clases diferentes de carotenoides: los carotenos, que son tetraterpenoides hidrocarbonados, y las xantófilas, que contienen uno o más grupos oxígeno (Van den Berg *et al.*, 2000). La importancia nutricional de los carotenoides para los humanos deviene principalmente de la actividad de provitamina A del β -caroteno, α -caroteno, β -criptoxantina y de otros con al menos un anillo de β -ionona no oxigenados (Zile, 1998). Además de su rol como precursores de la provitamina A, los carotenoides son compuestos antioxidantes que reducen el daño oxidativo a las membranas celulares, por su capacidad de captación de los radicales peróxido libres involucrados en ciertas enfermedades humanas, en procesos de envejecimiento celular, y en la degradación de la calidad de los alimentos (Bast *et al.*, 1996).

Los niveles de pigmentos carotenoides y de actividad de la enzima lipoxigenasa (LOX) pueden variar entre las diferentes fracciones del grano; presentan de hecho, un gradiente decreciente entre el germen, el pericarpio y el endosperma (Quaglia, 1988; Rani *et al.*, 2001). Como resultado de ello, durante la molienda una importante cantidad de estos compuestos se pierden gradualmente, dependiendo de la tasa de extracción. Con relación a la LOX, la disponibilidad de sustratos y la presencia de inhibidores naturales en la sémola (β -caroteno y α -tocoferol) condicionan la actividad enzimática. Desafortunadamente, el contenido de α -tocoferol en la sémola es muy bajo debido a que el germen, que es donde se concentra este compuesto, es la

primera porción en ser removida durante la molienda (Lintas, 1988). En la medida que la tasa de extracción molinera aumenta los niveles de enzimas oxidativas en la sémola se incrementan, crece la pérdida de pigmentos durante el procesamiento, y la pasta se torna cada vez más opaca y amarronada (Matsuo y Dexter, 1980).

La concentración de carotenoides es más alta en trigo *durum* que en trigo pan (entre 1,50 y 5,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ para el primero, y entre 0,5 y 2,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ para el segundo), como resultado de la selección genética por alta concentración de pigmento amarillo que han desarrollado los programas de mejoramiento de esta especie (Hentschel *et al.*, 2002; Fratianni *et al.*, 2005; Hidalgo *et al.*, 2006; Leenhardt *et al.*, 2006). Más del 90% de los pigmentos de trigo candeal son xantófilas; entre estas últimas alrededor de un 84,8% corresponde a luteína libre, 9,8% a los monoésteres de luteína y 5,3% a los diésteres de luteína (Lepage y Sims, 1968).

El color amarillo de la sémola es un carácter altamente heredable controlado por los efectos aditivos de entre tres y 27 genes (Clarke *et al.*, 2006) o tres QTLs (Elouafi *et al.*, 2001), con baja interacción genotipo-ambiente (Rharrabti *et al.*, 2003; Clarke *et al.*, 2006; Bilgin *et al.*, 2010; Taghouti *et al.*, 2010; Seghezzi *et al.*, 2011), y relativamente alta estabilidad de los genotipos a través de los distintos ambientes. Lee *et al.* (1976) reportaron la existencia de interacciones de relativa magnitud, y señalaron que en ambientes frescos y húmedos la heterosis tendía a ser mayor que en los cálidos y secos. Se han identificado QTLs en todos los cromosomas, excepto en el 2B, siendo el grupo de cromosomas 7 el que juega el rol más importante en la expresión del pigmento amarillo en el grano (Reimer, 2008). En el QTL 7B Pozniak *et al.* (2007) identificaron el gen Psy1-B1, que codifica la síntesis de la fitoeno sintasa, enzima crítica en el camino biosintético de los carotenoides.

En el grano de trigo los pigmentos carotenoides alcanzan su máximo valor entre los 12 y los 15 días después de la antesis, momento a partir del cual

comienzan a declinar. Hacia la madurez, el α - y el β -caroteno disminuyen sensiblemente hasta alcanzar valores muy bajos, en tanto que la luteína permanece en niveles mensurables (Graham y Rosser, 2000). Por consiguiente, estreses ambientales tales como estrés hídrico o térmico durante diferentes momentos del llenado de granos pueden afectar tanto la concentración como la composición de los pigmentos, contribuyendo a la aparición de interacciones genotipo-ambiente. También se ha señalado que el daño asociado a la ocurrencia de heladas antes de madurez fisiológica altera la completa expresión del pigmento, ocasionando pérdidas de color (Clarke *et al.*, 2006). En lo que respecta a los efectos del ambiente sobre la concentración de pigmentos del trigo, la literatura en el tema es poco clara. Por un lado Mangels (1932) reportó que las estaciones frescas con abundante humedad resultaban en concentraciones de pigmento más altas que cuando las condiciones del año eran secas y cálidas. Del mismo modo, los resultados presentados por Güler (2003) indican contenidos de pigmentos mayores en trigos *durum* regados que en los no regados. En cambio, los resultados de estudios donde la concentración de pigmento correlacionó negativamente con el peso hectolítrico (Bilgin *et al.*, 2010; Taghouti *et al.*, 2010) y con el peso de mil granos (Alvarez *et al.*, 1999; Seghezzo *et al.*, 2005; Roncallo *et al.*, 2007; Bilgin *et al.*, 2010) sugieren exactamente lo contrario. Una correlación negativa entre el peso hectolítrico o el peso de los granos con la concentración de pigmentos puede deberse a un efecto de dilución, donde el aumento de otros constituyentes del grano, tales como el almidón en los granos llenos o grandes, reduce la proporción de pigmento en el mismo. Al respecto, Hessler *et al.* (2002) reportaron que un locus en el cromosoma 5 A de un cruzamiento de trigo *durum*, relacionado con tamaño grande de grano, estaba asociado con una concentración reducida de pigmento. Por su parte, Clarke *et al.* (2006) observaron correlaciones genéticas débiles y negativas del PMG y el PH con la concentración de pigmentos, hipotetizando acerca de la existencia de otros factores que afectan a este rasgo. Estos autores citaron, además, correlaciones débiles entre la concentración de pigmento y la temperatura media del período de llenado de granos (positivas) y las precipitaciones (negativas).

Los pigmentos amarillos de la sémola o de la pasta se analizan por lo general mediante el método ICC 152 (ICC, 1990) o por el método AACC 14-50 (AACC, 2000), ambos basados en la extracción con *n*-butanol saturado en agua y subsecuente determinación espectrofotométrica a longitud de onda de 440nm con β -caroteno puro como estandar. No obstante, en el ámbito de la industria alimentaria, los instrumentos más populares utilizados para la medición del color están basados en el sistema de color-espacio L^* , a^* , b^* (CIE, Commission Internationale de l'Éclairage, 1986) debido a la rapidez de la técnica y a la buena correlación que arrojan las mediciones de reflectancia con las determinaciones químicas (Johnston *et al.*, 1983; Fratianni *et al.*, 2005; Roncallo *et al.*, 2007; Digesù *et al.*, 2009). En trigo *durum* existe evidencia que confirma que de los tres parámetros de color CIE, el índice de amarillo b^* exhibe consistentemente la correlación más fuerte con la concentración de luteína y de α y β -caroteno (Johnston *et al.*, 1983; Humphries *et al.*, 2004; Fratianni *et al.*, 2005; Roncallo *et al.*, 2007). Este índice, sin embargo, solo provee valores relativos de color, sin proporcionar información acerca de la composición porcentual de los distintos compuestos carotenoides (Digesù *et al.*, 2009).

El índice de amarillo b^* está influenciado por características genotípicas, por las condiciones ambientales y estreses durante la etapa de producción del grano, por el procedimiento utilizado en la molienda y por el tamaño de las partículas de harina y residuos de pericarpio, causados por diferencias en la dureza del grano y el contenido de humedad del mismo al momento de su molienda. (Mares y Campbell, 2001), citado por Roncallo *et al.* (2009).

2.1.2. CONTENIDO Y FUERZA DE GLUTEN

El contenido de gluten de la sémola está altamente correlacionado con el contenido de proteína del trigo (Peña, 2000), habida cuenta que alrededor de un 80% de las proteínas presentes en el endosperma del grano está representado por las proteínas formadoras de gluten, gliadinas y gluteninas,

responsables de las propiedades viscoelásticas únicas que exhiben las masas elaboradas con trigo (Shewry y Halford, 2002).

El contenido y la calidad del gluten son los parámetros más importantes que describen la calidad culinaria de la pasta y determinan su textura (D'Egidio, 1990; Novaro *et al.*, 1993). Otros estudios han señalado al contenido de proteína (o de gluten) como el principal factor vinculado a la calidad culinaria de la pasta, en tanto que a la calidad de la proteína se la consideró un factor de menor importancia (Feillet y Dexter, 1996). D'Egidio *et al.* (1990) demostraron que cuando se utilizan sistemas de secado de la pasta a bajas temperaturas (<40°C) el contenido de proteína y la fuerza de gluten revisten igual valor en la determinación de la calidad de la pasta. En cambio, para sistemas de secado a altas (<70°C) y muy altas temperaturas (<90°C) el contenido de proteína pasa a ser más importante.

La cantidad de gluten que se forma durante el proceso de mezclado de la sémola con agua y la extrusión, está por lo general estrechamente asociada al contenido proteico de la sémola (D'Egidio *et al.*, 1990, Kovacs *et al.*, 1995, Seghezzi y Molfesse, 1999, Aalami *et al.*, 2007, Flagella *et al.*, 2010, Bilgin *et al.*, 2010). La capacidad formadora de gluten por unidad de proteína en el grano, puede variar considerablemente entre genotipos y entre ambientes, y presenta una relación inversa con la fuerza de gluten (Šimić *et al.*, 2006). Para diez genotipos de trigo pan evaluados en Croacia por espacio de seis años estos autores reportaron valores entre 2,27 y 2,90 para el cociente entre el % de gluten húmedo y el % de proteína en el grano (GH/P), y una correlación negativa significativa con el Gluten Index ($r = -0,62$). En trigos hexaploides canadienses se han mencionado, asimismo, amplias diferencias de GH/P entre clases de trigo, con valores en el orden de 2,6 para trigos extra fuertes del oeste (CWES), de 2,8 para trigos rojos de primavera del oeste (CWRS) y de 3,0 para trigos blandos blancos de primavera del oeste (WSWS) (Williams, 1997). Para variedades comerciales de trigo *durum* de Argentina se han informado niveles de conversión de proteína en gluten en el rango que va

entre 2,1 y 3,0 correspondiendo los valores más bajos de GH/P a las variedades de mayor fuerza de gluten, y los más altos a las de gluten más débil (Miravalles *et al.*, 2008).

Fuerza de gluten es un término utilizado para describir la habilidad de las proteínas para formar una red de gluten satisfactoria que promueva una buena calidad culinaria. La continuidad y la fuerza de la matriz proteica formada durante el mezclado de la masa y la extrusión es importante para la determinación de las características texturales de la pasta. Los trigos de gluten fuerte, comparados con trigos de gluten débil con igual tenor de proteína, exhiben masas menos pegajosas con mejores propiedades de extrusión y superiores características texturales cuando son cocidas (Dexter y Matsuo, 1978; Autran *et al.*, 1986; D'Egidio *et al.*, 1993a; Sissons *et al.*, 2005b). No obstante, las especificaciones de fuerza de gluten para el trigo candeal o sus sémolas variarán dependiendo del tipo de producto final procesado. La fuerza es particularmente importante para pastas instantáneas puesto que tienen paredes más finas y necesitan mayor fuerza durante su procesamiento. En contrapartida, las populares pastas frescas requieren una masa más extensible y un gluten más débil para mejorar las propiedades de laminado (Marchylo *et al.*, 2004).

Para la medición de la fuerza de gluten en trigo candeal se ha desarrollado y/o adaptado un número significativo de métodos. Entre ellos, el test de Índice de Gluten (GI) ha ganado amplia aceptación en la instancia de selección de materiales en generaciones tempranas (Cubadda *et al.*, 1992), siendo también utilizado con frecuencia como especificación en el comercio internacional (Marchylo *et al.*, 2001). Asimismo, una serie de métodos reológicos, empíricos y descriptivos, empleados tradicionalmente para la evaluación de la fuerza de gluten en masas de trigo pan, tales como el farinograma, el mixograma y el alveograma, han sido adaptados para ser usados en trigo *durum* (Irvine *et al.*, 1961; Quick y Donnelly, 1980; Walle y Trentesaux, 1980). El alveograma, por ejemplo, es un método muy utilizado por los procesadores de trigo candeal,

siendo los parámetros que de él emergen, de uso habitual en el comercio internacional. En Argentina, sin embargo, si bien se ha corroborado su alta capacidad para predecir la fuerza de las masas (Miravalles *et al.*, 2007), su uso en trigo *durum* no está difundido en la misma medida en que lo están el Índice de Gluten y el Farinograma (Seghezzo y Molfese, 1999).

RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN PROTEICA Y LA FUERZA DEL GLUTEN

La composición de proteínas del gluten es un factor decisivo en la determinación de la fuerza de las masas de trigo *durum*, y su comportamiento durante el procesamiento de la pasta. En particular, el grupo que ejerce mayor influencia sobre las propiedades elásticas y de fuerza del gluten son las gluteninas y las gliadinas. Ambas difieren considerablemente en estructura y propiedades, siendo las gluteninas responsables de la viscoelasticidad del gluten, en tanto que las gliadinas están asociadas a su plasticidad (Shewry *et al.*, 1999).

Las gluteninas son proteínas poliméricas estabilizadas a través de la presencia de enlaces disulfuros entre cadenas, cuya masa molecular puede superar los 100 millones de Da. Al ser reducidas, liberan subunidades de alto y bajo peso molecular, designadas HMW-GS y LMW-GS, respectivamente. Entre un 60 y un 80% de las gluteninas de los trigos *durum* corresponden a la fracción LMW-GS, de peso molecular entre 30.000 y 50.000 Da, codificadas por los genes *Glu-A3*, *Glu-B3* and *Glu-B2* en el cromosoma 1 (Oak y Dexter, 2006). La fracción restante corresponde a las HMW-GS, de peso molecular entre 80.000 y 120.000 Da, codificadas por genes en el locus *Glu-A1* del cromosoma 1.

A diferencia de lo observado en trigo pan, donde la fuerza de gluten y la calidad panadera se hallan principalmente asociadas a la fracción de HMW-GS (Payne y Lawrence, 1984a), en trigo *durum* existe evidencia de que la calidad del

gluten está fuertemente vinculada a la fracción de LMW-GS. Dentro de la misma se han descrito dos tipos, designados LMW-1 y LMW-2, ligados a gluten de fuerza baja y alta, respectivamente. Debido a la diversidad de alelos en el locus *Glu-B3*, los genotipos que exhiben el patrón LMW-2 pueden presentar, a su vez, un rango de fuerza entre moderado y alto (Brites y Carrillo, 2001).

Las gluteninas de alto peso molecular (HMW-GS) del trigo candeal tienen un efecto menos crítico sobre la fuerza de gluten (Du Cros, 1987). No obstante, existe evidencia concluyente que los genotipos que presentan la HMW-GS 20 tienden a exhibir gluten más débil que aquellos que portan las subunidades 6+8 y 7+8, los cuales exhiben fuerza de gluten comparable (Boggini y Pogna, 1989; Ammar *et al.*, 2000; Peña, 2000; Brites y Carrillo, 2001, Edwards *et al.*, 2007). A igual conclusión se llegó en un estudio realizado en Argentina con 115 genotipos pertenecientes a la colección de germoplasma de trigo candeal que se conserva en la Chacra Experimental Integrada de Barrow (Wallace *et al.*, 2003). En dicho trabajo se subrayó la utilidad de los alelos 6+8 y 7+8 de HMW-GS como marcadores para incrementar los atributos de fuerza de la pasta.

Las gliadinas, por su parte, son proteínas monoméricas heterogéneas (25.000-75.000) codificadas por genes en los loci *Gli-1* del cromosoma 1 y *Gli-2* en el cromosoma 6 (Skerrit, 1998). Las gliadinas solo contienen enlaces disulfuro en el interior de la cadena del polipéptido, e interactúan con las proteínas poliméricas por medio de fuerzas no-covalentes. De los cuatro tipos de gliadinas identificadas en trigo *durum* (α , β , γ y ω), la γ -gliadina 45 y la γ -gliadina 42 son marcadores para gluten fuerte y débil, respectivamente (Damidaux *et al.*, 1978; Kosmolak *et al.*, 1980; DuCros, 1987), debido al ligamiento genético existente con las subunidades de gluteninas de bajo peso molecular LMW-2 (fuerte) y LMW-1 (débil) (Payne *et al.*, 1984).

DISTRIBUCIÓN DE PESO MOLECULAR DE LAS PROTEÍNAS DEL GLUTEN Y SU RELACIÓN CON LA FUERZA DE GLUTEN

La distribución de peso molecular (DPM) de las proteínas del trigo es considerado el principal factor que afecta las propiedades de fuerza de las masas. La DPM de las proteínas puede variar de dos maneras, ya sea a través de cambios en las cantidades relativas de las proteínas monoméricas (mayormente gliadinas) y poliméricas (gluteninas), y/o por modificación de la distribución de pesos moleculares de la fracción de gluteninas (Southan y Mac Ritchie, 1999). Trabajos pioneros en el tema han asociado la fuerza de gluten del trigo *durum* con una alta relación glutenina/gliadina (Wasik y Bushuk, 1975; Dexter y Matsuo, 1978), observaciones confirmadas en un trabajo posterior conducido en Italia por Flagella *et al.* (2010). No obstante, en un estudio realizado sobre un conjunto de 96 genotipos de trigo *durum*, de 12 países de origen y amplias diferencias en fuerza de gluten, se determinó que la relación glutenina/gliadina parece no hacer una contribución significativa a la variabilidad de dicho carácter, respondiendo por solo un 12% de la variación de la tenacidad (variable P del alveograma) y por un 20% de la del gluten index (Edwards *et al.*, 2007). En el mismo estudio, en cambio, la fracción insoluble de la proteína polimérica (GI/GT), correlacionó fuertemente con todos los parámetros del alveograma y del mixograma, y con el gluten index, en concordancia con trabajos previos de Gupta *et al.* (1993), Zhu y Khan (2001) y Sissons *et al.* (2005). También se halló evidencia de que los genotipos que exhibían la subunidad HMW-GS 20, asociada a gluten más débil, presentaban una más baja densidad de enlaces disulfuro entre moléculas, y una menor proporción de proteína polimérica de baja solubilidad que los materiales de gluten más fuerte, portadores de las subunidades HMW-GS 6+8, 7+8 o 7+16. Solo el genotipo que exhibió los valores más bajos de tenacidad y gluten index de todo el set, y que además de la HMW-GS 20 presentaba la γ -gliadina 42, presentó valores significativamente más bajos en la relación glutenina/gliadina, en simultáneo con bajos valores de IPP (Edwards *et al.*, 2007).

Más allá de las diferencias genotípicas señaladas, la composición proteica del grano, y por ende la fuerza de gluten, se ven significativamente afectadas por los factores ambientales, y por las interacciones de los genotipos con el ambiente (Graybosch *et al.*, 1996; Zhu y Khan, 2001; Fois *et al.*, 2011). Las condiciones ambientales pueden alterar la DPM de las proteínas del gluten, determinando valores de fuerza diferentes a los esperados en función de la composición alélica de la proteína del gluten (Sissons, 2008). Las altas temperaturas y el estrés hídrico, en particular, son los factores que más afectan la calidad del trigo. Temperaturas por encima de los 35°C, aún por espacio de pocos días, determinan cambios significativos en la calidad panadera (Blumenthal *et al.*, 1993), efectos que han sido atribuidos a un aumento en el cociente gliadinas/gluteninas (Blumenthal *et al.*, 1991; Triboi *et al.*, 2000) y a una disminución de la fracción de gluteninas de más alto peso molecular (Wardlaw *et al.*, 2002). Por otro lado, temperaturas moderadamente altas, en el rango entre 25 °C y 32 °C, tienen un efecto positivo sobre las propiedades de las masas (Randall y Moss, 1990; Wrigley *et al.*, 1994), relacionadas con cambios en la composición de la fracción de gliadinas (Daniel y Triboi, 2001). Borghi *et al.* (1995) en Italia, bajo condiciones de clima típicamente mediterráneo, observaron un “fortalecimiento” de las masas ante la ocurrencia de un largo período con temperaturas en el rango entre los 30 °C y los 35 °C, y un “debilitamiento” de las mismas frente a episodios frecuentes de temperaturas máximas diarias por encima de los 35°C. Con posterioridad, Corbellini *et al.* (1998), informaron que tales cambios estuvieron sistemáticamente asociados con modificaciones en la composición proteica, particularmente en el cociente entre las fracciones soluble e insoluble de la proteína polimérica. Stone y Nicolas (1996) observaron que la síntesis de los compuestos precursores de los polímeros solubles en SDS (principalmente subunidades de glutenina de bajo peso molecular) no se vio afectada por la ocurrencia de un estrés térmico, como sí ocurrió con la de los precursores de los polímeros insolubles en SDS (mayormente subunidades de glutenina de alto peso molecular), lo que resultó en una reducción en el porcentaje de polímeros insolubles dentro de la fracción de polímeros totales. Blumenthal *et*

al. (1991) sugirieron que ello prodría deberse a la sensibilidad al calor de las enzimas involucradas en la síntesis de la disulfuro isomerasa, responsable de la formación de los agregados proteicos más complejos que definen las propiedades de mezclado de las masas.

En lo que respecta a los efectos de la sequía sobre la composición proteica y la calidad tecnológica, se reportan resultados diferentes que hacen mención a aumentos en el contenido de gliadinas, compatibles con un aumento en el contenido proteico del grano (Saint Pierre *et al.*, 2008), aumentos en el contenido de gluteninas (Flagella *et al.*, 2010), y ausencia de cambios en la relación gliadinas/gluteninas entre tratamientos regados y no regados sometidos a altas temperaturas promediando el llenado de granos (Panozzo *et al.*, 2001). Estos últimos también observaron un incremento en la proporción de gluteninas altamente poliméricas, en tanto que Daniel y Triboï (2002) concluyeron que la sequía no afecta la tasa de acumulación de proteína soluble e insoluble por grado-día, sino que impacta sobre el inicio de la insolubilización de los polímeros.

Los efectos de la sequía dependen del momento de ocurrencia y de la magnitud del estrés, habiéndose observado una considerable mejora en la fuerza de gluten (asociada a un aumento en la cantidad de macropolímeros de glutenina), cuando se da un estrés severo durante el llenado de granos (Flagella *et al.*, 2010). En un experimento realizado con cinco variedades de trigo de invierno bajo condiciones controladas, Balla *et al.* (2011) reportaron que el estrés hídrico en ausencia de estrés térmico tuvo un mayor impacto sobre la calidad que el correspondiente a este último en forma aislada, y que ambos combinados, ejercieron un efecto aún mayor al de cada uno de ellos por separado. El estrés hídrico derivó en un deterioro de la calidad (medida a través del Índice de Zeleny) en todas las variedades, con declinación tanto de la fracción más insoluble de la glutenina (GI/GT), como de la relación glu/gli.

Sobre la base del marco teórico desarrollado en esta sección, se plantearon las siguientes hipótesis y objetivos particulares:

2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- En el trigo candeal el genotipo, el ambiente y las interacciones genotipo-ambiente ejercen un impacto significativo sobre el color amarillo de la sémola, y la cantidad y fuerza del gluten, cuya contribución relativa puede variar dependiendo del rasgo de calidad considerado.
- En la región bajo estudio es posible identificar zonas o áreas con capacidad para producir sémolas con calidades diferentes, pese a lo cual el logro en simultáneo de niveles satisfactorios de calidad para los tres atributos de forma consistente, puede resultar un objetivo difícil de alcanzar, debido al impacto diferencial de los factores del clima sobre los mismos.
- Las variaciones en los factores del clima debidas al sitio de cultivo, al año y/o a la combinación de ambos, determinan fluctuaciones en los atributos de calidad de la sémola, que pueden ser el resultado de un efecto directo de dichos factores sobre el atributo en cuestión, o bien de un efecto indirecto a través del impacto que ejercen sobre variables productivas o de calidad del grano asociadas a los mismos (largo del ciclo, PMG, contenido proteico).
- Los genotipos de trigo candeal evaluados en este ensayo presentan diferente capacidad para satisfacer de manera consistente las demandas de calidad que plantea la industria transformadora respecto del color y la cantidad y fuerza de gluten, debido a la existencia de diferencias genotípicas y distinta sensibilidad frente a las variaciones de los factores del clima.

Para el caso específico de la fuerza:

- La magnitud y características de la respuesta de los genotipos al ambiente está asociada a la composición alélica de los mismos en los principales loci asociados a fuerza de gluten.
- Los factores del clima impactan sobre la fuerza de gluten de los genotipos a través de cambios en la composición de la proteína de reserva del endosperma, cuyo análisis puede proporcionar información de suma utilidad para interpretar su respuesta al ambiente.

2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la contribución relativa del ambiente, el genotipo y las interacciones GA sobre el color amarillo de la sémola, y el contenido y fuerza de su gluten.
- Analizar las variaciones en los niveles de color, y cantidad y fuerza de gluten entre sitios y años de cultivo, a fin de determinar si dentro del área bajo estudio es posible la delimitación de zonas con capacidad para proveer en simultáneo niveles satisfactorios de calidad para los tres atributos analizados.
- Identificar los factores del clima que ejercen mayor impacto sobre los atributos de calidad medidos en la sémola, y determinar el mecanismo a través del cual operan dichos factores.
- Analizar las variaciones que experimentan los distintos genotipos en los atributos de calidad de la sémola, a fin de identificar un patrón de respuesta al ambiente que permita desarrollar perfiles predictivos que hagan más eficiente la recomendación de variedades y el logro de una calidad de sémola satisfactoria en las distintas zonas productivas.

Para el caso específico de la fuerza de gluten:

- Investigar si la composición alélica de la variedad en los principales loci asociados a fuerza de gluten, se relaciona con los niveles de fuerza exhibidos y la magnitud de la respuesta de la misma al ambiente.

- Determinar si el análisis de la composición de la proteína de reserva del endosperma por SE- HPLC permite explicar el impacto de los factores del clima sobre la fuerza de gluten de los genotipos.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la determinación de las variables de calidad en la sémola, los granos fueron previamente molidos siguiendo el procedimiento descrito en la Norma IRAM* 15854. A fin de realizar una eficiente separación del salvado del endosperma, inicialmente el grano se acondicionó por 20 horas hasta alcanzar 15,8% de humedad. Posteriormente se efectuó la molienda en un molino experimental Bühler automático MLU-202, logrando un tamaño de partícula en el rango entre los 125 y 355 micrones. Sobre la sémola resultante se determinó:

2.4.1. Índice de amarillo de la sémola (b^*)

Para la determinación del color de la sémola se utilizó un Colorímetro Minolta Chroma Meter CR-410, basado en el sistema color-espacio Hunter-Lab. (Método triestímulo, L^* , a^* , b^*) (CIE, Commission Internationale, 1986). Para la expresión del color se utilizó el Índice de amarillo b^* debido a la alta correlación que exhibe con la concentración de pigmento amarillo de la sémola (Fратиани *et al.*, 2005).

2.4.2. Gluten Húmedo (GH) y Gluten Index (GI)

El gluten húmedo se determinó según Norma IRAM 15864-2. Para ello se utilizó un equipo GLUTOMATIC 2200 (Perten Instruments) con programa de trabajo pre-establecido, con amasado de 20 segundos y lavado de 8 minutos. Los análisis se realizaron por duplicado sobre muestras de 10g de sémola, las que se lavaron con una solución de Cloruro de Sodio al 2% a temperatura ambiente (entre 22 y 25°C). Una vez finalizado este paso, el gluten obtenido se colocó durante un minuto en una centrífuga (6000 *rpm*), provista de un cassette con malla metálica de 600- μ m. La porción de gluten que atravesó la malla sumada a la fracción retenida constituyen el peso total de gluten húmedo, que multiplicado por 10 da el % de Gluten Húmedo de la muestra. El Índice de

Gluten, o como se lo denomina normalmente, Gluten Index (GI) se calculó como el porcentaje de gluten húmedo que quedó retenido en la malla respecto del total, según fórmula:

Gluten Index (%) = Gluten retenido en la malla x 100/ Total de gluten húmedo.

Como variables complementarias se determinaron:

2.4.3. Variables Farinográficas: Nivel de Energía (NE) y Aflojamiento (AFLO)

Se determinaron sobre muestras de 50g mediante el uso del Farinógrafo de Bravender, siguiendo la técnica descrita por Irvine et al. (1961) (ICC N° 115) con leves modificaciones (Dean y Seghezzi, 1978), con absorción de agua constante (45%) y tiempo de amasado fijo (8 minutos). A partir de la curva farinográfica se calcularon las variables Nivel de Energía (NE) y Aflojamiento (AFLO), según fórmula:

- Nivel de energía (N.E.): $H \text{ máxima} / 20 + \text{Superficie}$

- Aflojamiento (AFLO, %): $H \text{ máxima} - H \text{ final} / H \text{ máxima}$

2.4.4. Variables Alveográficas: Fuerza (W), Tenacidad (P), Extensibilidad (L) y relación de equilibrio entre ambas (P/L).

La prueba Alveográfica se condujo sobre muestras de sémola de 250g siguiendo el método estándar de Chopin (AACC 54-30a) con algunas modificaciones (Peña, 2000): 60-70% de absorción de agua y 10 min de amasado. A partir de la curva alveográfica se computaron la tenacidad o resistencia a la deformación (P, mm), la extensibilidad (L, mm), la relación de equilibrio entre ambas (P/L) y la fuerza alveográfica o trabajo de deformación (W, 10^{-4} Joules).

2.4.5. Composición de la proteína de reserva del endosperma

Para la determinación de las proporciones de las principales clases de proteínas del endosperma, se utilizó la técnica de Cromatografía Líquida por Exclusión de Tamaños (SE-HPLC). La extracción de la proteína total y la separación se realizaron siguiendo la técnica descrita por Gupta *et al.* (1993). Para la extracción se utilizó material proveniente de la molienda con mortero de 15 granos por muestra. La harina obtenida se tamizó con malla fina de 280 μm . Luego se pesaron 56 mg de harina integral tamizada, los que se trasvasaron a un microtubo de 1,5 ml. La extracción se realizó mediante agitación durante 20 min, con 1 ml de solución buffer conteniendo 5 mg ml⁻¹ SDS y 0,05M de fosfato de Sodio, a PH 6,9. El extracto se centrifugó por 10 min a 11.000 r.p.m. El sobrenadante, llamado *fracción soluble* se filtró con jeringa provista con filtro de 45 μm y se reservó. Dicha fracción incluye a las proteínas metabólicas, albúminas y globulinas, a las proteínas monoméricas, o gliadinas (GLI), y a la fracción soluble de la proteína polimérica, *gluteninas solubles* (GS). El material residual, fue posteriormente re suspendido con 1,0 ml de buffer fosfato y sonificado por 30 segundos, lo que permitió solubilizar la fracción polimérica de mayor peso molecular, *fracción de glutenina insoluble* (GI). Luego de la centrifugación (3 min a 11.000 r.p.m) el sobrenadante de esta fracción conjuntamente con el anterior se calentaron a 80°C por dos minutos, para evitar el deterioro de las proteínas por acción de las proteasas presentes y mantener la muestra estable hasta el momento de la inyección (Larroque *et al.*, 2000). Para la cromatografía el extracto total (20 μl) se inyectó en una columna Phenomenex BIOSEP-SEC 4000 (5 μm , 500Å, 300 mm x 7,80 mm) y se corrió por 35 min (2ml min⁻¹) sobre un gradiente isocrático de 50% de agua (+0,05% TFA) y 50% acetonitrilo (+0,05% TFA). La detección se realizó mediante un cromatógrafo UV- VIS (Water 486) a una longitud de 214 nm. Se obtuvieron cuatro picos, correspondientes a las fracciones de glutenina insoluble (GI) (pico 1), glutenina soluble (GS) (pico 2), gliadinas (GLI) (pico 3), y albúminas + globulinas (pico 4). Se calculó la relación GLI/GLU y la proporción de glutenina

insoluble sobre el total de glutenina de la muestra (GI/GT%) (suma de picos 1 y 2).

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al igual que en el caso de los atributos evaluados en el grano, la calidad de la sémola, medida a través del contenido de gluten húmedo (GH, %), el Gluten Index (GI, %), como estimador de la fuerza de gluten, y el Índice de Amarillo, b^* , cubrió un amplio rango de valores, que reflejan la variabilidad existente para el conjunto de genotipos y ambientes ensayados (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Valores medios y rango de variación para el Índice de Amarillo de la sémola (b^*), el porcentaje de gluten húmedo (GH, %) y la fuerza de gluten, medida a través del gluten index (GI, %) de trigo candeal cultivado en el sur bonaerense entre 2004 y 2006.

Variable	Media ^a	Rango
Color de la sémola (b^*)	22,6	19,3 - 27,0
Gluten Húmedo (%)	35,5	28,6 - 47,4
Gluten Index (%)	77,6	20,0 - 98,0

^a Promedio de cinco genotipos en diez ambientes y tres repeticiones.

El análisis combinado de la varianza reveló efectos significativos del ambiente (A), el genotipo (G) y las interacciones genotipo x ambiente (GA) para los tres atributos estudiados, con preponderancia de los efectos asociados a G (61,5% y 71,6% de la variación total), y baja contribución de A (29,0 y 11,0%) y de las interacciones GA (6,4 y 11,7%), para el color de la sémola y el GI, respectivamente. En el caso del GH, la contribución de los efectos de A fue superior a la de las interacciones GA, y triplicó a los efectos de G (46,6%, 31,7% y 13,4%, respectivamente) (Tabla 2.2). Para este rasgo, al igual que para el contenido proteico, se observó un cociente $\sigma^2_G/\sigma^2_{AxG}$ muy inferior a la unidad (0,2), lo que constituye una clara evidencia de la baja estabilidad del carácter, y una diferencia notable respecto de lo observado en el caso de b^* y GI, donde σ^2_G fue 17,5 y 8 veces mayor, respectivamente, que σ^2_{AxG} , ratificando la fuerte componente genética y alta estabilidad de ambos atributos (Tabla 2.3). Estos resultados concuerdan con las observaciones reportadas por

Boggini *et al.* (1997), Rharrabti *et al.* (2003), Taghouti *et al.* (2010), Vida *et al.* (2014) pero difieren parcialmente con lo reportado por Branković *et al.* (2015), quienes para 15 genotipos de *durum* evaluados en seis ambientes de Serbia observaron que para el pigmento amarillo de la sémola la contribución de las interacciones GA representaba un 31,1% de la variación total observada (con 67,2% y 1,7% para G y A, respectivamente).

Tabla 2.2. Variabilidad atribuida a los efectos del ambiente (A), el genotipo (G), y la interacción genotipo x ambiente (GA), sobre el Índice de Amarillo de la sémola (b*), el contenido de Gluten Húmedo (%), y el Gluten Index (%) de cinco genotipos de trigo candeal a través de 10 ambientes de cultivo del sur bonaerense.

Variable	Fuente	gl ¹	SC ²	P-valor	% SC ⁶
Índice de Amarillo (b*)	A	9	141,58 ³	<0,0001	29,0
	G	4	300,63 ⁴	<0,0001	61,5
	GA	36	31,36 ⁵	<0,0001	6,4
	Bloq(A)†	20	4,09 ⁵	Ns	0,8
	Error	80	10,78		
Gluten Húmedo (%)	A	9	1570,49	<0,0001	46,6
	G	4	392,48	<0,05	11,6
	GA	36	1073,05	<0,0001	31,7
	Bloq(A)	20	173,69	<0,01	6,3
	Error	80	213,69		
Gluten Index (%)	A	9	5556,03	<0,0001	11,0
	G	4	36203,43	<0,0001	71,6
	GA	36	5917,11	<0,0001	11,7
	Bloq(A)	20	601,33	Ns	1,2
	Error	80	2304,67		

† Bloque anidado dentro de ambiente

¹ Grados de libertad; ² Suma de cuadrados

³ Se probó con el cuadrado medio (CM) del bloque anidado en el ambiente (Bloq (A))

⁴ Se probó con el CM de la interacción GA

⁵ Se probó con el CM del error

⁶ Respecto de la SC total

Tabla 2.3. Varianzas asociadas a los efectos del ambiente (σ^2_A), el genotipo (σ^2_G), las interacciones genotipo-ambiente (σ^2_{AxG}) y cocientes respectivos, para tres atributos de calidad de la sémola en trigo candeal.

Atributo	σ^2_A	σ^2_G	σ^2_{AxG}	σ^2_A/σ^2_G	$\sigma^2_G/\sigma^2_{AxG}$
Índice de amarillo, b^*	1,4	10,5	0,6	0,1	17,5
Gluten Húmedo (%)	4,1	1,5	6,3	2,7	0,2
Gluten Index (%)	65,5	864,7	107,5	0,1	8,0

2.5.1. INFLUENCIA DEL GENOTIPO, EL AMBIENTE Y LAS INTERACCIONES GENOTIPO-AMBIENTE SOBRE EL COLOR DE LA SÉMOLA

Como se dijo en el párrafo precedente el color de la sémola, medido a través del Índice de Amarillo b^* , estuvo influido principalmente por los efectos del genotipo, y en menor medida por los del ambiente y las interacciones GA (Tablas 2.2 y 2.3). Un vasto número de estudios, en los que se analizaron genotipos de trigo *durum* de diferentes orígenes, coinciden con estas observaciones, confirmando la fuerte componente genética de este carácter (Autran *et al.*, 1986; Michelena *et al.*, 1995; Nachit *et al.*, 1995; Molfese *et al.*, 2001; Rharrabti *et al.*, 2003; Seghezzi *et al.*, 2005, 2010; Clarke *et al.*, 2006; Reimer, 2008; Akçura, 2009; Digesù *et al.*, 2009; Roncallo *et al.*, 2012; Bilgin *et al.*, 2010; Ramachandran *et al.*, 2010; Taghouti *et al.*, 2010; Sakin *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2013; Pinheiro *et al.*, 2013; Schulthess *et al.*, 2013; Branković *et al.*, 2015). En estos trabajos se han reportado, sin embargo, contribuciones relativas de G, A y de las IGA de magnitud variable, dependiendo del set de materiales analizados y/o del espectro de ambientes ensayados. Nachit *et al.* (1995), por ejemplo, para once genotipos cultivados en dos ambientes agroecológicos fuertemente contrastantes de Siria, determinaron que bajo condiciones de riego G, A y las IGA respondieron respectivamente por el 75,7%, el 5% y el 10,4% de la variación del color (medido a través del contenido de caroteno en el grano), en tanto que bajo condiciones de secano, G solo dio cuenta por el 41% de la variación, y A y IGA contribuyeron con el 26,8% y el 27,9%, respectivamente. Por su parte, Branković *et al.* (2015) para 15 cultivares de trigo *durum* cultivados en tres localidades de Serbia por dos años consecutivos determinaron que el orden de importancia de las fuentes de variación que influyeron sobre el contenido total de pigmento amarillo fue $G > GA > A$. Contraponiéndose con los anteriores resultados Hadži Tašković Šukalović *et al.* (2013) determinaron que A fue la fuente de variación más importante que impactó sobre el contenido total de pigmento amarillo, principal

responsable del color amarillo de la sémola, tanto en trigo pan como en trigo *durum*.

2.5.1.1. INFLUENCIA DEL AMBIENTE

Pese a la preponderancia de los efectos del genotipo, el ambiente tuvo un impacto significativo sobre b^* , que osciló entre un mínimo de 21,3 en La Dulce de 2005 (ambiente 7), y un máximo de 24,6 en Cabildo de 2006 (ambiente 9) (Tabla 2.4). El rango de variación observado fue similar al informado por Roncallo *et al.* (2007) para el mismo set de genotipos evaluados en tres ambientes diferentes, aunque los promedios no fueron comparables en virtud de que en dicho trabajo, las determinaciones se hicieron sobre harina integral. Asimismo, Larsen y Jensen (2016), para un número mayor de cultivares que incluyó a los del presente ensayo, informaron niveles de b^* entre 18,1 y 23,3 para el quinquenio 2011-2014.

Tabla 2.4. Valores medios y rango de variación del Índice de Amarillo de la sémola (b^*), en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense entre 2004 y 2006.

Año	Sitio	Ambiente	CIE $b^*\dagger$	Rango
2004	Barrow	1	21,8	20,2 - 23,9
	Cabildo	2	22,8	20,9 - 25,2
	La Dulce	3	21,7	19,7 - 24,1
	Bordenave	4	22,4	20,6 - 24,4
2005	Barrow	5	22,0	19,3 - 24,5
	Cabildo	6	22,1	20,6 - 23,4
	La Dulce	7	21,3	19,5 - 23,2
2006	Barrow	8	24,0	22,6 - 25,3
	Cabildo	9	24,5	22,5 - 27,0
	La Dulce	10	23,0	21,3 - 25,0
Media			22,6	21,2 - 24,6
CV (%)			8,0	

† Promedio de cinco genotipos y tres repeticiones por genotipo
CV.: Coeficiente de Variación

Si bien estos guarismos son sensiblemente inferiores a los de las producciones canadiense y americana de trigo *durum*, que reportan respectivamente, niveles de $b^* > 30$ (CGC, 2016), y de 28,5 para el quinquenio 2010-2015 (US Wheat, 2015.), encuadran en la mayoría de los casos dentro de los requerimientos que demanda la industria elaboradora nacional para sémolas destinadas al consumo interno, con valores mínimos de b^* de 22 (Lic. Leticia Gette, Cnía. Molinera, Com. Pers). Para sémolas con destino a la exportación, en tanto, se requieren niveles de $b^* > 24$, exigencia comparable a la que impone la industria italiana para sémolas del segmento alto de color ($b^* > 23,5$) (Landi, 1995). Akçura (2009), en Turquía, y Pinheiro *et al.* (2013) en Portugal, informaron niveles de b^* comparables a los del presente ensayo, en tanto que Taghouti *et al.* (2010) para nueve ambientes de Marruecos determinaron valores de b^* más bajos (entre 14,9 y 19,9).

El ANOVA triple reveló efectos altamente significativos para todas las fuentes de variación analizadas ($P \leq 0,001$) (Tabla 2.5). Respecto de los efectos asociados al ambiente, la mayor contribución le correspondió al factor año (Y) con el 23,3% de la variación total, seguido por L con el 6,7%, y YxL con el 1%. Contrastando parcialmente con estos resultados, Molfese *et al.* (2001) en un ensayo donde se evaluó el color de la sémola de cuatro cultivares de *durum* en las localidades de Azul y Barrow en 1999 y 2000, determinaron una contribución significativa para los efectos de LxY, pero no para L e Y. Por su parte, Sakin *et al.* (2011) en Turquía, al igual que en el presente ensayo, determinaron que las variaciones del contenido de pigmento amarillo de la sémola entre años eran superiores a las existentes entre localidades. En contrapartida, Rharrabti *et al.* (2003) en España, y Pinheiro *et al.* (2013) en Portugal, no detectaron diferencias significativas en los niveles de pigmento amarillo entre años, pero sí entre localidades y zonas.

Tabla 2.5. Análisis de la varianza para el Índice de Amarillo de la sémola (b^*) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en cuatro localidades del sur bonaerense durante tres años.

Fuente	gl^a	SC ^b Tipo III	% SC	CM ^c	F-valor
Año (Y)	2	107,2	23,3	53,6	398,0 ***
Localidad (L)	3	30,8	6,7	10,3	76,2 ***
Y x L	4	4,4	1,0	1,1	8,2 ***
Bloq (Y x L)	20	4,1	0,9	0,2	1,5
Genotipo (G)	4	271,5	59,0	67,9	504,0 ***
G x Y	8	8,6	1,9	1,1	8,0 ***
G x L	12	6,5	1,4	0,5	4,0 ***
G x Y x L	16	16,1	3,5	1,0	7,5 ***
Error	80	10,8		0,1	

^a Grados de libertad; ^b Suma de Cuadrados; ^c Cuadrado medio
 *, **, *** Significativas con $P \leq 0,05$, 0,01 y 0,0001, respectivamente.

Los niveles de b^* más altos se observaron en 2006 (Tabla 2.6), año en el que los cultivos experimentaron un fuerte estrés hídrico con altas temperaturas durante el llenado de granos en las tres localidades del ensayo. Estos resultados se condicen con las observaciones reportadas por Fratianni *et al.* (2013), quienes evaluaron cuatro cultivares de trigo italianos bajo dos regímenes hídricos en Foggia, Italia, y concluyeron que bajo condiciones de estrés, se producía un aumento en la producción de los componentes que integran la maquinaria de defensa de la planta, entre los que se incluyen los pigmentos amarillos, con reconocida función antioxidante (Ficco *et al.*, 2014).

Entre las localidades participantes, si bien las variaciones de b^* fueron menores a las observadas entre años (CV 2,1% vs 4,7%, respectivamente), Cabildo, consistentemente superó al resto, excepto en 2005 donde fue equiparada por Barrow. Los tres años se observaron diferencias leves pero significativas entre localidades pertenecientes a la misma subregión, con ventajas de Cabildo sobre Bordenave (2004), y de Barrow sobre La Dulce (2005 y 2006), así como también una ventaja que osciló entre 0,5 y 1 punto de b^* para la región del SO

Semiárido respecto de la del Centrosur (Tabla 2.6). Estos resultados concuerdan con lo citado en España por Rharrabti *et al.* (2003), quienes observaron mayores niveles de pigmento amarillo en el grano en zonas de clima más seco.

Tabla 2.6. Valores medios de Índice de Amarillo de la sémola, b^* , para cuatro localidades del sur bonaerense pertenecientes a dos regiones de cultivo de trigo candeal entre los años 2004 y 2006 (Promedio de cinco genotipos y tres repeticiones).

Año	Media Año	Subregión						Regiones Contraste <i>P</i> -valor
		Sudoeste Semiárido			Centro Sur Subhúmedo			
		Cabildo	Bordenave	Media	Barrow	La Dulce	Media	
2004	22,2B†	22,8a††	22,4b	22,6	21,9c	21,7c	21,8	≤0,0001
2005	21,8C	22,1a	--	22,1	22,0a	21,3b	21,6	≤0,001
2006	23,8A	24,5a	--	24,5	24,0b	23,0c	23,5	≤0,0001
Media Localidad		23,1a			22,6b		22,0c	
Media Región		23,0			22,3			

† Letras en mayúscula diferentes, en la misma columna, indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

†† Letras en minúscula diferentes, en la misma fila, indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

2.5.1.1.a. INFLUENCIA DE LOS FACTORES DEL CLIMA SOBRE EL ÍNDICE DE AMARILLO DE LA SÉMOLA: EFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS

El ambiente puede afectar la concentración de pigmentos del grano de modo directo, por medio de un estrés biótico o abiótico, o bien de manera indirecta a través del PMG, por dilución o concentración de los pigmentos carotenoides conforme se modifican las proporciones de los restantes compuestos de reserva del endosperma del grano, en particular el almidón (Clarke *et al.*, 2006). Un análisis de correlación simple de Pearson determinó que el índice b^* presentó en general correlaciones negativas con las precipitaciones caídas en distintos momentos del ciclo, siendo la más estrecha la correspondiente a las lluvias de noviembre ($r = -0,91$, $P \leq 0,001$). En tanto, en lo que concierne a las relaciones de b^* con las temperaturas, las mismas exhibieron, sin excepción,

signo positivo, siendo la de mayor magnitud la observada con la T° media del segundo semestre del año ($r= 0,88$, $P\leq 0,001$) (Tabla 2.7).

Tabla 2.7. Coeficientes de correlación de Pearson entre el Índice de Amarillo de la sémola (b^*), el largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP, días), el rendimiento de grano (RG, Kg Ha⁻¹), el peso de mil granos (PMG, g), el contenido de proteína (%), y variables climáticas asociadas, en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense.

	b^*	EMaESP (días)	RG (Kg Ha ⁻¹)	PMG (g)	Proteína (%)
EMaESP	-0,77**	--	--	--	--
RG	-0,50	0,47	--	--	--
PMG	-0,79**	0,73**	0,54	--	--
Proteína	0,69*	-0,60*	-0,54	-0,64*	--
PP Junio	-0,82***	0,53	0,66*	0,50	-0,71**
PP Agosto	-0,86***	0,76**	0,58	0,72**	-0,78**
PP Septiembre	-0,76**	0,67*	0,47	0,45	-0,58
PP Octubre	0,68*	-0,32	0,09	-0,57	0,21
PP Noviembre	-0,91***	0,75**	0,40	0,81***	-0,77**
PP 1 ^{er} Trim ciclo	-0,81***	0,67*	0,77**	0,60	-0,85***
T° 1 ^{er} Trim ciclo	0,76**	-0,65*	-0,78**	-0,63*	0,57
T° 2 ^{do} Trim ciclo	0,65*	-0,93***	-0,60	-0,74**	0,60
T° 2 ^{do} Sem	0,88***	-0,87***	-0,51	-0,70**	0,75**
T° Octubre	0,73**	-0,93***	-0,56	-0,83***	0,57
T° Diciembre	0,67*	-0,86***	-0,44	-0,76**	0,40
T° llenado	0,74**	-0,81***	-0,72**	-0,86***	0,48

*, **, *** Significativas con $P \leq 0,05$, $0,01$ y $0,001$, respectivamente

Clarke *et al.* (2006) en diez ambientes de Canadá observaron que la concentración de pigmento amarillo correlacionó débilmente con la temperatura media (positiva), y la precipitación (negativa) durante el período de llenado de granos. Asimismo, Taghouti *et al.* (2010) y Branković *et al.* (2015) puntualizaron que las temperaturas altas durante la segunda mitad de la estación de crecimiento derivaron en una mayor pigmentación de la sémola, en tanto que

condiciones de elevada humedad, la afectaron negativamente. A similares conclusiones arribaron El-Haremein *et al.* (1996) en Siria, Sakin *et al.* (2011) en Turquía, y Schulthess *et al.* (2013) en Chile, quienes observaron que el índice de amarillo aumentaba significativamente cuando disminuían las precipitaciones. Por el contrario, Mangels (1932) (citado por Clarke *et al.*, 2006), reportó que las estaciones más frescas con humedad abundante resultaban en concentraciones de pigmento más altas que en aquellas en las que prevalecían condiciones cálidas y secas. Del mismo modo, la información presentada por Güller (2003) reveló una concentración de pigmento más alta en trigos *durum* regados que en aquellos que desarrollaron en condiciones de secano.

Dado que tanto las precipitaciones de noviembre como las temperaturas del 2^{do} semestre tuvieron un significativo impacto sobre la duración del período desde la emergencia a la espigazón (EMaESP), el rendimiento de grano (RG), y en especial, sobre el peso de mil granos (PMG) (Tabla 2.7), y que las mismas a su vez se mostraron asociadas a b^* , sería razonable pensar que dichas variables productivas fueron la principal causa de las variaciones en los niveles de b^* , debido a la ocurrencia de fenómenos de dilución/concentración de los pigmentos carotenoides en el grano, conforme lo citado por Clarke *et al.* (2006). Un Análisis de Sendero reveló que dichas variables climáticas operaron sobre b^* principalmente de modo directo, y solo en baja proporción de modo indirecto, a través de la modificación del largo del ciclo, del rendimiento y/ o del PMG (Tabla 2.8). Estos resultados se hallan en sintonía con lo reportado por Fratianni *et al.* (2013) quienes determinaron incrementos en los niveles de pigmento amarillo de los granos como parte de un mecanismo de respuesta de las plantas a condiciones de estrés, concluyendo que dichos aumentos solo pudieron ser parcialmente explicados por el simple efecto de concentración debido a la pérdida de rendimiento.

Tabla 2.8. Coeficientes de Sendero para los efectos directos e indirectos de las precipitaciones del mes de noviembre (mm), y las temperaturas del segundo semestre del año (°C) sobre el Índice de amarillo de la sémola (b^*) de diez ambientes de cultivo de trigo candeal en el sur bonaerense.

Variable dependiente: b^*			
Efecto	Vía	Coeficientes	p -valor
PP Noviembre	Directa	-0,73	
PP Noviembre	Ciclo EMaESP	-0,12	
PP Noviembre	RG	-0,05	
PP Noviembre	PMG	-0,02	
r total		-0,91	0,0002
T° 2do. Semestre	Directa	0,76	
T° 2do. Semestre	Ciclo EMaESP	-0,15	
T° 2do. Semestre	RG	-0,01	
T° 2do. Semestre	PMG	0,27	
r total		0,88	0,0008

2.5.1.2. INFLUENCIA DEL GENOTIPO

Según se mencionó anteriormente, el genotipo fue la fuente de variación que aportó la mayor variabilidad al color amarillo de la sémola, superando ampliamente los efectos combinados del ambiente y las interacciones GA. Para el conjunto de los diez ambientes del estudio, las variedades Topacio y Facón, se destacaron con los valores de Índice de amarillo más altos ($b^* = 24,5 \pm 1,23$ y $23,6 \pm 0,73$, respectivamente), seguidas por Cariló ($22,7 \pm 1,24$) y, por Platino y Esmeralda ($21,0 \pm 1,20$ y $20,9 \pm 1,20$, respectivamente) (Tabla 2.9). Roncallo *et al.* (2007) para el mismo set de genotipos, evaluados en tres ambientes de cultivo diferentes en la provincia de Buenos Aires, observaron un ordenamiento similar, donde Topacio superó incluso a la variedad norteamericana Kofa, incorporada en el experimento como testigo debido a su alta performance en cuanto a color. Por su parte, Larsen y Jensen (2016) para

un grupo más amplio de cultivares, en el que estuvieron incluidos los cinco del presente estudio, reportaron un ranking comparable para el quinquenio 2010 - 2014. Según un estudio realizado entre 2005 y 2006 en Canadá, donde se analizaron 93 accesiones de trigo *durum* de muy diversos orígenes geográficos, incluidos cinco cultivares de Argentina, la variedad Buck Topacio presentó un contenido de pigmento amarillo y un índice b^* de la sémola equiparables a los de los cultivares canadienses Commander, Strongfield y Navigator, reconocidos por su destacado comportamiento en cuanto a color (Reimer, 2008).

Tabla 2.9. Valores medios y rango de variación del Índice de Amarillo de la sémola (b^*) de cinco genotipos de trigo candeal a través de diez ambientes de cultivo del sur bonaerense.

Genotipos	b^* ^a	Rango	CV (%)
Cariló	22,7 c ^b	20,0 - 25,2	5,47
Esmeralda	20,9 d	18,3 - 23,4	5,74
Facón	23,6 b	22,4 - 25,7	3,08
Platino	21,0 d	19,6 - 24,0	5,71
Topacio	24,5 a	22,0 - 27,6	5,03

^a Promedio de diez ambientes y tres repeticiones por ambiente

^b Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

El ranking en el que se ordenaron las variedades en cada uno de los ambientes del ensayo fue prácticamente idéntico al observado para el promedio del ensayo en general, conforme lo revela la Prueba de Rangos de Friedman ($T^2=67,60$, $P \leq 0,0001$), con fuerte supremacía de Topacio por sobre el resto en todos ellos, excepto en La Dulce de 2005 (ambiente 7), donde fue superada por Facón (Tabla 2.10). Estas observaciones concuerdan con lo reportado por Roncallo *et al.* (2012) en Argentina y por Schulthess *et al.* (2013) para ambientes de clima mediterráneo en Chile, quienes determinaron que la performance de los genotipos fue consistente entre ambientes, con

correlaciones entre rankings en el rango entre 0,61 y 0,78, y entre 0,83 y 0,98, respectivamente.

Tabla 2.10. Valores medios de Índice de Amarillo (b^*) de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense entre 2004 y 2006.

	Sitio	Ambiente	Cariló	Esmeralda	Facón	Platino	Topacio	Media Ambte.	DMS ^c
2004	Barrow	1	21,2	20,5	23,5	<u>20,2</u> ^a	23,9 ^b	22,0	0,96
	Cabildo	2	23,2	21,0	23,8	<u>20,9</u>	25,2	22,8	0,55
	La Dulce	3	21,5	20,2	22,9	<u>19,7</u>	24,1	21,6	0,31
	Bordenave	4	22,5	<u>20,6</u>	23,9	20,8	24,4	22,6	0,42
2005	Barrow	5	22,3	<u>19,3</u>	23,0	20,8	24,5	21,8	0,94
	Cabildo	6	22,7	21,2	22,7	<u>20,6</u>	23,4	22,2	0,52
	La Dulce	7	21,5	<u>19,5</u>	23,2	19,8	22,5	21,2	0,62
2006	Barrow	8	24,2	23,0	25,0	<u>22,6</u>	25,3	24,0	1,02
	Cabildo	9	24,9	<u>22,5</u>	24,2	23,6	27,0	24,6	0,77
	La Dulce	10	23,6	<u>21,3</u>	23,7	<u>21,3</u>	25,0	23,0	0,35
Media Genotipos			22,7	20,9	23,6	21,0	24,5	22,6	1,13
CV(%)			5,45	5,7	3,1	5,7	5,0	8,0	

^(a) Subrayado, valor más bajo de b^* del ambiente ^(b) En negrita, valor más alto de b^* del ambiente

^(c) Diferencia Mínima Significativa ($P \leq 0,05$)

Según estos resultados solo Topacio y Facón pudieron alcanzar en todos los ambientes los niveles de color demandados por la industria elaboradora para sémolas orientadas al consumo interno ($b^* > 22$), en tanto que Cariló lo logró en siete de los diez, y Esmeralda y Platino, solo en dos. En lo que concierne a los niveles de b^* requeridos por la exportación, exceptuando Topacio que logró superar el valor mínimo de b^* de 24 en siete de los diez ambientes, el resto de las variedades, incluidas Facón y Cariló (que lo lograron solo en dos), tuvieron dificultades para alcanzar dicho umbral. Según los estándares que utiliza la empresa italiana Barilla, líder en el mercado internacional de pasta seca, las variedades que participaron en este estudio produjeron sémolas que encuadraron en las categorías de calidad intermedia (b^* entre 19 y 23,5) y alta

($b^* > 23,5$), con excepción de Esmeralda y Platino que presentaron en todos los ambientes niveles de color intermedios (Landi, 1995).

2.5.1.2. a. RELACIÓN ENTRE EL COLOR DE LA SÉMOLA Y EL PESO DE MIL GRANOS DE LA VARIEDAD

Los mayores índices de amarillo se dieron consistentemente entre las dos variedades de PMG más bajo, Topacio y Facón, y viceversa, *i.e.* los menores, entre las de más alto PMG, Esmeralda y Platino, con Cariló en niveles intermedios de ambos atributos. Estas observaciones se hallan en sintonía con los resultados citados en la bibliografía por Rharrabti *et al.* (2003), Clarke *et al.* (2006), Digesù *et al.* (2009), y Bilgin *et al.* (2010) quienes reportaron la existencia de correlaciones genotípicas negativas entre el contenido de pigmentos y el peso de los granos. Al respecto, Hessler *et al.* (2002) señalaron que un locus sobre el cromosoma 5 A relacionado con grano de tamaño grande estaba asociado a una baja concentración de pigmentos. No obstante, bajo las condiciones de este ensayo, la correlación entre el color de la sémola y el PMG, fue sensiblemente afectada por el ambiente, según lo revela el amplio rango de variación en los valores de r entre ambientes (entre 0,27 y - 0,88) (Tabla 2.11). Estos resultados concuerdan con lo citado por Seghezzo *et al.* (2005) quienes para siete cultivares de *durum* de Argentina sembrados en Balcarce, Barrow y Bordenave determinaron correlaciones de b^* con PMG de -0,37, -0,46 y -0,63, respectivamente. Al respecto, Clarke *et al.* (2006) también concluyeron que las amplias variaciones en los valores de r entre ambas variables eran de origen ambiental.

La fuerte componente genética de este atributo, quedó claramente evidenciada en Barrow de 2006 (ambiente 8), donde por causa del fuerte estrés hídrico y térmico durante el llenado de granos, el PMG de todas las variedades virtualmente se igualó. En tales condiciones las diferencias de color entre variedades se redujeron, pero el ranking de b^* según el cual se ordenaron no

se modificó, en sintonía con los resultados de Johnston *et al.* (1983), quienes destacaron que para el color de la sémola las interacciones GA estaban vinculadas principalmente con cambios en la magnitud, y no con cambios de ranking.

Tabla 2.11. Valores medios de índice de amarillo de la sémola (b^*) y coeficientes de correlación de Pearson entre b^* y el peso de mil granos (PMG, g), en diez ambientes de cultivo del sur boanerense (promedio de cinco genotipos y tres repeticiones por genotipo)

Año	Ambiente	Índice de Amarillo b^*	Coefficiente de correlación b^* vs PMG
2004	1	22,0	-0,88*
	2	22,8	-0,62
	3	21,6	-0,54
	4	22,6	-0,82†
2005	5	21,8	-0,87*
	6	22,2	-0,82†
	7	21,2	-0,84†
2006	8	24,0	0,27
	9	24,6	-0,41
	10	23,0	-0,68

*† Estadísticamente significativos al 5% y 10% de probabilidad, respectivamente.

2.5.1.3. INFLUENCIA DE LAS INTERACCIONES GENOTIPO-AMBIENTE

Conforme se mencionó en párrafos precedentes las interacciones GA hicieron una baja contribución a la variación total de los valores de b^* , lo que significó una alta consistencia en el comportamiento de las variedades a través de los diferentes ambientes (Tablas 2.2 y 2.3). En las situaciones más extremas, los cambios experimentados por las mismas les significaron ascensos o descensos en su ranking de un puesto como máximo. Ello concuerda con lo documentado

por Johnston *et al.* (1983) y Borrelli *et al.* (1999), quienes respecto del color de la sémola, destacaron la fuerte consistencia en el comportamiento de las variedades frente al ambiente.

Debido a la preponderancia del efecto genético por sobre las restantes fuentes de variación, para el estudio de los patrones de interacción GA se utilizó un modelo de regresión por genotipo (GREG) (Cornelius *et al.*, 1996). Este procedimiento remueve el efecto del genotipo (*i.e.* datos centrados por genotipo), y permite expresar la respuesta en función de A+GA. Para la interpretación y visualización de dichos patrones se empleó un gráfico biplot GEE, obtenido de forma análoga a la explicada para los biplots GGE. El mismo permite identificar los ambientes que más contribuyen a la interacción GA, así como también los ambientes “ganadores” dentro de mega-ambientes favorables para determinados grupos de genotipos. En lo que concierne a las variedades, dado que los efectos asociados al genotipo han sido removidos del modelo, cualquier alejamiento del origen del biplot debe interpretarse asociado con los efectos de las interacciones GA (Balzarini *et al.*, 2005).

En el biplot GEE las dos primeras componentes principales explicaron el 93,5% de la suma de cuadrados de GA+A (GEE) ($P \leq 0,001$) (Figura 2.1). Sobre la CP1 los coeficientes ambientales tomaron tanto signo positivo como negativo, y sus proyecciones reflejaron con suma precisión el orden promedio de b^* de los ambientes, conforme lo demuestra la alta correlación existente entre los scores sobre la CP1 y las medias de b^* ($r = -0,99$, $P \leq 0,0001$). Sobre esta CP los ambientes se ordenaron siguiendo un patrón asociado a los efectos conjuntos de las temperaturas medias del segundo semestre ($r = 0,89$, $P \leq 0,001$), y las precipitaciones del mes de noviembre ($r = -0,91$, $P \leq 0,0001$), y también a la duración promedio del período desde la emergencia a la espigazón en cada ambiente ($r = -0,78$, $P \leq 0,01$). La CP2, en tanto, si bien aportó un bajo porcentaje de explicación, identificó a los ambientes 5 y 8 (Barrow en 2005 y 2006) como los que proporcionaron las condiciones más propicias para la ocurrencia de interacciones GA, conforme lo reflejan los

comparativamente altos escores de ambos marcadores ambientales sobre esa CP.

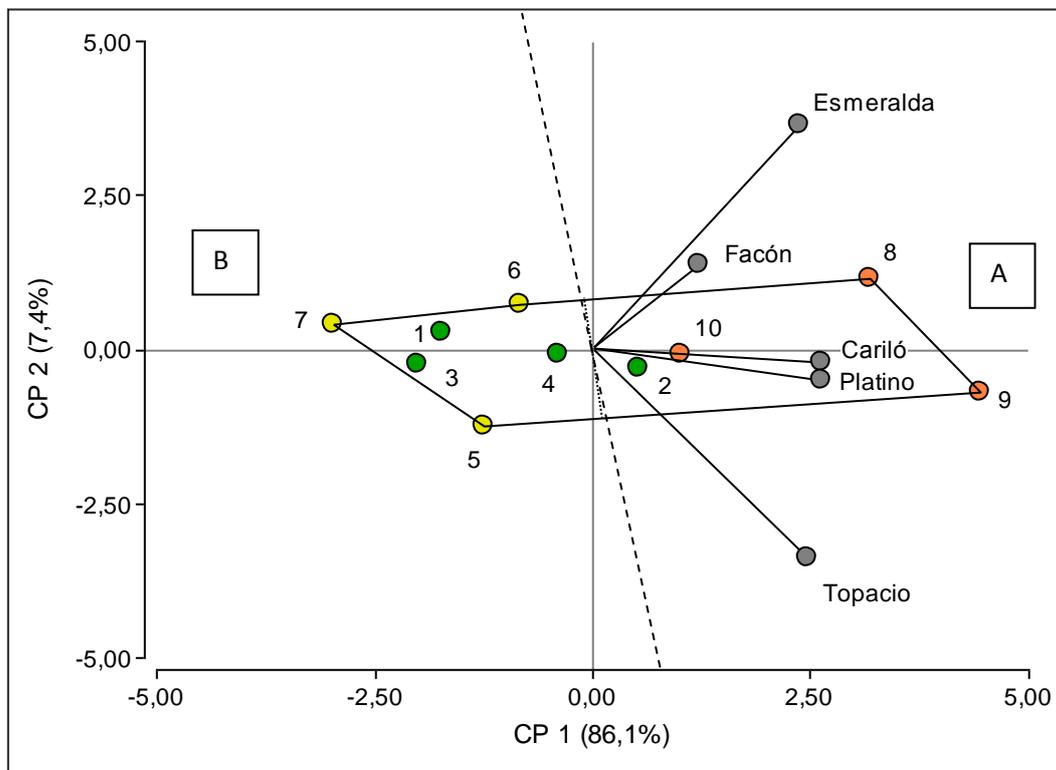


Figura 2.1. Biplot GEE para el Índice de Amarillo de la sémola (b^*) de cinco genotipos de trigo candeal evaluados en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006. (Ambientes 1-5-8: Barrow; 2-6-9: Cabildo; 3-7-10: La Dulce) (Círculos verdes, amarillos y naranjas: representan a las campañas 2004, 2005 y 2006, respectivamente).

En lo que concierne a los marcadores genotípicos, los mismos se posicionaron, sin excepción, sobre el lado positivo de la CP1, lo que permite inferir que entre los genotipos prevalecieron las respuestas proporcionales a los cambios del ambiente (Balzarini *et al.*, 2005). Schulthess *et al.* (2013), por el contrario, en un ensayo en el que se evaluaron 18 genotipos de *durum* en 13 ambientes de Chile determinaron que las interacciones con cambio de rango representaron el 91,9% del total de la SC de interacción. Sobre la CP2, en tanto, los marcadores genotípicos se separaron siguiendo un patrón asociado al largo del ciclo de la

variedad, con las dos variedades de ciclo más corto (Esmeralda y Facón) sobre el sector positivo, y las de ciclo intermedio (Platino) e intermedio largo (Cariló y Topacio), sobre el negativo. La observación de altos scores sobre la CP2 tanto en el caso de Esmeralda como en el de Topacio estaría indicando que estas variedades hicieron la mayor contribución a las interacciones con cambio de rango, mientras que los bajos scores registrados para Cariló y Platino, sumados a la alta inercia sobre la CP1, sugiere que entre estas variedades predominaron los cambios de color proporcionales a las variaciones del ambiente. Facón, en tanto, exhibió una menor respuesta al ambiente, con relativamente bajos scores sobre ambas CP.

2.5.1.3.a. ANÁLISIS DE LAS INTERACCIONES GA

En el polígono envolvente sobre cuyos vértices se ubicaron los cuatro ambientes de comportamiento más extremo para alguna de las cinco variedades (ambientes 5, 7, 8, y 9) quedaron delimitados dos sectores, A y B, el primero de los cuales albergó a los cinco genotipos del ensayo. Si bien de la observación del biplot se desprende que todas las variedades exhibieron interacciones positivas con los ambientes 8 y 9 (ambos vértices del polígono en el sector A), entre los mismos se dieron algunas diferencias en la respuesta que merecen comentarse. Así, la cercanía de las variedades Facón y Esmeralda al marcador ambiental del ambiente 8 (Barrow de 2006), sugiere que las mismas se vieron particularmente favorecidas por las condiciones imperantes en dicho sitio, en el que la fuerte sequía del mes de noviembre afectó seriamente el PMG de todos los materiales, en especial a los de ciclo más corto, y PMG potencialmente más alto, como Esmeralda. En este ambiente, debido a la significativa reducción que experimentó en la biomasa de su grano (31g vs 50g de los nueve ambientes restantes) Esmeralda se acercó a los niveles de b^* de las cuatro restantes (diferencia de 1,6 con las restantes variedades en el ambiente 8 vs 2,2 para el promedio de las diferencias en los 9 ambientes restantes), en tanto que Facón logró equiparar los niveles de

Topacio, que la aventajó en siete de los diez ambientes del ensayo (ver Tabla 2.10). Al respecto, Clarke *et al.* (2006) señalaron que la ocurrencia de estreses ambientales, tanto hídrico como térmico, en distintos momentos del llenado de granos, puede afectar tanto la concentración como la composición de los pigmentos, contribuyendo a la aparición de interacciones genotipo-ambiente. Por el contrario, Güler (2003) señaló que bajo condiciones de riego moderado, que propician la ocurrencia de altos PMG, los incrementos en los niveles medios de almidón fueron totalmente compensados con aumentos en los niveles medios de pigmento amarillo de la sémola. Mangels (1932), citado por Clarke *et al.* (2006), también determinó un incremento en el contenido de pigmento amarillo en granos que se llenaron bajo condiciones de tiempo fresco y húmedo. Del mismo modo, Lee *et al.* (1976) observaron mayor heterosis en la concentración de pigmento amarillo en el grano cuando los híbridos crecían bajo condiciones relativamente frescas y húmedas. En contraposición con estos resultados, para ambas variedades de ciclo corto, el ambiente 5 (Barrow en 2005), donde la conjunción de temperaturas relativamente bajas en octubre (que prolongaron la duración del período EMaESP) y de temperaturas moderadas y buena disponibilidad hídrica durante el llenado (que propiciaron la ocurrencia de PMG altos), resultó el menos favorable para el logro de altos niveles de color en ambas, conforme lo revela la ubicación del respectivo marcador ambiental, opuesto al del ambiente 8 (Fig. 2.1 y Tabla 2.12). Según puede apreciarse en la Fig. 2.2, las precipitaciones de noviembre en el caso de Esmeralda, y las temperaturas del segundo semestre del año en ambas variedades, tuvieron un impacto significativo sobre los niveles de color de la sémola, que operaron tanto de modo directo como indirecto, a través de cambios en el PMG, lo que constituye una clara diferencia con los tres genotipos restantes, entre los que prevalecieron los efectos directos de dichos factores climáticos sobre los niveles de color.

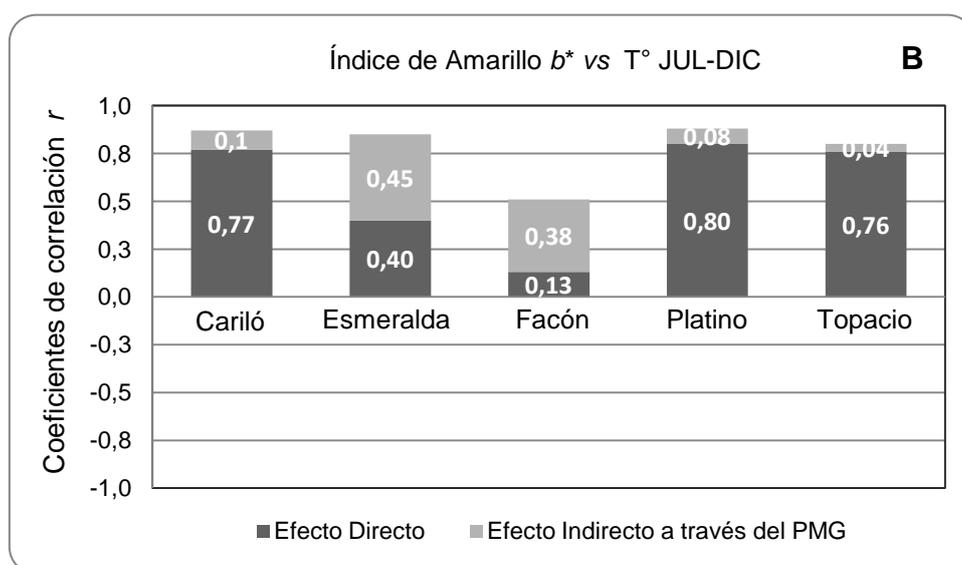
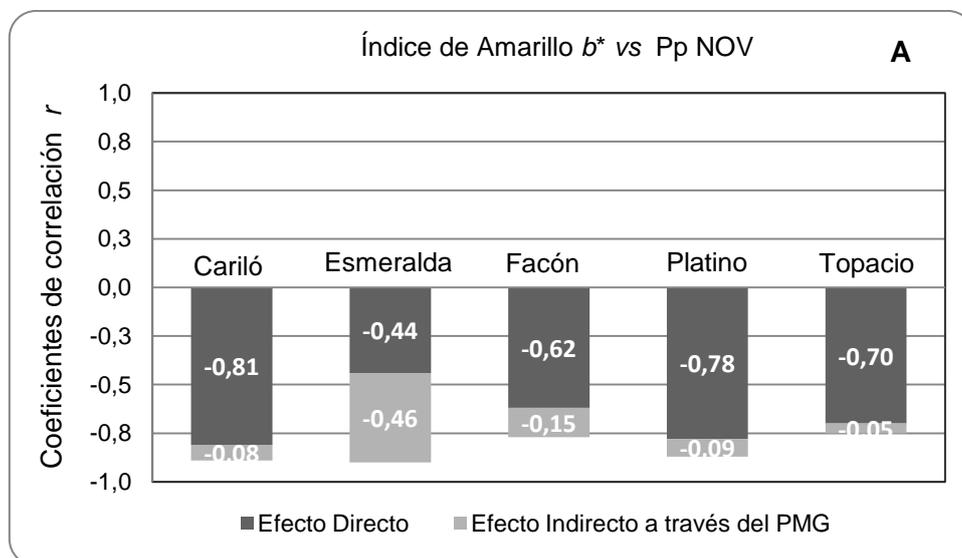


Figura 2.2. Coeficientes de Sendero para los efectos directos e indirectos de (A) las precipitaciones del mes de noviembre (mm), y (B) las temperaturas del segundo semestre del año ($^{\circ}$ C) sobre el Índice de amarillo de la sémola (b^*) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en diez ambientes del sur bonaerense.

En lo que respecta a las variedades de ciclo intermedio, e intermedio largo, las mismas presentaron su mejor comportamiento en Cabildo de 2006 (ambiente 9), y el peor, en La Dulce de 2005 (ambiente 7), donde las precipitaciones durante el llenado duplicaron a las del ambiente 9 (131mm vs 60mm), y la temperatura media de la primera quincena de diciembre fue c.a. 6°C más baja (16,5°C vs 22,4°C). Bajo estas condiciones, la ventaja de Topacio sobre las restantes se magnificó, en tanto que Cariló y Platino lograron equiparar a Facón.

Tabla 2.12. Valores medios de Índice de Amarillo de la sémola (b^*), largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón (EMaESP, días), peso de mil granos (PMG, g) y coeficientes de correlación de Pearson entre el b^* y PMG, en cuatro ambientes contrastantes.

Barrow 2005 (A5)				Barrow 2006 (A8)			
Variedad	EMaESP (días)	PMG (g)	b^*	Variedad	EMaESP (días)	PMG (g)	b^*
Topacio	111	52,3bc	24,5a	Topacio	99	30,4a	25,3a
Facón	104	51,8c	23,0b	Facón	94	33,8a	25,0ab
Cariló	111	54,6a	22,3b	Cariló	102	30,4a	24,2b
Platino	109	54,1ab	20,8c	Esmeralda	94	30,7a	23,0c
Esmeralda	105	56,2a	19,3d	Platino	98	31,2a	22,6c
Media	108	53,8	22,0	Media	97	24,0	31,3
DMS		2,1	0,94	DMS		6,4	1,02
$r = - 0,87^*$				$r = 0,27$			
La Dulce 2005 (A7)				Cabildo 2006 (A9)			
Variedad	EMaESP (días)	PMG (g)	b^*	Variedad	EMaESP (días)	PMG (g)	b^*
Facón	104	51,8c	23,2a	Topacio	90	37,9a	27,0a
Topacio	112	51,1c	22,5b	Cariló	91	34,1b	24,9b
Cariló	111	55,0b	21,5c	Facón	84	38,3a	24,2bc
Platino	111	54,3b	19,8d	Platino	90	38,8a	23,6c
Esmeralda	109	59,1a	19,5d	Esmeralda	84	39,7a	22,5d
Media	109	43,8	21,3	Media	88	37,8	24,5
DMS		1,97	0,62	DMS		2,84	0,77
$r = - 0,84†$				$r = - 0,41$			

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$).
*Estadísticamente significativo al 5% de probabilidad. † $0,05 < P < 0,10$

2.5.1.3.a. ESTABILIDAD DE LAS VARIEDADES

Si bien en virtud de la fuerte componente genética del atributo todos los materiales exhibieron niveles de color amarillo relativamente estables, entre los mismos se observaron algunas diferencias que merecen comentarse. De los cinco, Facón presentó la menor respuesta al ambiente, siendo el único que presentó un coeficiente de regresión b_i significativamente menor a la unidad, con niveles de color elevados aun en los ambientes donde el resto de las variedades experimentaron menores valores de b^* (ambiente 7), y viceversa, niveles comparativamente bajos, aunque igualmente destacados, allí donde las demás presentaron sus mejores índices de color (ambiente 9) (Tablas 2.12 y 2.13). Es probable que su precocidad, sumada a su bajo PMG, haya contribuido a esta respuesta, teniendo en cuenta que, según aseveran diversos autores, las variedades precoces tienden a exhibir mayor consistencia en la calidad, en especial en regiones donde es frecuente la ocurrencia de estrés hídrico y/o térmico hacia el final de la estación de crecimiento (Saint Pierre *et al.*, 2007; Dettori *et al.*, 2011). Variedades con este tipo de comportamiento podrían ser una opción interesante en áreas que registran grandes fluctuaciones interanuales en las condiciones climáticas durante el llenado de granos.

Tabla 2.13. Valores medios de Índice de Amarillo de la sémola (b^*), y parámetros de estabilidad de cinco genotipos de trigo candeal a través de diez ambientes de cultivo en el sur bonaerense

Genotipo	b^*	e_1^a	e_2^a	b_i^b	CV(%) ^d
Cariló	22,7 c	0,51	-0,04	1,08	5,47
Esmeralda	20,9 d	0,46	0,70	1,02	5,74
Facón	23,6 b	0,24	0,26	0,54**	3,08
Platino	21,0 d	0,51	-0,10	1,10	5,71
Topacio	24,5 a	0,47	-0,65	1,03	5,03
Promedio	22,6	---	---	1,0	5,0

^(a) EscORES sobre la CP1 y CP2 del biplot GEE; ^(b) Coeficiente de la regresión; ^(c) Coeficiente de Variación
^(d) Difiere estadísticamente de la unidad, con $P < 0,01$.

Los restantes genotipos presentaron coeficientes de variación comparables, y coeficientes de la regresión b_i que no difirieron estadísticamente de la unidad. De los cuatro, Cariló y Platino, respondieron de manera proporcional a los cambios del ambiente, conforme la revelan los altos escores sobre la CP1, y los muy bajos escores sobre la CP2 del biplot, en tanto que, Esmeralda y Topacio, probablemente como consecuencia de la interacción entre el largo ciclo y el PMG característicos de la variedad, en algunos ambientes observaron respuestas más extremas. Cabe señalar por último, que tanto en el caso de Esmeralda como de Platino, las dos variedades con menores valores de b^* del ensayo, solo en áreas o campañas donde se den condiciones de sequía y altas temperaturas durante el llenado, podrían alcanzar niveles de color en la sémola dentro del rango de satisfacción que plantea la industria para el consumo interno.

2.5.2. INFLUENCIA DEL GENOTIPO, EL AMBIENTE Y LAS INTERACCIONES GENOTIPO-AMBIENTE SOBRE EL CONTENIDO Y LA FUERZA DE GLUTEN DE LA SÉMOLA

Una red de gluten abundante y fuerte es un requisito clave que permite sostener los gránulos de almidón gelatinizados durante la cocción de la pasta, minimizando las pérdidas de sólidos en el agua y evitando, por ende, la pegajosidad superficial del fideo (Dexter *et al.*, 1983). Conforme se puntualizó al inicio de este capítulo el contenido de gluten húmedo de la sémola (GH) estuvo influido principalmente por los efectos de A y las interacciones GA, y en menor medida por los efectos de G, en tanto que la fuerza de gluten, medida a través del Gluten Index (GI), estuvo fuertemente influida por los efectos de G, y en menor proporción por los efectos de A y de las IGA, respectivamente (Ver Tabla 2.2). Estas observaciones se hallan en sintonía con resultados previos informados en Argentina para trigo candeal por Miravalles *et al.* (2006, 2007), Conti (2007), Conti *et al.* (2011) y Seghezzo *et al.* (2011), y para trigo pan por Mortarini *et al.* (2004), Zamora *et al.* (2005), Chidichimo *et al.* (2007), Abbate *et al.* (2008, 2010), Gómez (2011). Asimismo, los resultados reportados por Mariani *et al.* (1995), Ames *et al.* (1999), Rharrabti *et al.* (2003), Oak *et al.* (2004), Finlay *et al.* (2007), Clarke *et al.* (2009), Taghouti *et al.*, 2010, Sakin *et al.* (2011), Li *et al.* (2013) y Vida *et al.* (2014) concuerdan con lo observado en este estudio. En contrapartida, Nachit *et al.* (1995), reportaron que la fuerza de gluten, medida a través del test de sedimentación SDS, resultó influida en mayor medida por los factores ambientales que por el genotipo.

2.5.2.1. INFLUENCIA DEL AMBIENTE SOBRE LA CANTIDAD Y LA FUERZA DEL GLUTEN

Como era de esperar en función de los relativamente altos valores de proteína del grano, los niveles medios de GH de la sémola fueron altamente satisfactorios, superando el 30% en todos los ambientes. El promedio general

fue 35,5%, con un mínimo de 31,2% en La Dulce de 2005 (ambiente 7), y un máximo de 38,9% en Cabildo durante 2005 y 2006 (ambientes 6 y 9, respectivamente) (Tabla 2.14).

En lo que respecta a la fuerza de gluten, la media de GI del ensayo fue 78%, y varió entre un mínimo de 68% en Cabildo de 2005, y un máximo de 90% en la misma localidad al año siguiente. Según estos guarismos nueve de los diez ambientes del ensayo presentaron niveles medios de fuerza entre buenos y muy buenos (GI entre 66 y 85%), en tanto que solo un ambiente cayó dentro la categoría de “excelente” (> 85%) (Cubadda *et al.*,1992).

Tabla 2.14. Valores medios y rango de variación del contenido de Gluten Húmedo (%) y de Gluten Index (%) de la sémola en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense entre 2004 y 2006.

Año	Sitio	Ambiente	Gluten Húmedo (%)		Gluten Index (%)	
			Media†	Rango	Media†	Rango
2004	Barrow	1	32,9	30,8 - 35,3	75	47 - 93
	Cabildo	2	38,5	36,9 - 39,7	72	52 - 83
	La Dulce	3	33,4	31,3 - 35,6	80	59 - 94
	Bordenave	4	31,6	28,6 - 33,3	79	49 - 94
2005	Barrow	5	32,7	30,4 - 35,1	81	45 - 96
	Cabildo	6	38,9	36,6 - 40,3	68	20 - 97
	La Dulce	7	31,2	28,7 - 34,8	80	40 - 97
2006	Barrow	8	38,6	33,3 - 45,5	81	59 - 91
	Cabildo	9	38,9	32,1 - 46,2	90	71 - 98
	La Dulce	10	38,7	32,7 - 47,4	70	46 - 87
Media			35,5	28,6 - 46,2	77,6	20 - 98
CV (%)			9,6		8,3	

† Promedio de cinco genotipos y tres repeticiones por genotipo
DMS: Diferencia Mínima Significativa protegida de Fisher ($P \leq 0,05$).
CV: Coeficiente de Variación.

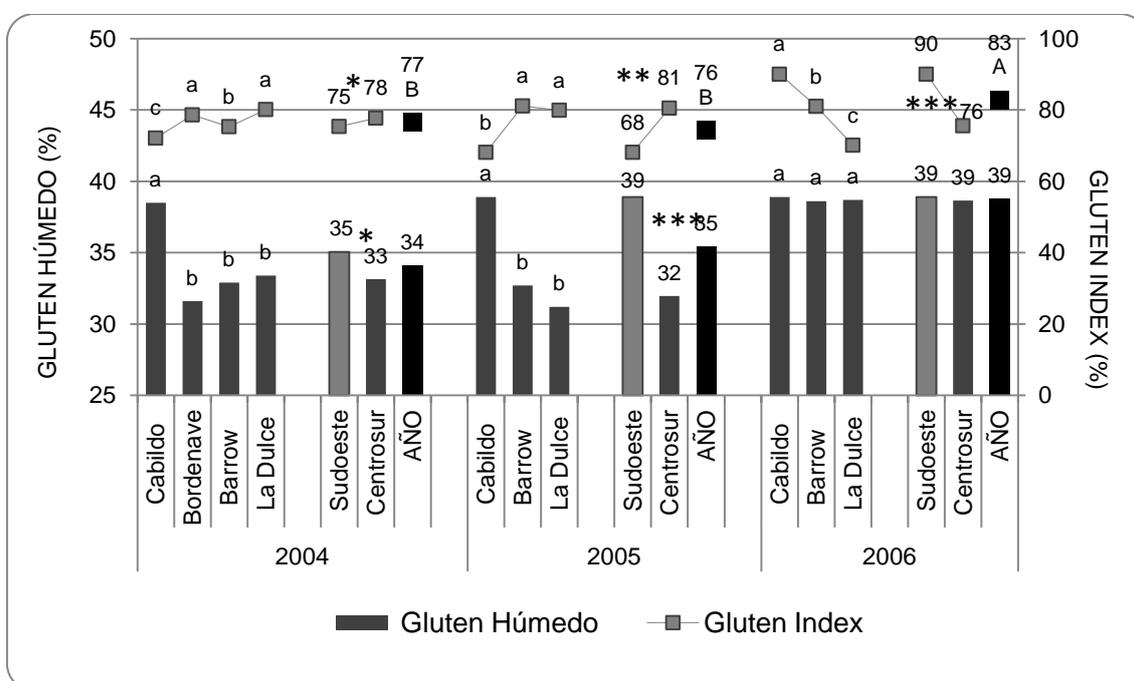
El ANOVA triple arrojó efectos entre significativos y altamente significativos de todas las fuentes de variación sobre ambos atributos analizados (Tabla 2.15). En lo que respecta a los efectos del ambiente (A) sobre GH, al igual que lo reportado para PROT, la mayor contribución le correspondió a los efectos de L, seguida por Y y LxY (21%, 16,7% y 8,6% de la variabilidad total, respectivamente). Seghezzi *et al.* (2011) para el mismo set de genotipos, evaluados en 30 ambientes entre 2004 y 2008, determinaron que para GH los efectos individuales de L eran numéricamente mayores a los de G e Y, en tanto que LxY fue la principal fuente de variación. En Turquía Sakin *et al.* (2011), para 25 genotipos cultivados en tres localidades por dos años consecutivos determinaron contribuciones del orden del 31,5%, 4,1% y 11,5% a la variabilidad total del GH, para L, Y y LxY, respectivamente. En contrapartida, Ames *et al.* (2003) evaluaron diez genotipos de origen canadiense y americano en cuatro localidades durante dos años, bajo riego y en seco, y concluyeron que a diferencia de lo observado para el contenido de proteína, sobre el GH de la sémola no hubo efectos ambientales evidentes (año o tratamientos de riego), sugiriendo que GH es un rasgo relativamente estable.

Tabla 2.15. Análisis de la varianza para el contenido de Gluten Húmedo de la sémola (GH, %), y el Gluten Index (GI, %) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en cuatro localidades del sur bonaerense durante tres años.

Fuente	gl ^a	GLUTEN HÚMEDO			GLUTEN INDEX			
		SC ^b Tipo III	SC %	CM ^c	SC ^b Tipo III	SC %	CM ^c	
Año (Y)	2	519,6	16,7	259,8 ***	55,26	1,1	27,63 ***	
Localidad (L)	3	652,4	21,0	217,5 ***	26,31	0,5	8,77 *	
Y x L	4	267,4	8,6	66,8 ***	481,04	9,8	120,26 ***	
Bloq (Y x L)	20	137,6	4,4	6,9 **	60,2	1,2	3,01 ***	
Genotipo (G)	4	358,9	11,6	89,7 ***	3467,6	70,5	866,9 ***	
G x Y	8	601,5	19,4	75,2 ***	310,16	6,3	38,77 ***	
G x L	12	72,8	2,3	6,1 **	80,88	1,6	6,74 *	
G x Y x L	16	281,9	9,1	17,6 ***	208,8	4,2	13,05 ***	
Error	80	213,7	6,88	2,7	230,4	4,7		

^a Grados de libertad; ^b Suma de Cuadrados; ^c Cuadrado medio.
*, **, *** Significativas con $P \leq 0,05$, $0,01$ y $0,001$, respectivamente.

Entre las localidades participantes del ensayo, Cabildo, en el Sudoeste semiárido, se destacó con valores de GH que fueron entre un 15% (2004) y un 18% (2005) superiores a los del resto, en promedio, incluida Bordenave (solo en 2004), siendo equiparada por Barrow y la Dulce solo en 2006, año en que las tres exhibieron niveles de GH > 38,5%, debido a los altos niveles proteicos del grano ($15,4\% \pm 0,3$). Respecto de las localidades del Centrosur, cabe señalar que las tres campañas presentaron valores de GH que no difirieron entre sí, ubicándose en el promedio de los tres años ca. 2,5% por debajo de la media de la región del Sudoeste ($F=30,47$, $P\leq 0,0001$) (Figura 2.3).



^a Letras diferentes en cada año, indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$)

*, **, *** Contrastes significativos al 5%, 1% y 0,1% de probabilidad. ns, no significativo

Figura 2.3. Valores medios de Gluten Húmedo (%) y Gluten Index (%) en la sémola en cuatro localidades del sur bonaerense entre 2004 y 2006.

En lo que respecta al Gluten Index, debido a la fuerte componente genética del carácter, las contribuciones de las fuentes de variación asociadas a los efectos de A fueron bajas, con un mayor aporte de la interacción LxY por sobre Y y L

(9,8%, 1,1% y 0,5% de la variación total, respectivamente), coincidiendo con lo observado por Rharrabti *et al.* (2003) en España. Por su parte, Sakin *et al.* (2011) observaron que entre los efectos ambientales que ejercían mayor impacto sobre el GI, predominaban los efectos de L, por sobre los de Y y LxY. En Argentina, Gómez (2011) para seis cultivares de trigo pan cultivados en Pergamino y Marcos Juárez durante dos años, reportó cambios significativos en la fuerza (medida a través del W alveográfico), asociados a L (20% de la variación), y en menor medida, a la interacción LxY y a Y (5,1% y 1,8%, respectivamente). Al respecto, Abbate *et al.* (2010) determinaron que los efectos aislados de L sobre el W alveográfico superaban a los de G e Y, y solo eran equiparados por la interacción LxY.

Los niveles de fuerza más altos y la mayor variabilidad entre localidades se dieron en 2006 ($P \leq 0,0001$), en tanto que en las dos campañas previas, tanto el GI como la variabilidad entre sitios fue menor (GI de 76,5%, 76,4% y 80,4%, y CV de 4,6%, 9,4% y 12,4% para 2004, 2005 y 2006, respectivamente). Estas observaciones se hallan en sintonía con lo reportado por Borghi *et al.* (1997) y Taghouti *et al.* (2010) quienes puntualizaron que las campañas más secas y cálidas ofrecen mejores condiciones para el logro de valores de fuerza más altos.

Entre las localidades, el promedio de GI más alto al cabo de los tres años le correspondió a Barrow (79,2% vs 76,8% y 76,7% de Cabildo y La Dulce, respectivamente), que además experimentó la menor variabilidad entre años (CV 4,2% vs 7,4% y 15,2% para Barrow, La Dulce y Cabildo, respectivamente).

En lo que concierne a las diferencias de GI entre Subregiones, se observaron variaciones significativas entre años, con ventajas para el Centrosur del orden del 3% y el 15,4% en 2004 y 2005, respectivamente, y del 16% para el Sudoeste en 2006. Estos resultados concuerdan con las observaciones de Rharrabti *et al.* (2003) para trigo *durum* cultivado en tres regiones de España, quienes reportaron interacciones zona x año significativas para la fuerza de

gluten, medida en este caso a través del test de SDS. Desde un punto de vista práctico esto representa un aspecto clave a ser considerado por la industria procesadora asentada en una determinada región, que para disponer de materia prima de calidad estable a través de los años, necesariamente deberá recurrir a la mezcla.

2.5.2.1.a. INFLUENCIA DE LOS FACTORES DEL CLIMA SOBRE LA CANTIDAD Y LA FUERZA DE GLUTEN: EFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS

Para el conjunto de ambientes del ensayo el GH de la sémola exhibió correlaciones entre nulas, y negativas y altamente significativas, con las precipitaciones caídas en distintos momentos del ciclo del cultivo, y entre nulas, y positivas y altamente significativas, con las temperaturas. Al igual que lo descrito para el contenido proteico del grano (Ver Tabla 1.7 en Pág. 55), las variables del clima que mostraron la asociación más estrecha con GH fueron las precipitaciones caídas durante el primer el semestre del año ($r = - 0,84$, $P \leq 0,01$), las caídas en el primer trimestre del ciclo del cultivo ($r = - 0,82$, $P \leq 0,01$), y la sumatoria de ambas ($r = - 0,90$, $P \leq 0,001$). En tanto, en lo que respecta a las temperaturas, la relación más estrecha se dio con la temperatura media del segundo semestre ($r = 0,77$, $P \leq 0,01$). Conforme lo revela el Análisis de Sendero que se presenta en la Tabla 2.6, tanto en el caso de las precipitaciones, como en el de las temperaturas, sus efectos sobre GH operaron casi exclusivamente de modo indirecto a través del contenido de proteína del grano, variable que explicó un 96% de la variación en los niveles de GH entre ambientes ($P \leq 0,001$) (Fig. 2.4). El Khayat *et al.* (2006), Ionescu y Stoenescu (2010), Mohammed *et al.* (2012), Larsen y Jensen (2016), entre otros, también han informado una fuerte asociación entre ambas variables. Al respecto, Ionescu y Stoenescu (2010) señalaron que el contenido de gluten está directamente correlacionado con la proteína del grano, atributo que a su vez se halla fuertemente influenciado por las condiciones pedoclimáticas.

Tabla 2.16. Efectos directos e indirectos de las lluvias acumuladas entre enero y septiembre (mm), y de la temperatura media del segundo semestre del año (°C) sobre el porcentaje de gluten húmedo de la sémola (N=10).

Efecto	Vía	Coeficientes	p-valor
Lluvias ENE-SET	Directa	0,08	
	Proteína	-0,98	
<i>r</i> total		-0,90	0,0004
T° 2do.Semestre	Directa	0,07	
	Proteína	0,70	
<i>r</i> total		0,77	0,0094

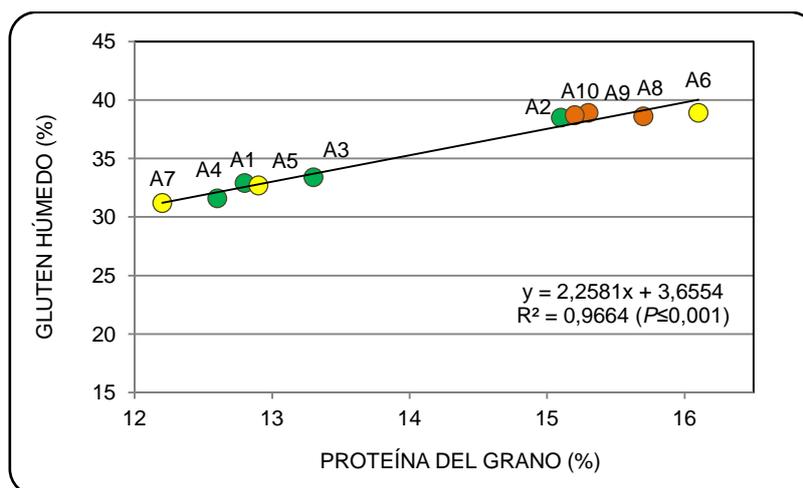


Figura 2.4. Contenido de Gluten Húmedo de la sémola (%) en función del porcentaje del proteína del grano en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense (Ambientes 1-5-8: Barrow; 2-6-9: Cabildo; 3-7-10: La Dulce) (Círculos verdes, amarillos y naranjas: representan a las campañas 2004, 2005 y 2006, respectivamente).

En lo que concierne al Gluten Index, por el contrario, las variaciones experimentadas a través de los distintos ambientes (entre 68% y 90%),

guardaron escasa relación con el contenido de proteína del grano, y el de gluten húmedo, pero estuvieron significativamente correlacionadas con las variables farinográficas (NE y AFLO), y alveográficas (W, P, L y P/L) (Tabla 2.17), en sintonía con lo reportado por Cubbada y Carcea (1994), Lerner *et al.* (2004), Edwards *et al.* (2007), Miravalles *et al.* (2007) y Clarke *et al.* (2010).

Tabla 2.17. Coeficientes de correlación de Pearson entre el Gluten Index (GI, %), el gluten húmedo (GH,%), el porcentaje de proteína del grano (PROT, %), y las variables alveográficas (W, P, L y P/L)^a y farinográficas (AFLO y NE)^b, en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense.

Variable	GI	GH	PROT	W	P/L	P	L	AFLO	NE
GI	--	-0,22	-0,25	0,62*	0,81**	0,78**	-0,68*	-0,60*	0,29
GH		--	0,98***	0,47	0,26	0,31	0,29	-0,14	0,41
PROT			--	0,47	0,23	0,29	0,34	-0,19	0,44
W				--	0,87**	0,93***	-0,32	-0,60*	0,57
P/L					--	0,98***	-0,69*	-0,68*	0,48
P						--	-0,62*	-0,68*	0,55
L							--	0,40	-0,18
Aflo								--	- 0,79**
NE									--

* ** *** Significativos al 5%, 1% y 0,1% de probabilidad, respectivamente.

^(a) W: Fuerza o Trabajo de Deformación, 10⁻⁴ Joules; P: Tenacidad, mm; L: Extensibilidad, mm; P/L: relación de equilibrio entre ambas.

^(b); AFLO: Aflojamiento, %; NE: Nivel de Energía

Para el conjunto de ambientes del ensayo el GI mostró escasa asociación con la mayoría de las variables climáticas analizadas, excepto con la temperatura media de la primera quincena de diciembre, con la que exhibió una relación de tipo curvilínea, donde los valores de fuerza más altos se dieron en aquellos

ambientes en los que la fase final del llenado se desarrolló con temperaturas en el rango extremo, tanto bajas como muy altas (Figura 2.5). Estas observaciones concuerdan con lo reportado por Vida *et al.* (2014) para trigos *durum* de invierno de Hungría quienes determinaron que las temperaturas imperantes en la segunda decena del mes de junio, entre grano lechoso y grano pasta blanda, tenían un impacto significativo sobre la fuerza de gluten medida a través del GI.

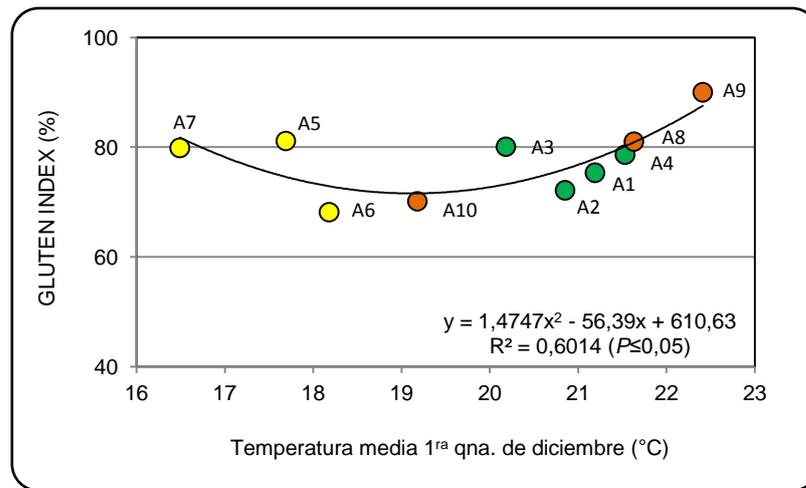


Figura 2.5. Gluten Index de la sémola (%) en función de la temperatura media de la primera quincena de diciembre (°C) en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense (Ambientes -5-8: Barrow; 2-6-9: Cabildo; 3-7-10: La Dulce) (Círculos verdes, amarillos y naranjas: representan a las campañas 2004, 2005 y 2006, respectivamente).

Fois *et al.* (2011) determinaron aumentos en el GI frente a incrementos de las temperaturas del llenado hasta los 30°C, y disminuciones con temperaturas mayores, asociadas en ambos casos con cambios en la relación gliadina/glutenina (GLI/GLU) de la proteína, disminuciones en el primer caso, y aumentos en el segundo. En el presente ensayo, si bien la composición de la proteína de reserva medida por SE-HPLC se vio significativamente afectada por las lluvias y las temperaturas del llenado, dichos cambios se vieron

escasamente reflejados por el GI (Tabla 2.18). En contrapartida, las variables farinográficas (NE y AFLO), y alveográficas (W, P, L y P/L), se mostraron más sensibles a los efectos de las variables climáticas, lo que fue de sumo valor para interpretar la influencia de los factores del clima sobre la fuerza de gluten. La diferente sensibilidad de los parámetros farinográficos y alveográficos respecto del GI frente a las variaciones en las condiciones ambientales, podría atribuirse a los efectos opuestos que en muchos casos ejercen los factores del clima sobre el porcentaje de proteína y la calidad del gluten. Así, mientras que los parámetros tecnológicos son medidos sobre muestras de masa, reflejando por lo tanto el efecto combinado de la cantidad y la calidad de la proteína sobre la fuerza de la misma, el GI, solo cuantifica los efectos del ambiente sobre la calidad de la proteína, en virtud de que el mismo se determina sobre una muestra de gluten.

En lo que respecta a las variables alveográficas, las mismas se vieron influenciadas negativamente por las lluvias de noviembre ($r = -0,59$, para W, P y P/L, $P = 0,07$), y de modo positivo por las temperaturas del llenado ($r = 0,66$, $0,61$ y $0,62$ para W, P y P/L, respectivamente, con $P \leq 0,05$ en el caso de W). El análisis cuantitativo de las distintas fracciones que integran la proteína de reserva realizado por SE- HPLC mostró que tanto las precipitaciones de noviembre como las temperaturas del llenado provocaron cambios significativos en el estado de agregación del macropolímero de glutenina: disminución de la fracción más insoluble de la proteína polimérica (GI/GT) en el caso de la primera ($r = -0,78$, $P \leq 0,001$), y aumento en la segunda ($r = 0,79$, $P \leq 0,01$). Estos resultados concuerdan con las observaciones de Panozzo *et al.* (2001) quienes bajo condiciones de déficit hídrico reportaron un incremento en la proporción de glutenina altamente polimérica sin variaciones en la relación GLI/GLU. Edwards *et al.* (2007) puntualizaron que los parámetros del alveograma son particularmente sensibles a las variaciones que experimenta la fracción insoluble de la proteína polimérica, y en menor medida, a las que sufre la relación GLI/GLU. Flagella *et al.* (2010), en tanto, reportaron una mejora en el GI en condiciones de baja disponibilidad de agua durante el llenado,

compatible con una disminución de la relación GLI/GLU, y un aumento del estado de agregación de la fracción de gluteninas.

Tabla 2.18. Coeficientes de correlación simple de Pearson entre las precipitaciones (Pp,mm), las temperaturas medias (T, °C), la humedad relativa ambiente (HR, %) en distintos momentos del llenado de granos, y las variables estimadoras de la fuerza de gluten y de composición de la proteína de reserva, en diez ambientes de cultivo del trigo candeal del sur bonaerense.

Variables Climáticas	Variables Composición		Gluten Index (%)	Variables Farinográficas		Variables Alveográficas			
	GLI/GLU	GI/TG (%)		AFLO (%)	NE	W (10 ⁻⁴ J)	P (mm)	L (mm)	P/L
Pp. Nov. (mm)	-0,38	-0,78**	-0,06	0,25	-0,37	-0,59†	-0,59†	0,23	-0,59†
Pp1 ^a qna.Dic(mm)	0,74**	0,15	-0,10	0,67*	-0,58†	0,01	-0,08	0,11	-0,10
Pp. Dic. (mm)	0,60†	0,20	-0,27	0,72*	-0,42	0,04	-0,12	0,26	-0,17
Pp. llenado (mm)	0,89***	-0,28	-0,12	0,75**	-0,73*	-0,30	-0,39	0,22	-0,41
T Nov. (°C)	-0,61†	0,11	0,06	-0,57†	0,51	0,32	0,23	0,17	0,21
T 1 ^a q. Dic. (°C)	0,43	0,76**	0,33	0,14	-0,29	0,55	0,54†	-0,29	0,55†
T Dic. (°C)	0,35	0,82**	0,19	0,19	-0,35	0,41	0,40	-0,17	0,45
T llenado (°C)	0,19	0,79**	0,35	-0,08	-0,09	0,66*	0,61†	-0,21	0,62†
HR Nov (%)	0,72*	-0,20	-0,20	0,70*	-0,64*	-0,41	-0,49	0,29	-0,48
HR 1 ^o qna. Dic (%)	0,49	0,26	-0,05	0,54	-0,43	-0,01	-0,11	0,29	-0,10
HR Llenado (%)	0,66*	0,00	-0,14	0,67*	-0,58†	-0,25	-0,34	0,31	-0,33

*, **, *** Significativos al 5%, 1% y 0,1% de probabilidad, respectivamente. † Significativos al 10%,
^a NE: Nivel de Energía; AFLO: Aflojamiento ^b W: Fuerza o Trabajo de Deformación; P: Tenacidad; L: Extensibilidad; P/L: relación de equilibrio entre ambas.

En lo que concierne a las variables farinográficas, tanto AFLO como NE se vieron afectadas por las precipitaciones caídas durante el período del llenado de granos ($r = 0,75$, $P \leq 0,01$ y $r = -0,73$, $P \leq 0,05$, respectivamente), en especial por las lluvias del mes de diciembre ($r = 0,72$, $P \leq 0,05$, para AFLO), que determinaron un aumento significativo de la fracción de GLI ($r = 0,87$, $P \leq 0,001$), disminución de la de GLU ($r = -0,89$, $P \leq 0,001$), y aumento, en consecuencia, de la relación GLI/GLU ($r = 0,89$, $P \leq 0,001$), frente a niveles crecientes de precipitaciones en esta etapa.

Un análisis de regresión múltiple paso a paso determinó que las precipitaciones caídas durante el llenado de granos dieron cuenta por el 79% de la variación en los valores de GLI/GLU de la proteína ($R^2_{Aj}= 0,76$, $F=29,62$, $P \leq 0,001$), lo cual permitió identificar dos grupos de ambientes con perfiles diferentes de composición, asociados a la disponibilidad de agua en dicha etapa (Tabla 2.19). En el primero, quedaron incluidos los cuatro ambientes de la campaña 2004, que para dicho período recibieron precipitaciones por encima de los 150mm, entre los cuales la proteína de reserva presentó relaciones GLI/GLU que oscilaron entre 1,3 y 1,5. Dado que la fracción de GLI actúa como sustancia plastificante en el gluten, contribuyendo a la viscosidad, en tanto que la de GLU contribuye con la elasticidad, se ha señalado que relaciones GLI/GLU más altas serían consistentes con glútenes o masas más extensibles y menos elásticos (Edwards *et al.*, 2007). En sintonía con estas afirmaciones los cuatro ambientes de 2004 presentaron, en promedio, niveles significativamente menores de GI, NE, W, P y P/L, y valores más altos de AFLO y L (Tabla 2.19). En coincidencia con estos resultados Panozzo *et al.* (2001), Rharrabti *et al.* (2003), Li *et al.* (2013) y Vida *et al.* (2014) también observaron una disminución significativa de la fuerza de gluten con niveles altos de disponibilidad hídrica durante el llenado de granos. Estos resultados contrastan con las observaciones de Saint Pierre *et al.* (2008) quienes para trigo pan, reportaron que GLI/GLU aumentaba en respuesta al estrés hídrico y en forma consistente con un aumento de la proteína. Con relación a la observación de resultados dispares acerca de los efectos de la disponibilidad hídrica sobre la composición de la proteína de reserva, Singh *et al.* (2012) concluyeron que dichos efectos son altamente dependientes de la variedad, y del momento en que se dan las condiciones de baja o alta disponibilidad de agua. Al respecto se ha señalado que, en virtud de que la máxima tasa de síntesis de gluteninas ocurre más tarde que la máxima tasa de gliadinas (Panozzo *et al.*, 2001), un estrés tardío podría tener efectos más deletéreos sobre la síntesis de gluteninas que de gliadinas.

Tabla 2.19. Valores medios de fuerza de gluten, composición de la proteína de reserva del endosperma y significancia de los contrastes, entre dos grupos de ambientes con niveles contrastantes disponibilidad de agua durante el llenado de granos.

Variables de Fuerza	Disponibilidad de agua durante el llenado				Contraste	
	BAJA		ALTA		F	p-valor
Gluten Index (%)	78,4	(8,1)	76,5	(3,5)	4,1	<0,06
AFLO (%) ^a	28,6	(3,0)	35,2	(2,3)	637,5	<0,0001
NE ^b	52,1	(3,7)	38,3	(3,1)	500,6	<0,0001
W (10 ⁻⁴ Joules) ^c	229,1	(60,4)	199,7	(13,6)	29,3	<0,0001
P (mm) ^d	105,7	(33,0)	86,9	(5,4)	74,9	<0,0001
L (mm) ^e	64,3	(12,9)	67,6	(11,7)	3,1	<0,1
P/L ^f	1,9	(1,0)	1,4	(0,3)	28,3	<0,0001
Variables de Composición						
Gli (%)	39,2	(1,8)	53,5	(1,3)	996,0	<0,0001
Glu (%) ^h	54,6	(2,8)	39,3	(1,5)	1261,3	<0,0001
Gli/glu ⁱ	0,7	(0,1)	1,4	(0,1)	1913,1	<0,0001
GI/GT (%) ^j	50,3	(19,5)	49,9	(5,7)	0,60	ns

^a Aflojamiento Farinográfico, ^b Nivel de Energía, ^c Fuerza alveográfica, ^d Tenacidad, ^e Extensibilidad, ^f Relación Tenacidad/Extensibilidad, ^g Gliadinas, ^h Gluteninas, ⁱ Relación Gliadinas/Gluteninas, ^j Proteína polimérica insoluble/Proteína polimérica total

† Valores entre paréntesis indican el desvío estándar de la media

Si bien entre los ambientes que exhibieron alta disponibilidad de agua durante el llenado, las variaciones en los distintos parámetros estimadores de fuerza fueron relativamente acotadas, se observó que con temperaturas superiores a los 21°C durante la primera quincena de diciembre, se produjo un incremento significativo de la relación GLI/GLU, y una disminución de la fracción más insoluble de la proteína polimérica (GI/G), que solo se vieron reflejados en una leve disminución de W (Figura 2.6). Estas observaciones concuerdan con resultados previos publicados en la bibliografía que dan cuenta de aumentos en la relación GLI/GLU (Marchylo *et al.*, 1990; Randall y Moss, 1990; Blumenthal *et al.*, 1991, 1993; Stone y Nicolas, 1994; Labuschagne *et al.*, 2009) y/o disminución de la fracción más insoluble de la glutenina (Borghi *et al.*, 1995; Ciaffi *et al.*, 1996; Corbellini *et al.*, 1996) por efecto de temperaturas muy altas durante el llenado de granos. Las temperaturas altas durante el llenado de granos han sido identificadas como una fuente de variación importante de la

calidad del trigo. Se ha demostrado, por ejemplo, que una reducción de la duración del llenado debido a temperaturas excesivamente elevadas acortó la duración de la síntesis de gluteninas, afectando negativamente la fuerza de gluten (Ciaffi *et al.*, 1996; Stone y Nicolas, 1996; Corbellini *et al.*, 1997). Asimismo, se ha sugerido que la disminución en el tamaño de los macropolímeros de gluteninas en el grano maduro por causa de las elevadas temperaturas puede relacionarse con la sensibilidad al calor de las enzimas involucradas en la síntesis de la disulfuro isomerasa, enzima que participa de la formación de los enlaces disulfuro, y del aumento del estado de agregación del complejo macropolímero proteico (Blumenthal *et al.*, 1991). En Argentina, Cuniberti *et al.* (1998) para la región centro, reportaron debilitamiento de las masas en trigo pan, con disminución de la relación P/L en campañas con muy altas temperaturas y baja humedad relativa durante el llenado de granos.

En el otro grupo de ambientes, quedaron incluidos los seis ambientes correspondientes a las campañas 2005 y 2006, con precipitaciones durante el llenado entre 60mm y 131mm, relaciones GLI/GLU menores a uno (entre 0,65 y 0,81), y niveles de fuerza que fueron, en promedio, superiores a los del grupo anterior para todas las variables sin excepción. Estos resultados coinciden con los de Panozzo *et al.* (2001) y Flagella *et al.* (2010) quienes determinaron que la ocurrencia de sequía durante el llenado de granos, producía una mejora significativa de la fuerza de gluten, consistente con un incremento en la cantidad del macropolímero de glutenina. Por el contrario, Saint Pierre *et al.* (2008) bajo condiciones de sequía durante el llenado de granos, observaron disminución de la fuerza e incrementos en la fracción de gliadinas, compatibles con un aumento del tenor proteico del grano. Del mismo modo, Balla *et al.* (2011) en Hungría, sobre cinco cultivares de trigo pan de diferente base genética, reportaron que la calidad industrial, medida a través del test de Zeleny, se deterioraba bajo condiciones de sequía o de sequía combinada con estrés por calor, vinculándose dicho deterioro con aumentos de la relación GLI/GLU y disminución de la fracción GI/GT. Más allá de la disparidad de resultados que muestra la bibliografía, lo expuesto avala las afirmaciones de

Zhao *et al.* (2009), respecto de la alta sensibilidad que presentan los componentes de la proteína a la ocurrencia de sequía durante las fases más tardías del desarrollo del grano.

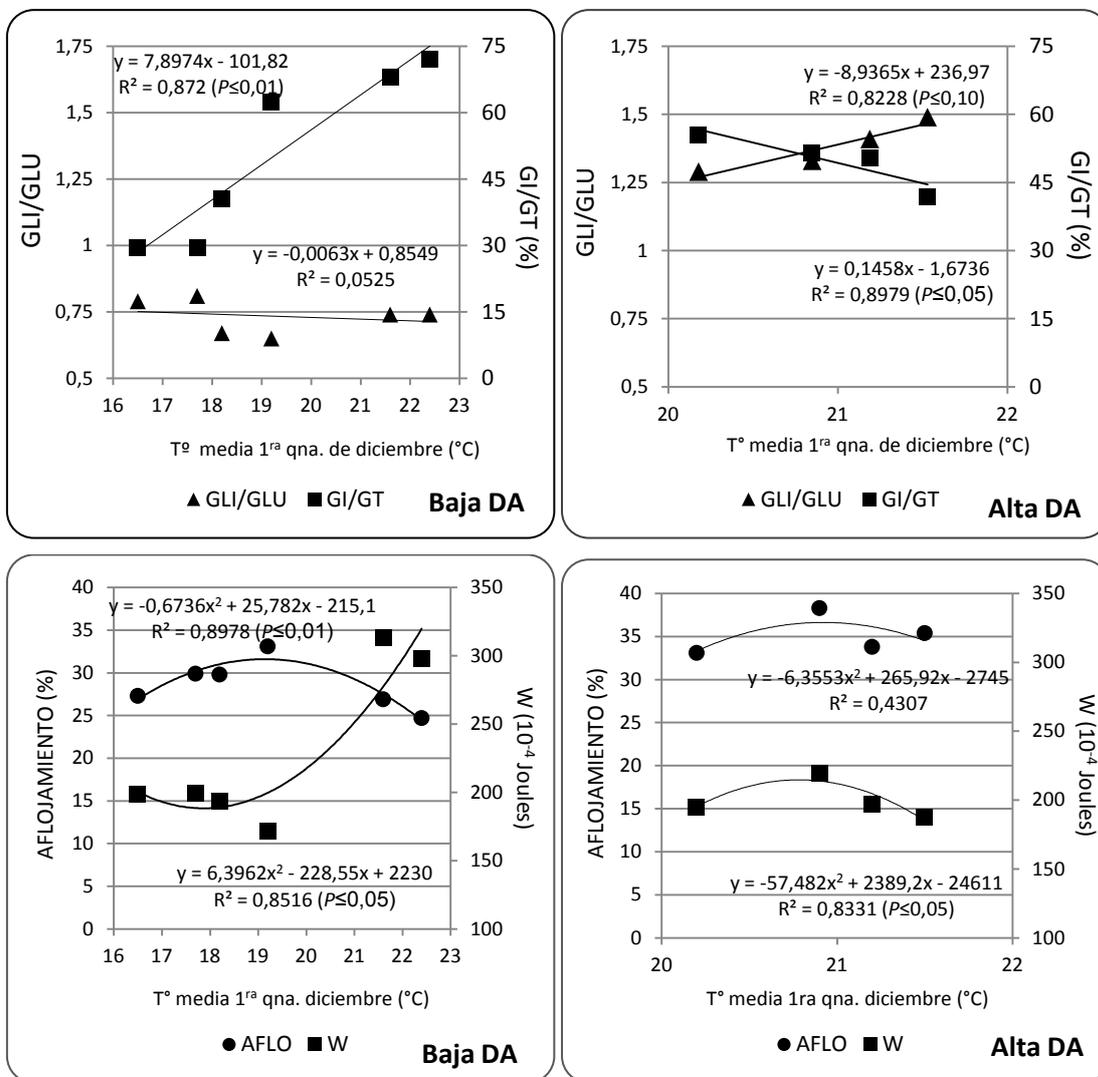


Figura 2.6. Variación en la composición de la proteína de reserva y en los niveles de aflojamiento farinográfico (AFLO, %) y fuerza alveográfica (W, 10⁻⁴ Joules) de trigo candeal en función de la temperatura media de la primera quincena de diciembre (°C) para dos condiciones de baja y alta disponibilidad de agua (DA) durante el llenado de granos.

Dentro del grupo de ambientes que tuvo una menor disponibilidad de agua durante el llenado, se observaron mayores variaciones respecto del grupo anterior, tanto en la composición proteica como en los niveles de fuerza, que se relacionaron con las temperaturas experimentadas a lo largo de dicha etapa (entre 16,7°C y 20,3°C). Así, en el rango entre los 16°C y los 19°C, aproximadamente, conforme la temperatura media de la 1^{ra} quincena de diciembre aumentó, se determinó un efecto negativo sobre la fuerza de gluten, con aumento del AFLO y disminución del W. Dichos cambios estuvieron asociados a un incremento de la relación GLI/GLU y una tendencia a la disminución de la fracción más insoluble de la fracción de gluteninas (Fig. 2.6). Por el contrario, con temperaturas mayores a los 19°C, se evidenció un importante fortalecimiento de las masas (< AFLO y > W), compatible con un aumento significativo del estado de agregación del macropolímero de glutenina (> GI/GT). Ello, sumado a la baja relación GLI/GLU (asociada a la baja disponibilidad hídrica), permitió explicar los elevados valores de W y bajos valores de AFLO registrados para el promedio de los cinco cultivares en las localidades de Barrow y Cabildo durante 2006 (ambientes 8 y 9, respectivamente). La bibliografía en el tema da cuenta de respuestas diferentes de las variables de fuerza, y de las de composición asociadas a las mismas, en función de las temperaturas máximas registradas durante el llenado de granos, con bajos valores de fuerza en el rango de temperaturas entre bajas y templadas, fortalecimiento con temperaturas en el rango entre los 30 y 35°C, y debilitamiento con temperaturas mayores (Randall y Moss, 1990; Borghi *et al.* 1995, Ciaffi *et al.*, 1996b; Corbellini *et al.*, 1997; Peterson *et al.*, 1992; Fois *et al.*, 2011). Se han reportado, asimismo, diferencias en las variaciones de la relación GLI/GLU en respuesta a las altas temperaturas: disminuciones cuando las mismas ocurrían temprano durante el llenado, y aumentos en el caso de que las altas temperaturas se daban tardíamente (Stone y Nicolas, 1990).

El ambiente puede alterar la composición de las proteínas durante el llenado de granos e influenciar de modo significativo la calidad del gluten (Sissons *et al.* (2005; Balla *et al.*, 2011). Bajo las condiciones de humedad y temperatura que

imperaron durante el llenado de granos en este estudio, se hizo evidente que los efectos de las temperaturas sobre la composición de la proteína de reserva y la fuerza de gluten, variaron dependiendo de la disponibilidad hídrica en dicha etapa, cuyo principal efecto fue sobre la relación GLI/GLU. Las temperaturas, en tanto, actuaron modificando tanto la relación GLI/GLU (con alta disponibilidad de agua) como sobre el estado de agregación del macropolímero de glutenina (ambas condiciones hídricas).

2.5.2.2. INFLUENCIA DEL GENOTIPO

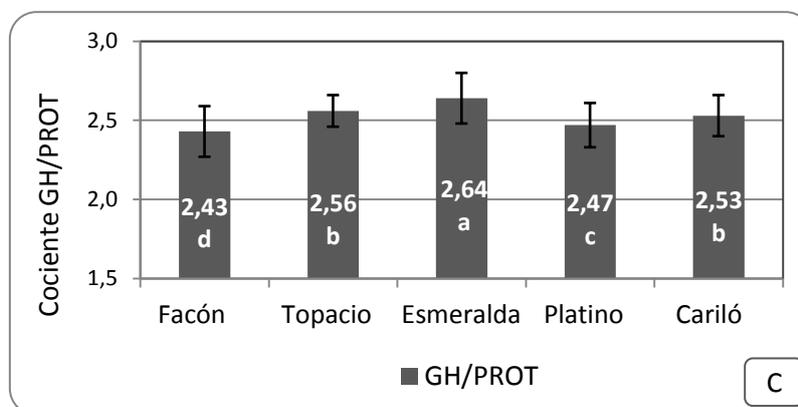
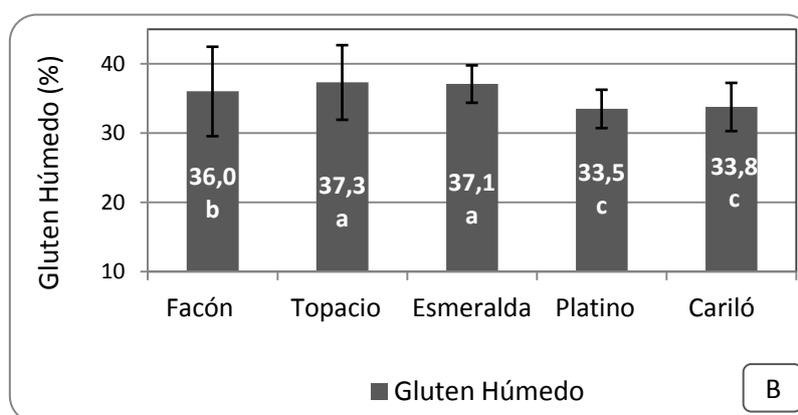
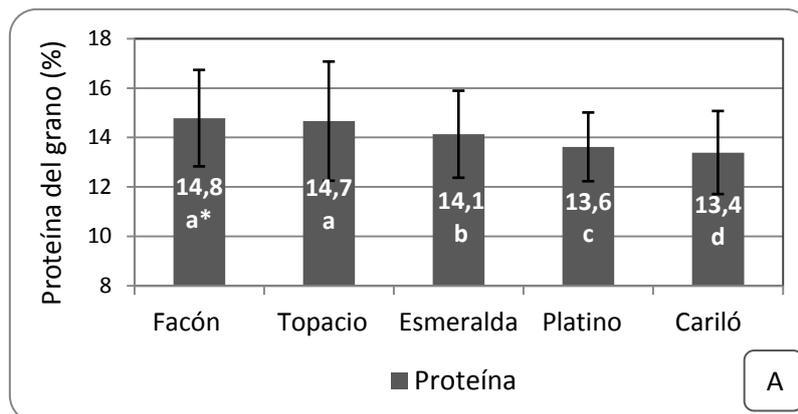
Según se mencionó en párrafos precedentes, el genotipo realizó una baja contribución a la variabilidad total observada en los niveles de GH de la sémola, en tanto que en el caso del Gluten Index, G predominó ampliamente por sobre las restantes fuentes de variación.

2.5.2.2. a. INFLUENCIA DEL GENOTIPO SOBRE LA CANTIDAD DE GLUTEN

Para el conjunto de ambientes del ensayo, las variedades Esmeralda y Topacio se destacaron con los valores de GH más altos, seguidas por Facón en primer lugar, y por Cariló y Platino, en un segundo plano (Figura 2.5). Debido a los relativamente altos niveles proteicos del grano, las variedades presentaron niveles de GH superiores al 28% en todos los ambientes (entre 28,6% y 47,4%). El espectro de valores observado se ubicó dentro del rango de satisfacción planteado por la industria procesadora nacional, que dependiendo del producto final y/o el destino (consumo interno o exportación), demanda niveles de GH entre el 22% y el 34% (Mones Cazón, 1998; Lic. L. Gette, Cñía. Molinera del Sur, Com. Pers.). Para el exigente mercado italiano, en tanto, sémolas con GH entre 27,5% y 32,5% encuadran dentro del segmento de calidad media, mientras que para calificar al segmento de alta calidad las mismas deben exhibir valores superiores a 32,5% (Landi, 1995).

Si bien los niveles de GH de las variedades a través de los diferentes ambientes estuvieron altamente correlacionados con los valores de proteína del grano ($r= 0,89$, $P\leq 0,0001$, $N=50$), el orden promedio de GH de las mismas se correspondió solo parcialmente con el ranking observado para PROT (Figura 2.7). Ello se debió a que los genotipos difirieron significativamente en su capacidad formadora de gluten por unidad de proteína, atributo definido a través del cociente GH/PROT. Aalami *et al.* (2007) también observaron moderada a baja correspondencia entre los niveles proteicos y los valores de GH de las variedades.

Aunque el contenido de gluten está estrechamente asociado al nivel proteico, siendo este un rasgo de fuerte influencia ambiental, el genotipo es el factor más importante que gobierna la capacidad formadora de gluten y la fuerza de gluten (Šimić *et al.*, 2006). En este ensayo el cociente promedio de GH/PROT fue de 2,52 ($\pm 0,15$), correspondiéndole el valor más bajo a la variedad Facón con 2,42 ($\pm 0,16$), y el más alto a Esmeralda con 2,64 ($\pm 0,16$); las tres restantes, exhibieron valores intermedios (entre 2,47 y 2,56). Las diferencias observadas en cuanto a capacidad formadora de gluten permiten explicar por qué Facón, que exhibió la media de proteína más alta del ensayo, presentó niveles de GH menores a los de Topacio y Esmeralda, que compensaron el menor contenido de proteína con un cociente de GH/PROT más alto. Mientras tanto, Platino y Cariló, con una capacidad formadora de gluten entre baja y mediana, y niveles proteicos menores a los del resto, presentaron los promedios de GH más bajos.



* Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$)

Figura 2.7. Valores medios de: A) proteína del grano (%), B) gluten húmedo de la sémola (%), y, C) cociente GH/PROT de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en el sur bonaerense (Promedio de diez ambientes y tres repeticiones por ambiente).

En Argentina, Cuniberti y Mir (2012), en un trabajo donde se evaluó la relación entre los niveles de proteína y de gluten de un amplio set de muestras de trigo pan, de distintos largos de ciclo y grupos de calidad para dos ciclos agrícolas, observaron notables variaciones en la correlación entre ambas variables, que fueron atribuidas a cambios en la capacidad formadora de gluten de la proteína. En Canadá se han reportado diferencias significativas en el cociente GH/PROT entre clases de trigo, con niveles que fluctuaron en el orden de 2,6 para trigos extra fuertes del oeste (CWES), 2,8 para trigos rojos de primavera del oeste (CWRS), y 3,0 para trigos blandos blancos de primavera del oeste (WSWS) (Chung y Ohm, 1996; Williams, 1997). Por su parte, Šimić *et al.* (2006) en Croacia, para diez genotipos de trigo pan, determinaron valores medios de GH/PROT cercanos a 2,3 en el caso de variedades de gluten fuerte, y entre 2,7 y 3,0 para materiales de gluten más extensible, destacando la existencia de una relación inversa entre la capacidad formadora de gluten de las variedades y el gluten index ($r = -0,62$). En tanto, Ionescu y Estoienescu (2010), en Rumania, informaron valores de GH/PROT más bajos que los anteriores, en el rango entre 1,91 y 2,26 para un set de diez genotipos con niveles de GI entre 84 y 98%.

Coincidiendo con lo reportado en la bibliografía, en el presente trabajo se determinó una estrecha asociación entre la capacidad formadora de gluten de las variedades y la fuerza de gluten, medida tanto a través del Gluten Index ($r = -0,97$, $P \leq 0,05$), como de las variables alveográficas, W ($r = -0,99$, $P \leq 0,001$), y P ($r = -0,86$, $P = 0,06$), y farinográficas, NE ($r = -0,86$, $P = 0,06$) y AFLO ($r = -0,97$, $P \leq 0,01$) (N=5). De este modo, la mayor capacidad formadora de gluten por unidad de proteína le correspondió a Esmeralda, la variedad con menor fuerza de gluten de las cinco, en tanto que la capacidad más baja fue para Facón y Platino, las de gluten más fuerte (Fig. 2.7). Estas observaciones son importantes teniendo en cuenta que se ha puntualizado que, en lo que concierne a la calidad de la pasta, la importancia relativa de la fuerza de gluten respecto del contenido de gluten varía dependiendo de la tecnología de secado utilizada. Con tecnologías de secado a bajas temperaturas ($<40^{\circ}\text{C}$) ambas

variables exhiben similar peso sobre la calidad de la pasta, en tanto que con temperaturas de secado altas (>70°C), y muy altas (>90°C), como las utilizadas hoy día por la industria procesadora, el contenido de proteína o de gluten pasa a ser más importante que la fuerza (Matsuo *et al.*, 1982; Autran *et al.*, 1986; D'Egidio *et al.*, 1990).

2.5.2.2. b. INFLUENCIA DEL GENOTIPO SOBRE LA FUERZA DE GLUTEN

Los genotipos de este estudio cubrieron un amplio rango de fuerza de gluten, fluctuando dentro de un rango de valores absolutos de 6 y 99% de Gluten Index. El ordenamiento que siguieron las variedades fue: Facón = Platino > Cariló > Topacio > Esmeralda, siendo similar al reflejado por las variables alveográficas y farinográficas (Tabla 2.20), y al reportado en trabajos previos por Wallace *et al.* (2003), Lerner *et al.* (2005), Conti (2007) y Larsen y Jensen (2016).

Tabla 2.20. Valores medios de Gluten Index (%), y Variables Alveográficas y Farinográficas de cinco genotipos de trigo candeal de Argentina. ^a

Variedad	Gluten Index (%)	Variables Alveográficas ^c				Variables Farinográficas ^d	
		W (10 ⁻⁴ J)	P (mm)	L (mm)	P/L	NE	AFLO (%)
Facón	91 a ^b	269 a	105 b	73 a	1,5 b	48,5a	28 d
Platino	90 a	247 b	123 a	54 c	2,6 a	49,0a	30 c
Cariló	84 b	216 c	96 c	70 a	1,6 b	45,5b	31 c
Topacio	75 c	200 d	94 c	59 b	1,7 b	44,8b	32 b
Esmeralda	49 d	154 e	73 d	72 a	1,1 c	45,0b	36 a
Media	78	217	98	66	1,7	46,6	31
CV (%)	22,4	20,3	18,7	13,2	33,4	17,3	9,3

^a Promedio de diez ambientes y tres repeticiones por ambiente.

^b Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$)

^c W: Fuerza o trabajo de deformación; P: Tenacidad; L: Extensibilidad; P/L: Relación de equilibrio entre P y L ^d NE: Nivel de Energía; AFLO: Aflojamiento.

Según la clasificación propuesta por Cubadda *et al.* (1992), las variedades Facón y Platino encuadraron dentro de las categorías con calidad de gluten “excelente” a “buena o muy buena” (GI > 85%, y de 66 a 85, respectivamente), Cariló y Topacio como de fuerza “buena o muy buena” a “promedio o por encima del promedio” (GI de 66 a 85 y de 46 a 65), y Esmeralda, la más variable de las cinco, dentro del rango con calidad “buena a muy buena” a “muy pobre o pobre” (GI de 66 a 85 y de 6 a 25). La variedad Platino, si bien presentó un GI similar al de Facón, presentó una masa más tenaz y menos extensible, exhibiendo un valor de equilibrio entre la tenacidad y la extensibilidad significativamente mayor al de las demás ($P/L = 2,6$ vs $1,5 \pm 0,3$ para el promedio de las otras cuatro). En el trigo candeal, la tenacidad del gluten suscita un interés especial, debido a que es considerada un indicador del comportamiento elástico de la masa o de su resistencia a la deformación (Edwards *et al.*, 2007). Se ha indicado que para la elaboración de pasta seca de calidad, el gluten debe ser suficientemente tenaz para retener los gránulos de almidón gelatinizados durante la cocción, mencionándose valores óptimos de equilibrio P/L en el rango entre 1,5 y 2,5 (Landi, 1995). Mientras tanto, para el segmento de pastas secas de calidad intermedia, y para la elaboración de pastas frescas se admiten masas menos tenaces (más extensibles) (P/L entre 0,5 y 1,5), que proporcionan mejores condiciones para el laminado (Landi, 1995; Marchylo *et al.*, 2004).

RELACIÓN ENTRE LA FUERZA DE GLUTEN DE LAS VARIEDADES Y LA COMPOSICIÓN ALÉLICA EN LOS LOCI ASOCIADOS A LA CALIDAD

Pese a las diferencias de fuerza de gluten evidenciadas, estudios previos que incluyeron a los genotipos de este ensayo reportaron una considerable similitud entre los mismos en lo que respecta a las variantes alélicas presentes en la mayoría de los loci asociados a calidad industrial (Wallace *et al.*, 2003; Lerner *et al.*, 2004; Conti, 2007) (Tabla 2.22). Según estos trabajos, para el locus *Gli-B1*, y para los loci *Glu-A3*, *Glu-B3*, *Glu-B2*, que codifican para la síntesis de γ -

gliadinas y de gluteninas de bajo peso molecular (GBPM), respectivamente, los cinco genotipos respondieron al patrón de Gliadina γ - 45 y GBPM de tipo 2 (alelos *aaa*), que han sido asociados a glútenes de fuerza intermedia y alta, y buena calidad de pasta (Payne *et al.*, 1984; Ruiz y Carrillo, 1995; Bushuk, 1998, Peña, 2000, Wallace *et al.*, 2003, Lerner *et al.*, 2004; Edwards *et al.*, 2007). Esta combinación alélica fue la variante más frecuente hallada en un relevamiento realizado en nuestro país por Wallace *et al.* (2003) sobre 115 genotipos de la colección de germoplasma de trigo candeal del INTA, representando el 85,5% de las muestras analizadas.

Tabla 2.21. Composición alélica para los *loci* vinculados a la síntesis de gluteninas de alto peso molecular (Glu-A1 y Glu-B1), gluteninas de bajo peso molecular (Glu-A3, Glu-B3 y Glu-B2) y de γ y ω Gliadinas (Gli-B1) de cinco genotipos de trigo candeal de Argentina.

Genotipos	GLUTENINAS					GLIADINAS	
	Alto Peso Molecular		Bajo Peso Molecular			Gli-B1	
	Glu-A1	Glu-B1	Glu-A3	Glu-B3	Glu-B2	γ	ω
Cariló	N(c)	6+8 (d)	6 (a)	2+4+15+19 (a)	12 (a)	45	35
Esmeralda	N(c)	20 (e)	6 (a)	2+4+15+19 (a)	12 (a)	45	35
Facón	N(c)	6+8 (d)	6 (a)	2+4+15+19 (a)	12 (a)	45	35
Platino	N(c)	6+8 (d)	6 (a)	2+4+15+19 (a)	12 (a)	45	35
Topacio	N(c)	6+8 (d)	6 (a)	2+4+15+19 (a)	12 (a)	45	35

Para Glu B3 todas las variedades respondieron al patrón GBPM tipo 2
Tomado y adaptado de Wallace *et al.*, 2003; Lerner *et al.*, 2004; Conti, 2007

En trigo candeal, a diferencia del trigo pan, se ha establecido que las gluteninas de alto peso molecular (HMW-GS) tienen un efecto menos crítico sobre la fuerza de gluten que las gluteninas de bajo peso molecular (LMW-GS) (Du Cros, 1987). Para Edwards *et al.* (2007) las LMW-GS respondieron por el 55% de la variación del GI, en tanto que los alelos para HMW-GS respondieron por el 27% de las variaciones de este atributo. No obstante, dada la homogeneidad

génica existente en los *loci* que regulan la síntesis de las LMW-GS en los genotipos de este estudio, las principales diferencias de composición entre los mismos se registraron a nivel de la fracción de HMW-GS, vinculadas a la presencia de dos variantes alélicas en el locus *Glu-B1*: el alelo *d* en las variedades Facón, Platino, Cariló y Topacio, y el alelo *e* en el caso de la variedad Esmeralda (Wallace *et al.*, 2003; Lerner *et al.*, 2005; Conti, 2007). Los alelos *d* y *e* codifican, respectivamente, para la síntesis de las subunidades de HMW-GS 6+8, y 20, la primera vinculada a glútenes de fuerza media a alta, la segunda a glútenes típicamente más débiles. Estudios realizados en nuestro país demostraron que la subunidad de HMW-GS 20 correlacionó positivamente con el aflojamiento farinográfico (Wallace *et al.*, 2003), y negativamente con el GI y el volumen de sedimentación en la prueba de SDS (Lerner *et al.*, 2005; Conti, 2007). Coincidiendo con estas observaciones, un considerable número de trabajos en el tema, señalan a la subunidad 20 como un marcador de gluten débil en trigo *durum* (Boggini y Pogna, 1989, Carrillo *et al.*, 1990a; Pogna *et al.*, 1990; Kovacs *et al.*, 1993; Ruiz y Carrillo, 1995; Ammar *et al.*, 2000; Peña, 2000; Brites y Carrillo, 2001; Sissons *et al.*, 2005; Edwards *et al.*, 2007), lo cual en parte fue atribuido a un más bajo contenido de proteína polimérica, como consecuencia de una menor densidad de enlaces disulfuro entre moléculas (Tatham *et al.*, 1991; Ammar *et al.*, 2000; Shewry *et al.*, 2002).

Cuando los genotipos de este estudio se agruparon de acuerdo a la composición alélica en el locus *Glu-B1*, no se observaron diferencias significativas en la composición promedio de la proteína de reserva del endosperma, pese a que ambos grupos contrastaron significativamente en todos los parámetros utilizados para la medición de la fuerza (Tabla 2.22). Tampoco se determinaron correlaciones significativas entre las medias genotípicas de las variables de fuerza y las de composición, lo cual difiere con los resultados informados por Edwards *et al.* (2007) para un set de 86 genotipos de *durum*, con alta diversidad alélica en los *loci* asociados a calidad de gluten. Estos autores determinaron correlaciones fuertes y altamente significativas entre el porcentaje de proteína polimérica insoluble y todos los

parámetros alveográficos y mixográficos, y también con el gluten index, corroborando estudios previos de Sissons *et al.* (2005) para un número más reducido de genotipos. En tanto, Brites y Carrillo (2001; citado por Sissons *et al.*, 2008) concluyeron que las variaciones en las propiedades de las masas, medidas a través del uso del alveógrafo, el GI, la prueba de sedimentación con SDS y el mixograma, solo pudieron ser explicadas parcialmente por las variaciones en la composición de las gluteninas controladas por los loci Glu-B1 y Glu-B3.

Tabla 2.22. Valores medios, rangos y significancia de los contrastes entre variables cuantitativas y cualitativas asociados a la calidad industrial, y la composición de la proteína de reserva, en dos grupos de genotipos de trigo candeal de Argentina con diferente composición alélica en el locus Glu-B1.

	HMW-GS 6+8 (4 genotipos)		HMW-GS 20 (1 genotipo)		HMWGS 6+8 vs 20
	Media ^a	Rango	Media	Rango	Contraste
Proteína (%)	14,1	11,7 - 18,4	14,1	12,2 - 17,4	ns
GI (%)	85	57 - 98	49	20 - 71	***
W (10 ⁻⁴ Joules)	233	150 - 355	154	101 - 233	***
P/L	1,9	0,6 - 6,6	1,1	0,5 - 1,8	**
P (mm)	105	59 - 194	73	48 - 107	***
L (mm)	64	30 - 102	73	56 - 102	**
NE	47	31 - 64	45	35 - 57	***
Aflo (%)	30	19 - 41	36	30 - 41	***
gli	44,7	28,2 - 59,3	45,9	33,8 - 57,8	ns
glu	48,7	33,5 - 64,7	47,4	34,7 - 60,6	ns
gli/glu	1,0	0,4 - 1,8	1	0,6 - 1,7	ns
glu/gli	1,2	0,6 - 2,3	1,1	0,6 - 1,8	ns
GI/GT (%)	50,6	22,7 - 78,0	48,4	23,11 - 64,6	ns

^a Promedio de cuatro genotipos en diez ambientes y tres repeticiones por genotipo

, * Significativo con $P \leq 0,01$ y $0,001$, respectivamente; ns, no significativo

Según se desprende de la Tabla 2.22 los cuatro genotipos que en *Glu-B1* exhibieron el patrón de HMW-GS 6+8, y que además según se comentó con anterioridad, presentaron la configuración alélica *aaa* en *Glu-B3*, exhibieron un

amplio rango de valores de fuerza de gluten. Sissons *et al.* (2005) reportaron variaciones considerables en el GI entre genotipos con igual patrón alélico en *Glu-B1* y *Glu-B3*, lo cual fue atribuido a diferencias existentes a nivel de la distribución de pesos moleculares de las proteínas de reserva.

2.5.2.3.a. INFLUENCIA DE LAS INTERACCIONES GA SOBRE LA CANTIDAD DE GLUTEN

Conforme se mencionó en una sección precedente las interacciones GA dieron cuenta por el 31,7% de la variación total en los valores de GH de la sémola ($P \leq 0,001$), siendo de similar magnitud a la observada para el contenido de proteína de los granos (31,6%, $P \leq 0,001$), que respondió por el 79% de la variabilidad de GH del ensayo ($b_{\text{PROT}} = 2,15$, $R^2 \text{ Aj.} = 0,78$, $F = 176,52$, $P \leq 0,0001$, $N=50$). No obstante, cuando la relación entre ambas variables se exploró en cada uno de los genotipos por separado, se observaron notables diferencias en el porcentaje de explicación aportado por %PROT (entre un 67% para la variedad Platino, y un 95% para Topacio), lo cual pudo deberse a que los genotipos no solo se diferenciaron en su capacidad formadora de gluten promedio, sino que además presentaron distinta capacidad a lo largo del rango de proteína que desplegaron en los distintos ambientes. Estas observaciones se hallan en sintonía con lo observado por Cuniberti y Mir (2012) para variedades de trigo pan de ciclo largo y corto de la región triguera central de Argentina, y por Šimić *et al.* (2006) en Croacia, quienes reportaron niveles variables en la capacidad formadora de gluten de las variedades entre localidades y años. De este modo, si bien todas las variedades experimentaron incrementos en los niveles de GH frente a aumentos del porcentaje de proteína, excepto Facón que presentó un aumento lineal de la capacidad formadora de gluten, las cuatro restantes sufrieron una reducción de magnitud variable de dicha capacidad conforme aumentó la proteína del grano (Figura 2.8).

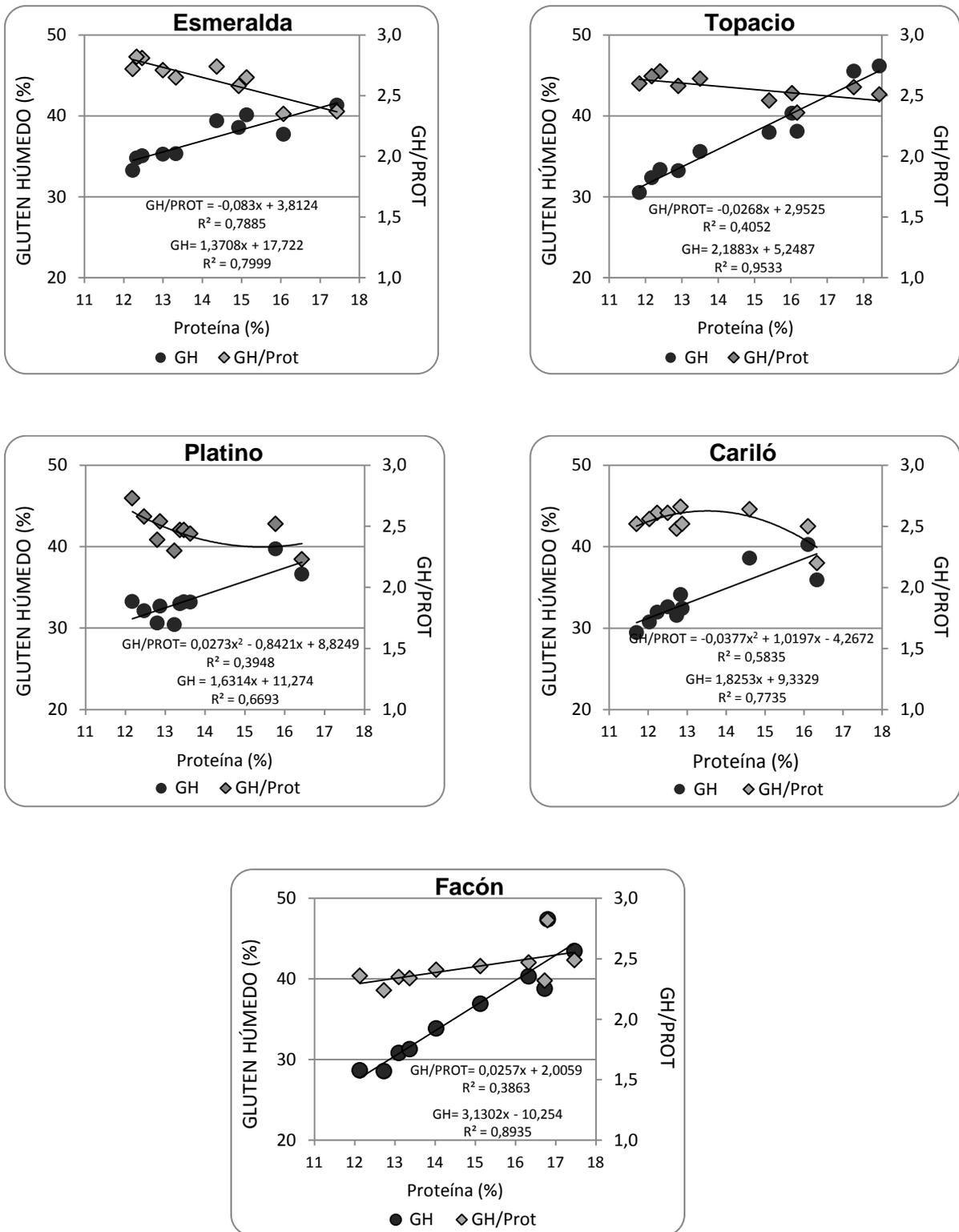


Figura 2.8. Contenido de gluten húmedo de la sémola (%) y capacidad formadora de gluten (GH/PROT) en función del contenido de proteína del grano (%) para cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes del sur bonaerense.

Por ende, los niveles de GH que alcanzaron las variedades en los distintos ambientes, además de poner en evidencia los efectos que el ambiente y las interacciones GA ejercieron sobre el contenido proteico de los granos, reflejaron indirectamente la diferente capacidad formadora de gluten de los genotipos en el espectro de valores de proteína que cubrieron. En trigo pan, Mohan y Gupta (2015) también reportaron distintos patrones de respuesta en la dinámica de formación de gluten, en ese caso para dos grupos de genotipos portadores de las subunidades 5 + 10 y 2+12 en el locus Glu-D1.

El Análisis de Sendero de la Figura 2.9 confirma las anteriores afirmaciones en lo que respecta al diferente impacto que ejerció la capacidad formadora de gluten sobre los niveles de GH de las variedades, destacándose el comportamiento de Facón respecto del de las demás. Estas observaciones permitieron explicar, por ejemplo, los 9,3 puntos de ventaja de esta variedad sobre Topacio en el ambiente 10 (47,4% vs 38,1%), para una diferencia de proteína de solo 0,6% (16,8% vs 16,2%). Ello fue posible debido a que allí estas variedades exhibieron su mayor y menor capacidad formadora de gluten del ensayo, con valores de GH/PROT de 2,8 y 2,4, para Facón y Topacio, respectivamente (Tabla 2.24) Por otra parte, en el caso de Esmeralda, la fuerte disminución que experimentó en GH/PROT conforme aumentó el contenido proteico del grano, determinó que la respuesta general de esta variedad a las fluctuaciones del ambiente fuera la menor entre los cinco genotipos estudiados, en tanto que Facón fue la que presentó la mayor variabilidad de GH (CV= 7,3 y 17,9%, respectivamente) (Tabla 2.23).

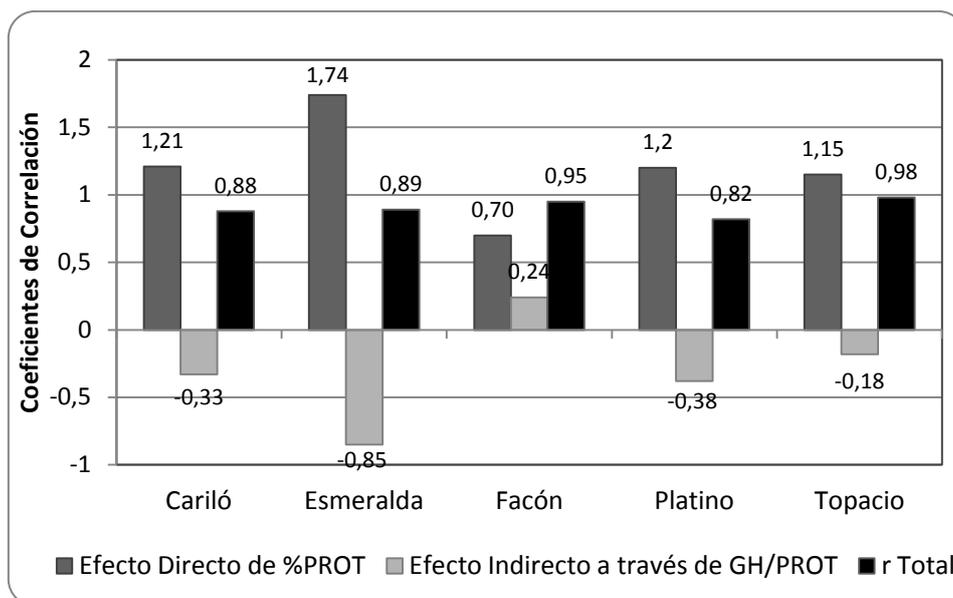


Figura 2.9. Efectos directos e indirectos del contenido proteico del grano (PROT, %) sobre los niveles de gluten húmedo de la sémola (GH, %) de cinco genotipos de trigo candeal cultivados en diez ambientes del sur bonaerense.

Tabla 2.23. Valores medios de Gluten Húmedo (%) de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense entre 2004 y 2006.

Año	Sitio	Ambiente	Cariló	Esmeralda	Facón	Platino	Topacio	Media Ambtes.	DMS ^c
2004	Barrow	1	32,0	35,3^b	<u>30,8^a</u>	33,0	33,4	32,9	2,16
	Cabildo	2	38,6	39,4	<u>36,9</u>	39,7	38,0	38,5	3,37
	La Dulce	3	31,6	35,3	<u>31,3</u>	33,2	35,6	33,4	1,61
	Bordenave	4	32,6	33,3	<u>28,6</u>	33,2	30,5	31,6	3,35
2005	Barrow	5	30,8	35,1	33,9	<u>30,4</u>	33,2	32,7	2,56
	Cabildo	6	40,3	38,6	38,8	<u>36,6</u>	40,3	38,9	0,99
	La Dulce	7	29,5	34,8	<u>28,7</u>	30,6	32,4	31,2	1,79
2006	Barrow	8	35,9	37,7	40,3	<u>33,3</u>	45,5	38,5	5,60
	Cabildo	9	32,4	40,1	43,5	<u>32,1</u>	46,2	38,9	3,70
	La Dulce	10	34,1	41,3	47,4	<u>32,7</u>	38,1	38,7	3,00
Media Genotipos			33,8	37,1	36,0	33,5	37,3	35,5	
CV ^d			10,3	7,3	17,9	8,3	14,4		

^(a) Subrayado, valor más bajo de GH del ambiente ^(b) En negrita, valor más alto de GH del ambiente

^(c) Diferencia Mínima Significativa (P<0,05) ^(d) Coeficiente de Variación

Tabla 2.24. Valores medios de capacidad formadora de gluten (GH/PROT) de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense entre 2004 y 2006.

Año	Sitio	Ambiente	Cariló	Esmeralda	Facón	Platino	Topacio	Media Ambtes	DMS ^c
2004	Barrow	1	2,61	2,71 ^b	<u>2,35</u> ^a	2,47	2,70	2,57	0,15
	Cabildo	2	2,64	2,74	<u>2,44</u>	2,52	2,46	2,56	0,14
	La Dulce	3	2,48	2,65	<u>2,34</u>	2,47	2,64	2,52	0,11
	Bordenave	4	2,61	2,72	<u>2,24</u>	2,44	2,60	2,52	0,19
2005	Barrow	5	2,56	2,81	2,41	<u>2,30</u>	2,58	2,53	0,18
	Cabildo	6	2,50	2,58	2,32	<u>2,23</u>	2,52	2,43	0,05
	La Dulce	7	2,52	2,82	<u>2,36</u>	2,39	2,66	2,55	0,13
2006	Barrow	8	<u>2,20</u>	2,35	2,47	2,73	2,57	2,46	0,13
	Cabildo	9	2,52	2,65	<u>2,49</u>	2,58	2,51	2,55	0,11
	La Dulce	10	2,66	2,37	2,82	2,54	<u>2,36</u>	2,55	0,09
Media Genotipos			2,53	2,64	2,42	2,47	2,56	2,52	
CV ^d			5,2	6,2	6,5	5,8	4,0	6,14	

^(a) Subrayado, valor más bajo de GH/PROT del ambiente ^(b) En negrita, valor más alto de GH/PROT del ambiente

^(c) Diferencia Mínima Significativa ($P < 0,05$) ^(d) Coeficiente de Variación

El biplot GGE, utilizado para la identificación de los genotipos y ambientes que más contribuyeron a las interacciones GA, explicó un 86,6% de la variabilidad aportada por G y las interacciones GA (Figura 2.10). Al igual que lo observado en el caso de PROT, el biplot separó a Topacio, Facón y Esmeralda, con los niveles medios más altos de GH hacia el sector positivo de la CP1, y a Cariló y Platino, hacia el negativo, reflejando con mediana precisión el orden promedio de GH de las variedades ($r=0,89$, $P \leq 0,05$). Sobre la CP2, en tanto, las mismas se separaron en función de su capacidad formadora de gluten, con Facón, de baja capacidad con el score más alto sobre el sector positivo de esta CP, Platino y Cariló, de capacidad baja a intermedia (y relativamente estable), cercanas al origen del biplot, y Esmeralda y Topacio, las de más alta capacidad, sobre el sector negativo. Dado que la CP2 normalmente refleja las respuestas no proporcionales a los cambios del ambiente (Balzarini, 2005), ello estaría corroborando que la diferente capacidad formadora de gluten de las

variedades es un factor determinante de la magnitud y tipo de respuesta de las mismas al ambiente. De la observación del biplot surge además, que Facón y Topacio, con los más altos escores sobre la CP2 (sectores positivo y negativo, respectivamente) realizaron la mayor contribución a la interacción genotipo-ambiente, experimentando en algunos ambientes cambios radicales en su ranking de GH respecto de las demás variedades (Tabla 2.23).

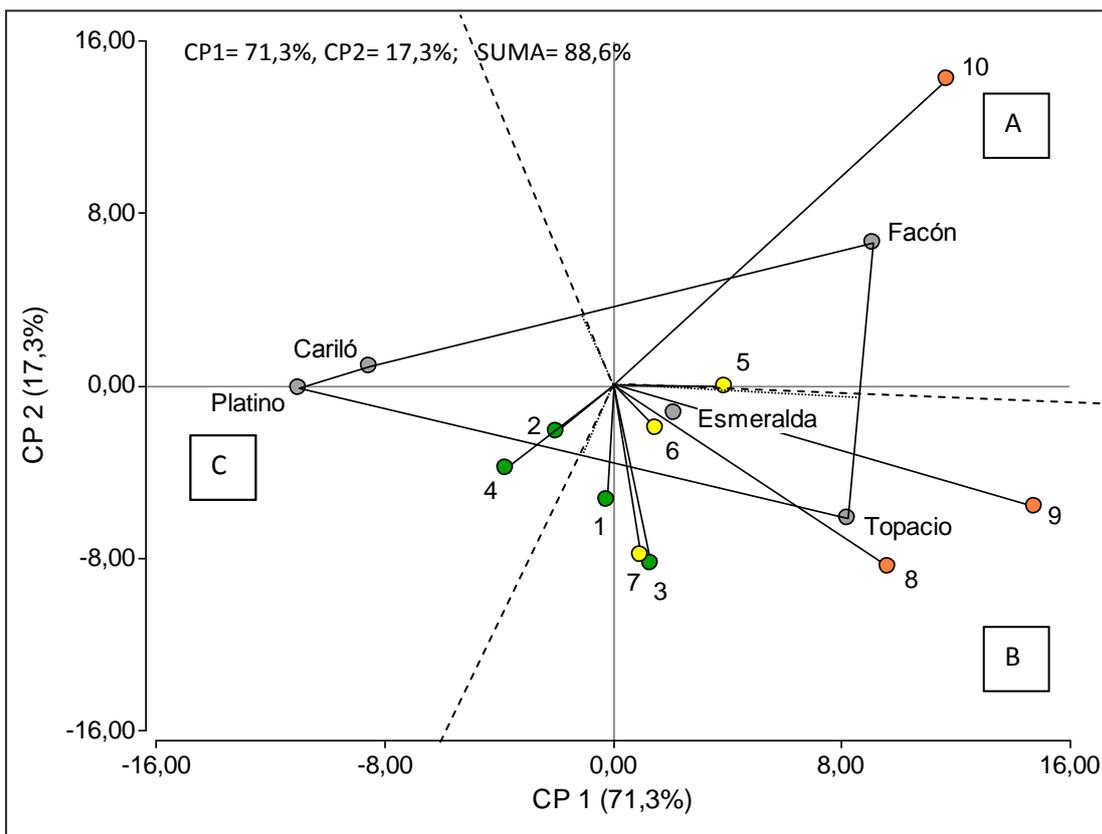


Figura 2.10. Biplot GGE para el Gluten Húmedo de la sémola (%) de cinco genotipos de trigo candeal evaluados en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006 (Ambientes 1-5-8: Barrow; 2-6-9: Cabildo; 3-7-10: La Dulce) (Círculos verdes, amarillos y naranjas: representan a las campañas 2004, 2005 y 2006, respectivamente).

Los marcadores ambientales, por su parte, también se ubicaron sobre sendos sectores positivo y negativo de la CP1, y sus proyecciones siguieron un patrón asociado a las precipitaciones durante el llenado de granos, que como se

mencionó en una sección previa de este capítulo, tuvieron un impacto significativo sobre la composición de la proteína de reserva del endosperma, en particular sobre la relación GLI/GLU (o GLU/GLI). De este modo, hacia el sector negativo, o bien cercanos al origen del biplot, se ubicaron los ambientes con alta disponibilidad hídrica en esta etapa, y por ende, con valores de relación GLI/GLU más altos (> 1) (o $GLU/GLI < 1$), en tanto que hacia el sector positivo, se separaron los ambientes con menor disponibilidad hídrica y relaciones GLI/GLU más bajas (< 1) (o $GLU/GLI > 1$). Sobre la CP2, los ambientes también se separaron siguiendo un patrón asociado a la composición de la proteína de reserva, más precisamente a la relación GLU/GLI, que explicó un 63% de la variación en los escores ambientales sobre esa CP. Esto estaría proporcionando evidencia acerca del rol que ejerce el ambiente, a través de la modificación de la composición de la proteína de reserva del endosperma, sobre la respuesta diferencial de los genotipos al ambiente, en sintonía con lo reportado por Motzo *et al.* (2007), Singh *et al.* (2008), Flagella *et al.* (2010), Fois *et al.* (2011) De este modo, excepto el ambiente 10 que con la relación GLU/GLI media más alta del ensayo (1,67 vs 1,10 para el promedio de los nueve ambientes restantes) se separó hacia el sector positivo de la CP2 en el sentido de la variedad Facón (sector A del polígono), los nueve restantes (GLU/GLI entre 0,69 y 1,55) se ubicaron cercanos al origen, o sobre el sector negativo de dicha CP. De los diez ambientes, la mayor contribución a las interacciones GA les correspondió a los ambientes 8 y 10, conforme lo revelan los altos escores de ambos sobre sendas CP.

Según puede apreciarse en el biplot los ambientes 2 y 4 se separaron en el sentido de los marcadores de Platino y Cariló (sector C del polígono), lo que revela que estas dos variedades lograron altos niveles de GH bajo condiciones de alta disponibilidad de agua durante el llenado, que favorecieron una alta relación GLI/GLU (baja relación GLU/GLI). En lo que respecta a Platino, su buena performance en el ambiente 2 se debió a que allí exhibió 2,2 puntos de proteína por encima del promedio de los nueve ambientes restantes (15,8% vs

13,6%), y una capacidad formadora de gluten equiparable al promedio (GH/PROT= 2,5). Cariló, en tanto, pese a ser la única variedad que no pudo sobresalir respecto del resto por sus comparativamente bajos niveles proteicos, al igual que Platino, exhibió un comportamiento destacado en el ambiente 2, donde presentó en simultáneo un nivel de proteína y una capacidad formadora de gluten por encima del promedio de los nueve ambientes restantes (14,6% vs 13,3% y 2,64 vs 2,52 para PROT y GH/PROT, respectivamente). Un aspecto que merece resaltarse con relación a estas variedades y que puede apreciarse en la Tabla 2.26, es que en ambas, los altos niveles de gluten en la sémola, se correspondieron con una significativa disminución en la fuerza de gluten, según lo reflejan los menores valores de GI y los elevados valores de aflojamiento farinográfico, respecto de los ambientes donde presentaron su peor desempeño en lo que hace a GH (ambientes 9 y 8 para Platino y Cariló, respectivamente). Cuando se analizó el comportamiento de ambas variedades para el conjunto de los diez ambientes del ensayo, en el caso de Cariló, GH correlacionó negativamente con GI ($r = -0,69$, $P \leq 0,05$) y positivamente con la extensibilidad alveográfica (L_{ALV}) ($r = 0,80$, $P \leq 0,01$), en tanto que Platino lo hizo con AFLO ($r = 0,64$, $P \leq 0,05$), y con L_{ALV} ($r = 0,78$, $P \leq 0,01$). La bibliografía en el tema reporta en general correlaciones negativas entre GH y GI, que van desde no significativas (-0,29, Vida *et al.*, 2014), débiles (-0,32 a -0,25, Clarke *et al.*, 2010), moderadas (-0,41, Peña, 2000 y -0,56, Vida *et al.*, 2014) a fuertes (-0,83, Mutwali *et al.*, 2016). Por otra parte, en ambas variedades, los cambios en la fuerza de gluten vinculados con los aumentos del GH se correspondieron con un aumento significativo de la relación GLI/GLU, variable que explicó un 44% ($P \leq 0,05$) y un 53 % ($P \leq 0,01$) de la variación de AFLO, para Cariló y Platino, respectivamente. Horvat *et al.* (2012) también reportaron aumento del aflojamiento asociado a un incremento de la relación GLI/GLU.

Por su parte, las variedades Facón, Esmeralda y Topacio presentaron interacciones positivas con los ambientes que experimentaron menor disponibilidad hídrica durante el llenado, lo que en líneas generales favoreció la ocurrencia de bajas relaciones GLI/GLU. Estos resultados concuerdan con lo

reportado por Jia *et al.* (1996b) y Flagella *et al.* (2010) quienes informaron que una restricción en la disponibilidad de agua durante el llenado provocó una caída en la acumulación de gliadinas, y aumento de la relación glutenina/gliadina. En lo que respecta a Esmeralda y Topacio, ambas lideraron alternativamente el ranking de GH en los siete ambientes contenidos en el sector B del polígono (ambientes 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9 y 10), destacándose especialmente en el ambiente 9, donde además de presentar altos valores de GH, alcanzaron los niveles de GI más elevados del ensayo (71 y 92 en el ambiente 9, vs 46 y 73 para el promedio los nueve ambientes restantes, para Esmeralda y Topacio, respectivamente). En el caso de Topacio se halló una correlación negativa significativa entre GH y la variable AFLO ($r = -0,74$, $P \leq 0,05$) que habla de un aumento de la fuerza de gluten frente a incrementos del GH. Estas observaciones se contraponen con lo descrito anteriormente para las variedades Platino y Cariló, lo cual corrobora lo señalado por Vida *et al.* (2014), quienes en virtud de las propias observaciones, y de los resultados contradictorios recogidos en la bibliografía (Peña, 2000, Clarke *et al.*, 2010, Longin *et al.*, 2013) concluyeron que la asociación entre GH y la fuerza de gluten (GI o AFLO) es altamente dependiente de los genotipos estudiados. Entre genotipos de trigo pan de gluten débil (portadores de la subunidad 2+ 12 en el locus Glu-D1), Mohan y Gupta (2015) también reportaron un aumento en la “calidad” del gluten frente a aumentos en los niveles de GH, lo cual fue atribuido a la existencia de una red de gluten más abundante y densa.

Facón, en tanto, al igual que las anteriores, exhibió interacciones positivas con los ambientes del sector A del polígono, en especial con el ambiente 10, donde al alto nivel proteico (16,8%), se le sumó una capacidad formadora de gluten muy superior al promedio de los nueve ambientes restantes (2,8 vs 2,4). Ello por un lado, le permitió superar, por excepción, los niveles de GH de Topacio y Esmeralda, pero contrariamente a lo observado con esas variedades, en el caso de Facón niveles crecientes de GH se correspondieron con una leve tendencia a la disminución en los niveles de GI ($r = -0,56$, $P < 0,10$). En la Tabla 2.25 pueden apreciarse los niveles medios de gluten húmedo de los genotipos

en los ambientes donde exhibieron el mejor y peor comportamiento del ensayo, así como también la cantidad y composición de la proteína de reserva y los niveles de fuerza de gluten alcanzados.

Tabla 2.25. Niveles medios de gluten húmedo (GH, %), proteína en el grano (PROT, %), capacidad formadora de gluten (GH/PROT), gluten index (GI, %), y composición de la proteína de reserva, relación gliadina/glutenina (GLI/GLU) y proporción de glutenina insoluble sobre la glutenina total (GI/GT, %) de cinco genotipos de trigo candeal en los ambientes donde exhibieron su mejor (en letra negrita) y peor comportamiento (en letra regular).

GENOTIPO	Ambiente	GH (%)	PROT (%)	GH/PROT	GI (%)	AFLO (%)	GLI/GLU	GLU/GLI	GI/GT (%)
Facón	10	47,4	16,8	2,82	87	29	0,71	1,42	68
	4	28,6	12,7	2,24	94	31	1,16	0,86	50
Esmeralda	9	40,1	15,1	2,65	71	30	0,94	1,07	64
	4	33,3	12,2	2,72	49	36	1,66	0,60	38
Topacio	9	46,2	18,4	2,51	92	22	0,70	1,52	72
	4	30,5	11,8	2,60	76	37	1,38	0,73	46
Platino	2	39,7	15,8	2,52	83	41	1,33	0,75	51
	9	32,1	12,5	2,58	98	22	0,70	1,44	73
Cariló	2	38,6	14,6	2,64	69	38	1,42	0,70	48
	8	35,9	16,3	2,20	91	26	0,57	1,76	65

ESTABILIDAD EN LA RESPUESTA DE LOS GENOTIPOS AL AMBIENTE

De las cinco variedades, Cariló, Esmeralda y Platino observaron el comportamiento más estable a través de los distintos ambientes, conforme lo demuestran los menores valores de CV, y los bajos escores sobre la CP2. En lo que concierne a Esmeralda y Platino, la observación de coeficientes de la regresión significativamente menores a la unidad implica que ambas exhibieron niveles altos de GH donde el resto presentó valores relativamente bajos, y

viceversa, niveles comparativamente bajos donde los restantes se destacaron con valores altos. En el caso de Esmeralda ello pudo deberse, en parte, a la alta estabilidad que presentó en los niveles de PROT, y al efecto de compensación derivado de la disminución de la capacidad formadora de gluten con niveles crecientes de proteína. Mientras tanto, en el caso de Platino, podría relacionarse con la escasa variación y la diferente respuesta exhibida en lo que concierne a acumulación de proteína, así como también con la baja fluctuación en su capacidad formadora de gluten. Variedades con este tipo de comportamiento podrían exhibir algunas ventajas frente al resto en campañas con niveles bajos de proteína, o bien constituirse en una opción interesante en sistemas de producción orgánicos o de bajo input, donde el Nitrógeno puede llegar a ser limitante para la acumulación de proteína en el grano (Stagnari *et al.*, 2013). Cariló en tanto, con un coeficiente de la regresión b_i que no difirió de la unidad, observó cambios en los niveles de gluten que fueron proporcionales a las variaciones del ambiente, lo cual pone de manifiesto que en el caso de esta variedad de alto potencial de rendimiento, el logro de niveles satisfactorios de gluten en la sémola es altamente dependiente de los valores de proteína del grano, y por ende, del manejo agronómico al que es sometida. Por otra parte, su buena performance bajo condiciones de alta disponibilidad hídrica durante el período de llenado permite explicar el uso frecuente que se hace de esta variedad en planteos bajo riego (Ing. Agr. Juan Cominelli, 2015, Com. Pers.).

Facón, por el contrario, si bien al igual que las anteriores registró un comportamiento altamente estable para PROT, debido a la dinámica que presentó con relación a la capacidad formadora de gluten, se mostró más sensible a las fluctuaciones del ambiente ($b_i > 1$), mostrando una clara desventaja respecto de las demás en el rango de valores bajos de proteína. Esto podría representar un problema en campañas con niveles proteicos bajos, o en situaciones de baja disponibilidad de N en el suelo, donde su menor capacidad formadora de gluten podría condicionar los niveles de GH en la sémola, que en contrapartida, podría ser compensada con valores altos de fuerza. Finalmente, la variedad Topacio, con un comportamiento semejante al

de Facón en lo que respecta a la sensibilidad al ambiente, pero con mejor performance en el rango de valores bajos de proteína debido a su mayor capacidad formadora de gluten, presentó como principal ventaja que en simultáneo con los aumentos de GH en respuesta a niveles crecientes de proteína, presentó un aumento en la fuerza de gluten.

Tabla 2.26. Valores medios de Gluten Húmedo (%), y parámetros estimadores de estabilidad de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense,

GENOTIPO	Gluten Húmedo (%)	e_1^a	e_2^a	b_i^b	CV ^c (%)
Cariló	33,8	-8,5	0,9	0,77	10,3
Esmeralda	37,1	2,2	-1,3	0,73*	7,3
Facón	36,0	9,1	6,6	1,70*	17,9
Platino	33,5	-11,0	-0,1	0,44*	8,3
Topacio	37,3	8,2	-6,2	1,37	14,4
Promedio	35,5	---	---	1,0	11,6

^(a) Escores sobre la CP1 y CP2 del biplot GEE; ^(b) Coeficiente de la regresión (Eberhart y Russell, 1966)

^(c) Coeficiente de Variación

*, Difiere estadísticamente de la unidad, con $P < 0,05$

3.5.2.3.b. INFLUENCIA DE LAS INTERACCIONES GA SOBRE LA FUERZA DE GLUTEN

La interacción GA fue la fuente de variación que realizó el menor aporte a la variabilidad total del gluten index. Por ello, cuando se analizó la fuerza de gluten de las variedades en cada uno de los ambientes por separado, el ranking en el que se ordenaron fue prácticamente idéntico al del ensayo en general (T^2 de la Prueba de Rangos de Friedman= 33,86, $P \leq 0,0001$), con Facón y Platino, y en unos pocos ambientes, también Cariló, alternándose en los primeros puestos de GI, y Topacio y Esmeralda, en el cuarto y quinto lugar, respectivamente (Tabla 2.27). En las situaciones más extremas los cambios

experimentados por las mismas les significaron ascensos o descensos en su ranking de un lugar como máximo.

Tabla 2.27. Valores medios de Gluten Index (%) de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense.

Año	Sitio	Ambiente	Cariló	Esmeralda	Facón	Platino	Topacio	Media Ambtes.	DMS ^c
2004	Barrow	1	87	<u>47</u> ^a	93 ^b	83	67	75	14,4
	Cabildo	2	69	<u>52</u>	81	83	75	72	14,4
	La Dulce	3	90	<u>59</u>	94	87	71	80	8,6
	Bordenave	4	85	<u>49</u>	94	89	76	79	10,2
2005	Barrow	5	86	<u>45</u>	92	96	87	81	8,3
	Cabildo	6	73	<u>20</u>	88	97	62	68	13,7
	La Dulce	7	88	<u>40</u>	97	93	81	80	4,8
2006	Barrow	8	91	<u>59</u>	89	88	78	81	6,8
	Cabildo	9	97	<u>71</u>	93	98	92	90	6,0
	La Dulce	10	76	<u>46</u>	87	85	57	70	8,2
Media Genotipos			84	49	91	90	75	78	

^(a) Valor más bajo de GI del ambiente ^(b) Valor más alto de GI del ambiente

^(c) Diferencia Mínima Significativa ($P \leq 0,05$)

El rango de valores de GI observado en la mayoría de los ambientes sitúa a Facón, Platino y Cariló en las categorías de gluten “muy fuerte y fuerte” (GI > 91, y entre 71 y 90, respectivamente), y a Topacio y Esmeralda entre “fuerte y moderadamente fuerte” (GI entre 31 y 70), según la clasificación propuesta por la Junta Canadiense de Granos (Dexter, 2008). Ello habla de un nivel medio de fuerza satisfactorio, en relación al exhibido por variedades de origen canadiense con fuerte presencia en el mercado internacional de este cereal (Abu Hammad *et al.*, 2102).

Debido a la preponderancia del efecto genético por sobre las restantes fuentes de variación, para el estudio de los patrones de interacción GA se utilizó un

modelo de regresión por genotipo (GREG) (Cornelius *et al.*, 1996) del mismo modo que para el caso del índice de amarillo de la sémola.

En el biplot GEE las dos primeras componentes principales explicaron el 87,7% de la suma de cuadrados de A+GA ($P \leq 0,001$) (Figura 2.11). Sobre la CP1 los marcadores ambientales tomaron tanto signo positivo como negativo, y sus proyecciones reflejaron con precisión el orden de GI de los ambientes, según lo revela la alta correlación existente entre los escores sobre dicha CP y las medias de GI ($r = 0,95$, $P \leq 0,0001$). En tanto, sobre la CP2, los marcadores ambientales se distribuyeron siguiendo un patrón asociado a las condiciones de temperatura y humedad que imperaron en la primera quincena de diciembre, que explicaron un 87% de la variación de los escores ambientales sobre dicha componente principal ($F = 8,57$, $P \leq 0,05$). De este modo, sobre el sector positivo de la CP2 se ubicaron los ambientes que durante la última fase del llenado presentaron precipitaciones en el rango entre los 53,5 y los 194mm, y temperaturas entre los 19° y 20,6°C (ambientes 1, 2, 3 y 4 de 2004, y 8 y 10 de 2006); en tanto, sobre el sector negativo, se ubicaron los ambientes que durante la primera quincena de diciembre recibieron precipitaciones inferiores a los 51mm (entre 16,4 y 50,9mm), y que experimentaron temperaturas menores a los 19°C (entre 16,5° y 18,2°C), o superiores a los 21°C (ambientes 5,6 y 7 de 2005, y ambiente 9 de 2006, respectivamente).

En lo que concierne a los marcadores genotípicos, los mismos se posicionaron sin excepción sobre el lado positivo de la CP1, mientras que sobre la CP2, solo Esmeralda lo hizo sobre el sector positivo, y los cuatro restantes sobre el negativo. Estas observaciones estarían sugiriendo, por un lado que en lo que respecta al comportamiento de los genotipos prevalecieron las respuestas proporcionales a los cambios del ambiente, y que las principales diferencias en la respuesta de los mismos al ambiente podrían relacionarse con la composición alélica a nivel del locus Glu-B1, *i.e.* presencia del alelo *e* en el caso de Esmeralda, o del alelo *d* en los cuatro genotipos restantes.

De los diez ambientes del ensayo, los ambientes 6 y 10, con los más altos scores sobre la CP2 proporcionaron las mejores condiciones para la ocurrencia de interacciones GA, en tanto que entre las variedades, la mayor contribución a la componente de interacción les correspondió a Esmeralda y Topacio, que presentaron los más altos scores sobre ambas componentes principales. Estas observaciones concuerdan con lo reportado por Vida *et al.* (2014) quienes determinaron que las variedades de gluten más débil o de fuerza media exhiben una mayor sensibilidad a las fluctuaciones del ambiente.

En el polígono envolvente sobre cuyos vértices se ubicaron los ambientes donde alguna de las cinco variedades presentó su comportamiento más extremo (ambientes 5, 6, 9 y 10), quedaron delimitados tres sectores: A, B, y C. De los tres, el sector A albergó a todas las variedades, lo que implica que todas exhibieron interacciones positivas con los ambientes contenidos en el mismo (ambientes 3, 5, 7, 8, 9), e interacciones negativas con los ambientes ubicados en los sectores B y C, opuestos al anterior, y que no contuvieron a ninguna variedad.

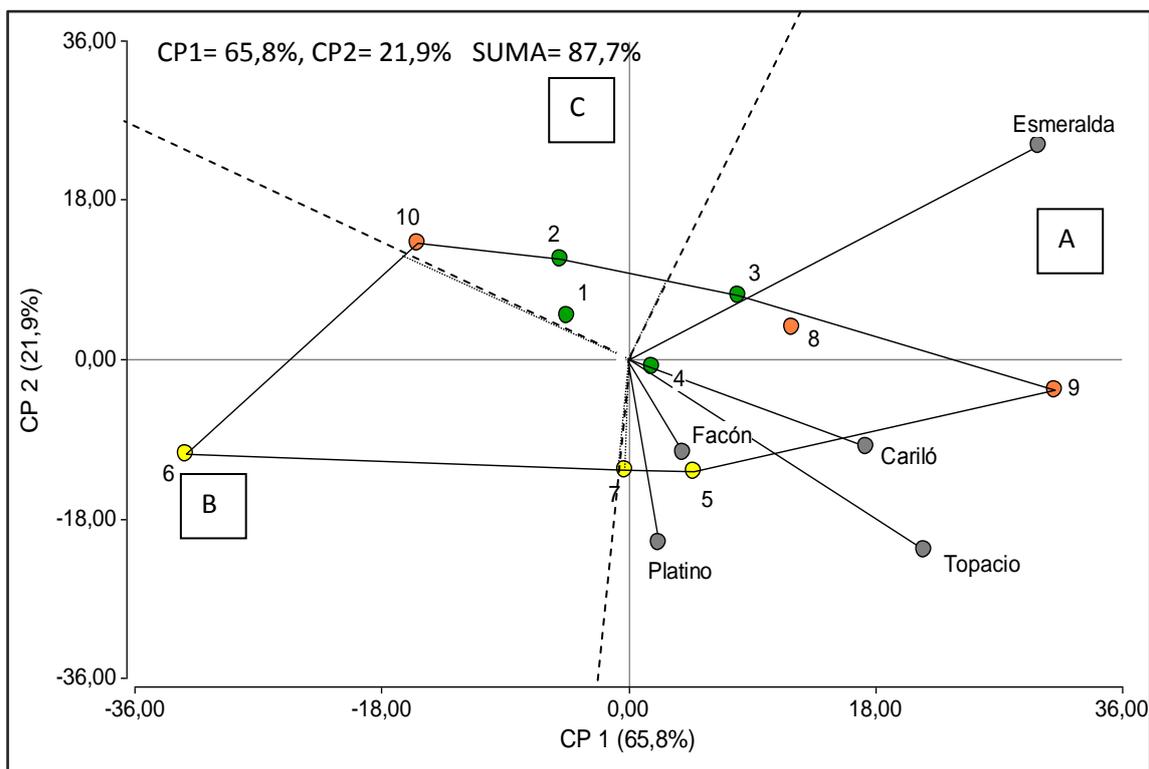


Figura 2.11. Biplot GEE para el Índice de Gluten (%) de cinco genotipos de trigo candeal evaluados en diez ambientes del sur bonaerense entre 2004 y 2006 (Ambientes 1-5-8: Barrow; 2-6-9: Cabildo; 3-7-10: La Dulce) (Círculos verdes, amarillos y naranjas: representan a las campañas 2004, 2005 y 2006, respectivamente).

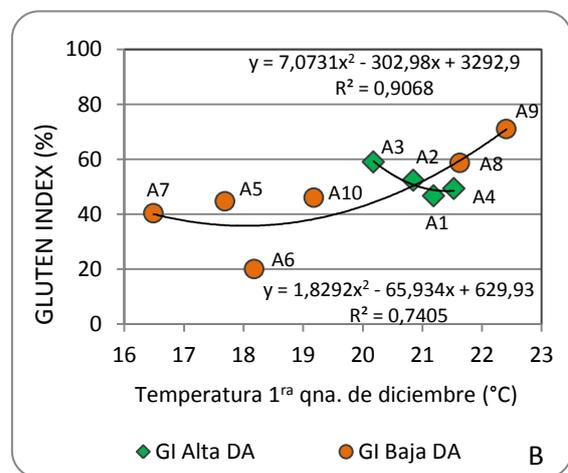
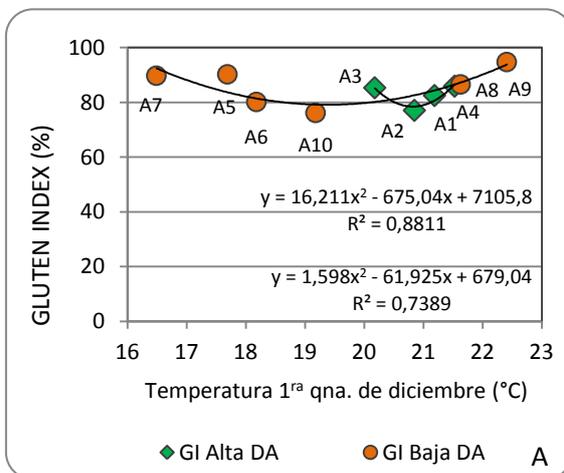
De la observación del biplot GEE surge que si bien las condiciones de sequía y calor que prevalecieron durante el llenado de granos en el ambiente 9 (vértice del sector A) fueron altamente favorables para el logro de niveles altos de fuerza en todos los genotipos (GI entre 71 y 98), los mismos exhibieron diferentes respuestas al ambiente que merecen algunos comentarios. Así, las cuatro variedades portadoras del alelo *d* en el locus GLU-B1, presentaron interacciones positivas con los ambientes donde se registraron bajas precipitaciones, conjuntamente con temperaturas frescas (ambientes 5, 6 y 7), o bien muy altas (ambientes 8 y 9), durante la última etapa del llenado, e interacciones negativas con aquellos ambientes donde se dieron altas precipitaciones, y temperaturas en el rango intermedio (ambientes 1, 2 y 10).

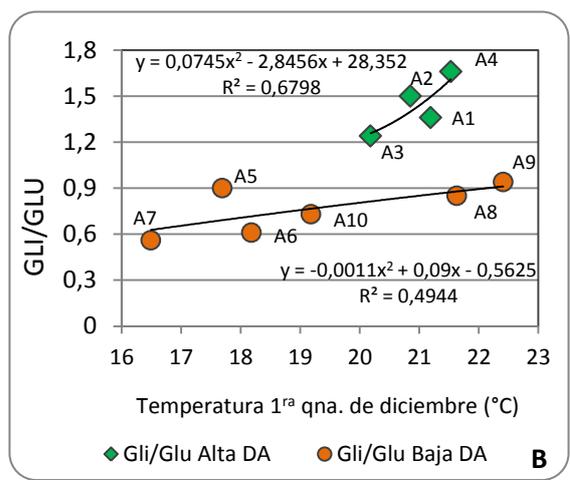
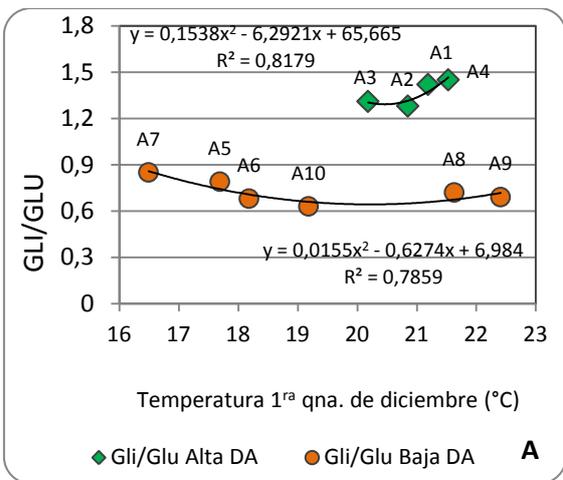
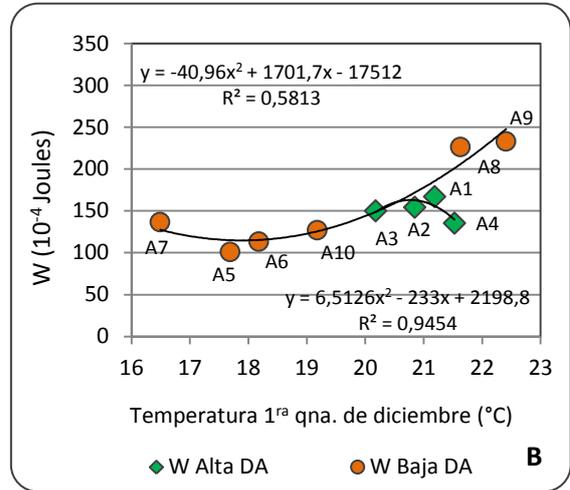
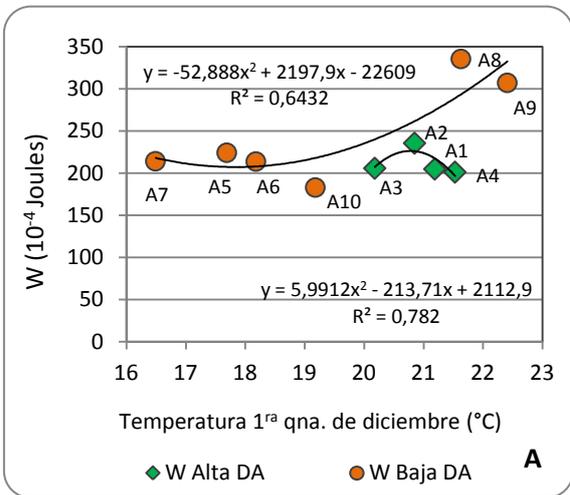
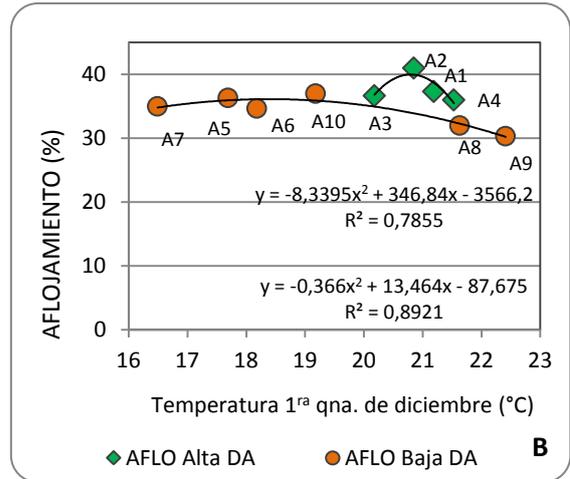
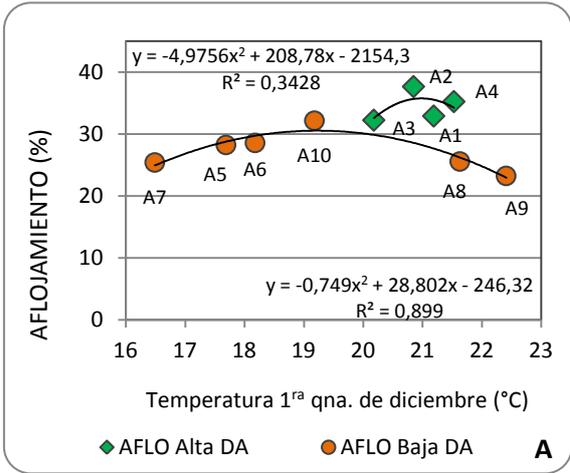
Entre estas variedades, la respuesta a las temperaturas fue de tipo curvilíneo, con mejor comportamiento frente a temperaturas bajas en el caso de Platino y Facón (más cercanas a los marcadores de los ambientes 5 y 7), que para Topacio y Cariló. Si bien el impacto conjunto de las precipitaciones del llenado y las temperaturas de la 1^{ra} quincena de diciembre sobre el GI promedio de estas cuatro variedades fue significativo ($R^2= 0,23$, $P\leq 0,05$), sus efectos fueron más notables sobre las variables farinográficas y alveográficas, dando cuenta por el 68%, 42%, 49%, 39% y 38% de la variación de AFLO, NE, P, P/L y W, respectivamente ($P\leq 0,001$).

Por su parte Esmeralda, la variedad de menor fuerza de gluten de las cinco, y única portadora del alelo *e* en el locus GLU-B1, experimentó interacciones positivas con los ambientes que en la primera quincena de diciembre presentaron condiciones cálidas y de baja disponibilidad hídrica (ambientes 3, 8 y 9), mientras que con temperaturas entre moderadas y bajas, y/o altas precipitaciones su comportamiento fue inferior al promedio.

En la Figura 2.12 (a, b y c) se graficaron los cambios en las variables de composición, GLI/GLU y GI/GT, y en las variables estimadoras de fuerza GI, AFLO y W, en respuesta a las temperaturas de la primera quincena de diciembre para las variedades portadoras del alelo *d*, y para la única variedad portadora del alelo *e*, en sendos grupos de ambientes con baja y alta disponibilidad de agua (Fig. 2.9 e y d). Con relación a las variables de composición, cabe señalar que las principales diferencias entre materiales con distinta composición alélica se dieron a nivel de la fracción GLI/GLU, que frente a aumentos de la temperatura, disminuyó en el caso de las variedades portadoras del alelo *d*, y aumentó en el de Esmeralda, portadora del alelo *e*. Esta disparidad en la respuesta de los genotipos fue reportada previamente en un trabajo pionero en el tema de Stone y Nicolas (1995), quienes en un relevamiento realizado sobre 75 genotipos de trigo de distintas clases (pan, candeal y de galletitas), hábitos de crecimiento (invierno, primavera y facultativos), y orígenes geográficos, también observaron amplias diferencias

en la magnitud y dirección de los cambios en la relación gliadinas/gluteninas en respuesta a las altas temperaturas durante el llenado. No obstante, pese al diferente impacto de las temperaturas sobre la fracción GLI/GLU, todas experimentaron una mejora en la fuerza de las masas, lo cual pudo deberse al aumento concomitante del estado de agregación de la fracción de gluteninas (> GI/GT). Al respecto, Motzo *et al.* (2007), para tres genotipos de origen italiano reportaron una correlación negativa, contraria a la esperada entre el gluten index y la fracción GLU ($r = -0,86$), hipotetizando acerca de la existencia de una posible inhibición de la polimerización de la fracción de gluteninas y un menor estado de agregación de dicha fracción por efecto de temperaturas extremadamente altas hacia el final del llenado. Al respecto, en este estudio, ambas variantes alélicas experimentaron cambios de similar dirección, *i.e.* aumentos en respuesta a temperaturas crecientes bajo condiciones de baja disponibilidad hídrica, y disminución con temperaturas elevadas y disponibilidad hídrica alta.





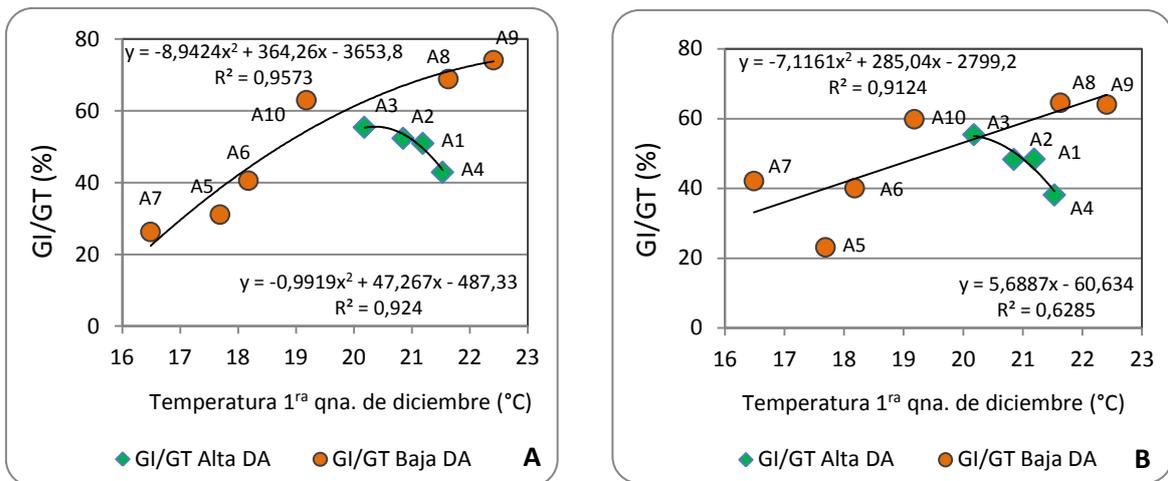


Figura 2.12. Variaciones en los niveles de Gluten Index (%), Aflojamiento farinográfico (%), W alveográfico (10^{-4} Joules), y en la composición de la proteína de reserva, relación GLI/GLU, y GI/GT (%), en función de la temperatura media de la primera quincena de diciembre ($^{\circ}\text{C}$) para dos grupos de genotipos con diferente composición alélica en el locus GLU-B1: alelo d (A: cariló, Facón, Platino y Topacio) y alelo e (B: Esmeralda) en ambientes con alta (rombos verdes) y baja disponibilidad hídrica (círculos anaranjados) (Ambientes 1-5-8: Barrow; 2-6-9: Cabildo; 3-7-10: La Dulce)

En la Tabla 2.28, se presentan los niveles medios de fuerza y la composición de la proteína de reserva de los cinco genotipos en los ambientes donde exhibieron su mejor y peor comportamiento del ensayo.

Tabla 2.28. Niveles medios de Gluten Index (GI, %), Aflojamiento Farinográfico (AFLO, %), Fuerza Alveográfica (W, 10^{-4} Joules), y composición de la proteína de reserva, relación gliadina/glutenina (GLI/GLU) y proporción de glutenina insoluble sobre la glutenina total (GI/GT, %) de cinco genotipos de trigo candeal en los ambientes donde exhibieron el mejor (en letra negrita) y peor (en letra regular) comportamiento del ensayo.

GENOTIPO	Ambiente	GI (%)	AFLO (%)	W (10^{-4} Joules)	GLI/GLU	GI/GT (%)
Facón	9	93	24	355	0,58	78
	2	81	36	271	0,95	59
Esmeralda	9	71	30	233	0,94	64
	6	20	35	113	0,61	40
Topacio	9	92	22	295	0,70	72
	10	57	36	151	0,47	61
Platino	9	98	22	265	0,70	73
	10	85	31	212	0,44	54
Cariló	9	97	25	313	0,80	74
	10	76	33	157	0,90	69

ESTABILIDAD EN LA RESPUESTA DE LOS GENOTIPOS AL AMBIENTE

Si bien debido a la fuerte componente genética del carácter todos los genotipos observaron un comportamiento estable frente al ambiente, los mismos exhibieron algunas diferencias que merecen resaltarse. Así, de los cinco Platino y Facón, fueron los más estables, con muy bajas fluctuaciones del GI (CV= 6,3% y 4,9 % vs 27,6%, 14,5% y 10,2%, para Esmeralda, Topacio y Cariló, respectivamente), y coeficientes de la regresión *bi* significativamente menores a la unidad (*bi*= 0,37 y 0,42, respectivamente) (Tabla 2.29). Ello significa que no solo exhibieron una buena performance en los ambientes cálidos y secos que resultaron favorables para el fortalecimiento de las masas en todos los genotipos, sino que además, presentaron un comportamiento destacado en los ambientes más frescos, donde los restantes experimentaron

aflojamiento. Ello podría representar una ventaja en campañas donde el llenado transcurra con temperaturas moderadas a bajas, o bien en el caso de materiales precoces sembrados relativamente temprano.

Tabla 2.29. Valores medios de Gluten Index (%), y parámetros estimadores de estabilidad de cinco genotipos de trigo candeal en diez ambientes de cultivo del sur bonaerense.

Genotipo	Gluten Index	e_1^a	e_2^a	b_i^b	CV(%) ^c
Cariló	84	0,42	-0,24	1,22	10,2
Esmeralda	49	0,73	0,59	1,55	27,6
Facón	91	0,10	-0,26	0,42*	4,9
Platino	90	0,05	-0,51	0,37*	6,3
Topacio	75	0,53	-0,52	1,45	14,5
Promedio	78	---	---	1,0	12,7

^(a) Escores sobre la CP1 y CP2 del biplot GEE;

^(b) Coeficiente de la regresión; ^(c) Coeficiente de Variación

* Difiere estadísticamente de la unidad con $P \leq 0,05$.

Por su parte, Esmeralda y Topacio, y en menor medida, Cariló, presentaron una mayor respuesta al ambiente, conforme lo reflejan los elevados escores sobre la CP1 y la CP2, y los altos valores del coeficiente de regresión b_i . Estos resultados coinciden con las observaciones realizadas por Lerner *et al.* (2005) para 11 cultivares de *durum* de Argentina y Chile evaluados en Azul por espacio de tres años, y por Vida *et al.* (2014) en Martonvásár (Hungria) sobre 70 genotipos de origen diverso, analizados entre 1999 y 2012, quienes observaron alta estabilidad entre las variedades de mayor fuerza de gluten, y mayor sensibilidad a las variaciones del ambiente entre las de gluten menos fuerte. Del mismo modo, AbuHammad *et al.* (2012) para 16 cultivares de trigo *durum* canadiense cultivados en tres localidades de North Dakota, informaron un menor efecto del ambiente sobre el GI para los genotipos de gluten fuerte y extra fuerte, que para genotipos de fuerza moderada y débil.

2.6. CONCLUSIONES PARCIALES

De los resultados presentados en este capítulo se desprende que:

- Para la región bajo estudio la calidad de la sémola, medida a través del Índice de amarillo b^* , el porcentaje de gluten húmedo y el gluten index, en la mayoría de los casos se ubicó dentro del rango de satisfacción impuesto por la industria procesadora, lo que habla de la existencia de una base genética adecuada, y de la prevalencia de condiciones ambientales que, aunque fluctuantes entre sitios y años, en general resultan propicias para el logro de niveles de calidad industrial satisfactorios.
- De los tres atributos de calidad evaluados, el contenido de gluten, debido a la estrecha relación que lo vincula con la proteína del grano, resultó más influido por los efectos del ambiente y las interacciones GA. Por ello, en lo que concierne a este rasgo, además de ser fundamental la implementación de técnicas agronómicas tendientes a maximizar los niveles de proteína en el grano, es imprescindible disponer de un mecanismo de predicción temprana, basado en el monitoreo de las principales variables del clima que afectan el contenido proteico del grano. Ello permitirá que las industrias asentadas en una determinada región puedan delinear anticipadamente estrategias de segregación y mezcla orientadas al logro de niveles estables de gluten a lo largo de los años.
- El índice de amarillo y el gluten index, estuvieron principalmente influidos por los efectos del genotipo, lo que pone de relieve la importancia de disponer de un espectro de variedades capaces de aunar en la sémola, niveles destacados de color y de fuerza de gluten.
- En lo que concierne a los efectos del ambiente y los factores que lo componen (año, localidad y sus interacciones), mientras que para el GH la

mayor contribución le correspondió al factor localidad (al igual que lo observado para la proteína del grano), en el caso del índice de amarillo b^* , el mayor impacto fue para los efectos del año, donde los factores del clima ejercieron un efecto directo sobre el color, que excedió en magnitud a los efectos indirectos originados por dilución o concentración relacionados con cambios en el PMG.

- En el caso del Gluten Index, la mayor variación asociada a los efectos del ambiente provino de la interacción localidad x año, lo cual puso en evidencia la dificultad que exhiben algunos sitios o zonas del área de cultivo de trigo candeal para proveer materia prima con niveles estables de fuerza en el tiempo. Más concretamente, en lo que respecta a las localidades, Cabildo en la región del Sudoeste Semiárido, si bien exhibió niveles consistentemente altos de gluten húmedo y de color en la sémola, debido a la gran variabilidad climática que la caracteriza, observó amplias fluctuaciones en la fuerza de gluten, a partir de lo cual se desprende que para dicha zona debieran recomendarse variedades que presenten un comportamiento estable para este atributo. Este objetivo solo podrá ser alcanzado con materiales de gluten fuerte que demostraron ser los menos sensibles a las fluctuaciones del ambiente.
- Las localidades de la región Centrosur, en tanto, presentaron niveles de GH y color también satisfactorios, pero menores a los de Cabildo, en tanto que, en lo que hace a la fuerza se observó una leve ventaja para Barrow, que se destacó, además, por la alta consistencia mostrada entre años.
- El análisis de las principales fracciones que componen la proteína de reserva del endosperma por SE- HPLC permitió explicar buena parte de los cambios operados en la fuerza de gluten por efecto de los factores del clima, a lo que se sumó la distinta capacidad para detectar dichos cambios que proporcionaron el resto de las pruebas de fuerza utilizadas con carácter complementario.

- Condiciones de baja disponibilidad hídrica, y de temperaturas relativamente bajas, o bien muy altas en la fase final del llenado, derivaron en relaciones GLI/GLU bajas en la proteína de reserva (< 1), y en un mayor grado de polimerización del macropolímero de glutenina (GI/GT), que favorecieron el logro de niveles altos de fuerza de gluten en la sémola. Por el contrario, condiciones de alta disponibilidad hídrica durante el llenado se relacionaron, sin excepción, con altas relaciones GLI/GLU (> 1), cuyos efectos negativos sobre la fuerza de gluten se magnificaron con la ocurrencia en simultáneo de altas temperaturas, que afectaron negativamente tanto la relación GLI/GLU como el estado de agregación del macropolímero de glutenina.

- En lo que respecta a los genotipos, se determinaron amplias diferencias para los tres atributos evaluados en la sémola, incluso para el contenido de gluten húmedo, que además de estar estrechamente asociado al nivel proteico, se vinculó con la capacidad formadora de gluten de la variedad. Dicho rasgo, se mostró inversamente asociado a la fuerza de gluten de la variedad, de modo tal que la mayor capacidad formadora de gluten por unidad de proteína se dio entre las variedades de gluten más débil, y la menor, entre las de gluten más fuerte. También la respuesta de este atributo frente a niveles crecientes de proteína fue muy variable entre genotipos, lo cual impactó sobre la estabilidad de los mismos frente a las variaciones del ambiente.

- Con relación a la fuerza de gluten se determinó que si bien la composición alélica a nivel del locus GLU-B1 (presencia de los alelos d o e) permitió explicar parcialmente las diferencias de fuerza entre los genotipos participantes (principalmente entre los cuatro genotipos portadores del alelo d y el único portador del alelo e), proporcionó evidencia acerca de la existencia de un mecanismo de respuesta al ambiente distinto entre genotipos pertenecientes a sendas variantes alélicas.

- En lo que concierne al color amarillo de la sémola, si bien las tres variedades de grano típicamente más pequeño se destacaron con los niveles más altos de b^* , la diferente performance de las variedades frente al ambiente se relacionó con el largo su ciclo, mostrándose las variedades de ciclo más corto, más proclives a experimentar disminuciones en los niveles de color de la sémola en ambientes donde prevalecieron condiciones favorables para el logro de altos PMG. No obstante, para el conjunto de los materiales las fluctuaciones en el color amarillo de la sémola se erigieron principalmente como un mecanismo de respuesta al estrés (hídrico y/o térmico), y en menor medida, como el resultado de fenómenos de dilución o concentración vinculados con cambios en el PMG.

- Como era de esperar en virtud de la fuerte componente genética de ambos caracteres, tanto para el color de la sémola como para la fuerza de gluten, se determinó una alta estabilidad en la respuesta de los genotipos al ambiente, con prevalencia en la mayoría de los casos, de respuestas proporcionales a los cambios del ambiente. Cabe destacar, que en lo que concierne a la fuerza, las variedades de gluten más fuerte, se mostraron menos sensibles a las fluctuaciones del ambiente, en tanto que las de gluten más débil presentaron mayor sensibilidad.

CONSIDERACIONES FINALES

- En las subregiones del Centro Sur Subhúmedo y Sudoeste Semiárido del área de cultivo de trigo candeal de Argentina la calidad del grano y de la sémola variaron significativamente a lo largo del trienio analizado, ubicándose por lo general dentro del rango de satisfacción impuesto por la industria procesadora.
- Los resultados del estudio revelaron amplias diferencias en la contribución relativa de los efectos del ambiente, el genotipo y las interacciones GA para los seis atributos analizados, con preponderancia de los efectos asociados al ambiente en el caso de las tres variables medidas en el grano, y del gluten húmedo de la sémola, y mayor impacto del genotipo sobre el índice de amarillo y la fuerza de gluten.
- En lo que concierne a las interacciones GA, las mismas fueron particularmente importantes para el contenido proteico del grano y el gluten húmedo, en tanto que para el resto, la magnitud fue menor, y estuvo por lo general asociada con cambios proporcionales a las fluctuaciones del ambiente. El largo del ciclo desde la emergencia a la espigazón, y en un segundo plano, el rendimiento, y el tamaño y forma del grano, fueron las variables que más influyeron en la respuesta diferencial de las variedades al ambiente, a excepción del gluten index de la sémola, donde la sensibilidad en la respuesta se mostró mayormente vinculada con la fuerza de gluten intrínseca de la variedad.
- Entre las subregiones, el Sudoeste Semiárido se destacó consistentemente con altos niveles de proteína, gluten y color, y valores de peso hectolítrico y vitreosidad también satisfactorios y estables entre campañas, lo cual puede considerarse una fortaleza para la región en virtud de los comparativamente bajos niveles de rendimiento que la caracterizan. Por su parte, entre las localidades del Centro Sur, donde

los rendimientos fueron por lo general superiores, la calidad del grano fue igualmente satisfactoria, con La Dulce destacándose con valores consistentemente altos de PH, rubro en el que Barrow mostró cierta dificultad para satisfacer las exigencias impuestas por el Grado 1 de la norma comercial, e inconsistencia entre años. Esta última localidad, en contrapartida, ostentó los niveles más altos de vitreosidad, aún en los casos en que la proteína del grano se ubicó en el rango de valores intermedios.

- Entre los genotipos evaluados Facón y Cariló fueron los que pudieron aunar valores satisfactorios de calidad y consistencia en la respuesta al ambiente para la mayoría de los atributos de calidad analizados, en tanto que Topacio, fue el más inestable, excepto en el caso del color amarillo de la sémola.

- Pese a las diferencias en las condiciones agroclimáticas, y en los rendimientos y calidad del grano cosechado, la evidencia recogida en este estudio permite suponer que en lo que respecta a la calidad, las localidades ensayadas integran un único mega-ambiente de respuesta, donde por lo general los niveles de calidad exhibidos por los genotipos fueron proporcionales a los cambios del ambiente, y la ocurrencia de episodios esporádicos de déficit o excesos hídricos, y/o de altas temperaturas durante el llenado de granos, fueron las principales causas de alteraciones en el comportamiento de las variedades.

REFERENCIAS

- AACC. American Association of Cereal Chemists. URL: <http://www.aaccnet.org>
- AAFC. Agriculture and Agri-Food Canada. URL: <http://www.agr.gc.ca>
- Aalami, M., Leelavathi, K., Prasada Rao, U.J.S. 2007a. Spaghetti making potential of Indian durum wheat varieties in relation to their protein, yellow pigment and enzyme contents. *Food Chemistry* 100: 1243 - 1248.
- Aalami, M., Prasada Rao, U.J.S., Leelavathi, K. 2007b. Physicochemical and biochemical characteristics of indian durum wheat varieties: Relationship to semolina milling and spaghetti making quality. *Food Chemistry* 102: 993 - 1005.
- Abbate, P.E., 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. 2 al 4 de julio de 2008.
- Abbate, P.E., Gutheim, F., Polidoro, O., Milisich, H.J., Cuniberti, M. 2010. Fundamentos para la clasificación del trigo argentino por calidad: efectos del cultivar, la localidad, el año y sus interacciones. *Agriscientia*, XXVII: 1- 9.
- Abbate, P.E., Lázaro, L., de Pablo, M.C. 2001. Peso hectolítrico y limitación por fuente en cultivos de trigo de alto potencial de rendimiento. *V Congreso Nacional de Trigo*. Carlos Paz, Córdoba. 25 al 28 de Septiembre de 2001.
- AbuHammad, W., Elias, E., Manthey, Fm, Alamri, M., Mergoum, M. 2012. A comparison of methods for assessing dough and gluten strength of durum wheat and their relationship to pasta cooking quality. *International Journal of Food Science and Technology* 47: 2561 - 2573.
- Acuña, A., Ghezan, G., Scheggia, N., Berlanga, P. 1982. Algunos aspectos de la producción y comercialización de trigo para fideo. *Boletín Técnico* N° 89, INTA, EEA Balcarce.

- Akçura, M. 2009. Genetic variability and interrelationship among grain yield and some quality traits in Turkish winter durum wheat landraces. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 33: 547 - 556.
- Allard, R.W., Bradshaw, A.D. 1964. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science* 4: 503 - 508.
- Alvarez, J. B., Martin, L. M., Martin, A. 1999. Genetic variation for carotenoid pigment content in the amphiploid *Hordeum chilense* × *Triticum turgidum* conv. durum. *Plant Breeding* 118: 187 - 189.
- Ammar, K., Kronstad, W.E., Morris, C.F. 2000. Breadmaking quality of selected durum wheat genotypes and its relationship with high molecular weight glutenin subunits allelic variation and gluten protein polymeric composition. *Cereal Chemistry* 77: 230 - 236.
- Ames, N. P., Clarke, J. M., Dexter, J. E., Woods, S. M., Selles, F. and Marchylo, B. 2003. Effects of nitrogen fertilizer on protein quality and gluten strength parameters in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) cultivars of variable gluten strength. *Cereal Chemistry* 80: 203 - 211.
- Ames, N.P., Clarke, J. M., Marchylo, B.A., Dexter, J. E., Woods, S.M. 1999. Effect of environment and genotype on durum wheat gluten strength and pasta viscoelasticity. *Cereal Chemistry* 76: 582 - 586.
- Ames, N. P., Clarke, J. M., Marchylo, B.A., Dexter, J. E., Schlichting, L.M., Woods, S.M. 2003. The effect of extra-strong gluten on quality parameters in durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 83: 525 - 532.
- Anjum, F.M., Walker, C.E. 1991. Review on the significance of starch and protein to wheat kernel hardness. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 56: 1 - 13.
- Annicchiarico, P. 2002. Genotype x environment interactions: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. En: *FAO Plant Production and Protection Paper (FAO)*, No. 174 / FAO, Rome (Italy). Plant Production and Protection Div. 115 pp.

- Arriaga, H. O., Chidichimo, H. O., Sempe, M. E. 1980. El caracter vitreo del grano de trigo. *Revista de la Facultad de Agronomía* 1: 47 – 61.
- Atwell, W.A. 2001. Composition of commercial flour. En: *Wheat flour*. Atwell, W. A.(Ed.) St. Paul, MN. Eagan Press Handbook Series. pp. 27 - 45.
- Autran, J.C., Abecassis, J., Feillet, P. 1986. Statistical evaluation of different technological and biochemical tests for quality assessment in durum wheats. *Cereal Chemistry* 63: 390 - 394.
- Balla, K., Karsai, I., Veisz, O. 2009. Analysis of the quality of wheat varieties at extremely high temperatures. *Cereal Research Communications* 37: 13 - 16.
- Balla, K., Rakszegi, M., Li, Z., Bekes, F., Bencze, S., Veisz, O. 2011. Quality of winter wheat in relation to heat and drought shock after anthesis. *Czech Journal of Food Science* 29: 117 - 128.
- Balzarini, M., Bruno, C., Arroyo, A. 2005. Análisis de ensayos agrícolas multiambientales. Ejemplos con INFOGEN. Brujas, Córdoba. 141p.
- Barbottin, A., Lecomte, C., Bouchard, C., Jeuffroy, M.H. 2005. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: Genotypic and environmental effects. *Crop Science* 45: 1141 - 1150.
- Bast, A., van der Plas, R.M., van der Berg, H., Haenen, G.R. 1996. β -carotene as antioxidant. *European Journal of Clinical Nutrition* 50: S54-S56
- Baum, M, Impiglia, A., Ketata, H., Nachit, M. 1995. Studies on some grain quality traits in durum wheat grown in Mediterranean environments. En: di Fonzo, N., Kaan, F., Nachit M (Eds.). *Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region*. Zaragoza, Spain: CIHEAM, pp. 181-187.
- Bechtel, D.B., Abecassis, J., Shewry, P.R., Evers, A.D. 2009. Development, structure, and mechanical properties of the wheat grain. En: Khan K, Shewry P.R. (Eds.) *Wheat Chemistry and Technology*. 4th ed. St. Paul, MN, USA: AACC International, pp. 68 - 86.
- Bilgín, O., Korkut, K.Z., Başer, I., Dağlioğlu, O., Öztürk, I., Kahraman, T., Balkan, A. 2010. Variation and heritability for some semolina characteristics

and grain yield and their relations in Durum wheat (*Triticum durum* Desf.).
World Journal of Agricultural Sciences 6: 301

- Blanco, A., Mangini, G., Giancaspro, A., Giove, S., Colasuonno, P., Simeone, R., Signorile, A., De Vita, P., Mastrangelo, A.M., Cattivelli L., Gadaleta, A. 2012. Relationships between grain protein content and grain yield components through quantitative trait locus analyses in a recombinant inbred line population derived from two elite durum wheat cultivars. *Molecular Breeding* 30: 79 - 92
- Blumenthal, C.S., Barlow, E.W.R., Wrigley, C.W., 1993. Growth environment and wheat quality: the effect of heat stress on dough properties and gluten proteins. *Journal of Cereal Science* 18: 3 - 21
- Blumenthal, C.S., Batey, I.L., Bekes, F., Wrigley, C.W., Barlow, E.W.R., 1991. Seasonal changes in wheat grain quality associated with high temperatures during grain filling. *Australian Journal of Agricultural Research* 42: 21 - 30.
- Blumenthal, C.S, Bekes, F., Gras, W., Barlow, E. W. R., Wrigley, W. 1995. Identification of wheat genotypes tolerant to the effects of heat stress on grain quality. *Cereal Chem.* 72: 539 – 544.
- Bnejdi, F., El Gazzah, M. 2008. Inheritance of resistance to yellowberry in durum wheat. *Euphytica* 163: 225 - 230.
- Boggini, G., Doust, M. A., Annicchiarico, P., Pecetti, L. 1997. Yielding ability, yield stability, and quality of exotic durum wheat germplasm in Sicily. *Plant Breeding* 116: 541 - 545.
- Boggini, G., Pogna, N.E., 1989. The breadmaking quality and storage protein composition of Italian durum wheat. *Journal of Cereal Science* 9: 131-138.
- Borghi, B., Corbellini, M., Ciaffi, M., Lafiandra, D., De Stefanis, E., Sgrulletta, D., Boggini, G., Di Fonzo, N., 1995. Effect of heat shock during grain filling on grain quality of bread and durum wheats. *Australian Journal of Agricultural Research* 46: 1365 - 1380.

- Borghi, B., Corbellini, M., Minoia, C., Palumbo, M., Di Fonzo, N., Perenzin, M. 1997. Effects of Mediterranean climate on wheat bread-making quality. *European Journal of Agronomy* 6: 145 - 154.
- Borrelli, G.M., De Leonardis, A.M., Platani, C., Troccoli, A. 2008. Distribution along durum wheat kernel of the components involved in semolina colour. *Journal of Cereal Science* 48: 494 - 502.
- Borrelli, G.M., Troccoli, A., Di Fonzo, N., Fares, C. 1999. Durum wheat lipoxygenase activity and other quality parameters that affect pasta color. *Cereal Chemistry* 76: 335 - 340.
- Bozzini, A. 1988. Origin, distribution and production of durum wheat in the world. En: G. Fabriani and C. Lintas (Eds.) *Durum Chemistry and Technology*. AACC, St. Paul, MN. p.1 - 6.
- Branković, G., Dodig, D., Zorić, M., Šurlan-Momirović, G., Dragičević, V., Đurić, N. 2014. Effects of climatic factors on grain vitreousness stability and heritability in durum wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 38: 429 - 440.
- Branković, G., Dragičević, V., Dodig, D., Zorić, M., Knežević, D., Žilić, S., Denčić, S., Šurlan, G. 2015. Genotype × Environment interaction for antioxidants and phytic acid contents in bread and durum wheat as influenced by climate. *Chilean Journal of Agricultural Research* 75: 139 - 146
- Brites, C., Carrillo, J.M. 2001. Influence of high molecular weight (HMW) and low molecular weight (LMW) glutenin subunits controlled by Glu-1 and Glu-3 loci on durum wheat quality. *Cereal Chemistry* 78: 59 - 63.
- Budak, H., Budak, F. 1998. The effect of vitreousness on 3 durum wheats (*T. durum* desf.) quality in Kahramanmaraş region of Turkey. *Anadolu Jnal Aari* 8: 127 - 135.
- Bushuk, W. 1998. Wheat breeding for end-product use. *Euphytica* 100: 137 - 145.

- Cabrera, M. L. 2007. Mineralización y nitrificación: procesos claves en el ciclo del nitrógeno. Simposio Fertilidad 2007. IPNI Cono Sur-Fertilizar AC. Rosario, 10-11 Mayo 2007, y Seminario Internacional de Nutrición Vegetal 2007. Facultad de Agronomía (UdelaR) (Paysandú)- INIA- IPNI. Cono Sur. 8 de Mayo de 2007. Paysandú, Uruguay.
- Campbell, C. A., Davidson, H. R., Winkleman, G. E. 1981. Effect of nitrogen, temperature, growth stage and duration of moisture stress on yield components and protein content of Manitou spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 61: 549 - 563.
- Cantamutto, M., Möckel, F. E. 1991. El mecanismo del lavado en trigo. *Revista de la Facultad de Agronomía (UBA)* 12: 179 - 191.
- Cantamutto, M. A., Möckel, F. E., Deán, M.O., Gullace, G. D. 1986. Momento de ocurrencia, magnitud y reiteración de lluvias como determinante del lavado del grano de trigo y su efecto en la calidad comercial e industrial. *Revista de Facultad de Agronomía* 7: 45 - 53.
- Cantamutto, M. A., Möckel, F. E., Gallez, L. M., Gullace, G. D. 1985. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre el "lavado" del grano de trigo. *Revista de la Facultad de Agronomía. Tomos LXI y LXII*: 131 - 141.
- Carbajo, H. 2001. Trigo Candeal. Manual Técnico. Material de divulgación N°3. Chacra Experimental Integrada de Barrow (Convenio MAGyAL-INTA), 98pp.
- Carrillo, J.M., Vázquez, J.F., Orellana, J. 1990a. Relationship between gluten strength and glutenin proteins in durum wheat cultivars. *Plant Breeding* 104: 325 - 333.
- Chidichimo, H.O., Sempé, M.E., Aulicino, M.B., Almaráz, L.B. 2007. Informe sobre la calidad comercial e industrial de trigo, Campañas 1994/95 a 2005/06. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Bs. As., 192 pp.

- Chung, O.K., Ohm, J.B. 1996. Effect of genotype and environment on gluten characteristics and their relationships with baking characteristics of hard winter wheats. *Cereal Foods World Abstract* 41: 579 - 580.
- Ciaffi, M., Tozzi, L., Borghi, B., Corbellini, M., Lafiandra, D. 1996. Effect of heat shock during grain filling on the gluten protein composition of bread wheat. *Journal of Cereal Science* 24: 91 - 100.
- CIE. Commission Internationale de l'Eclairage. 1986. Publication 15.2. Colorimetry, second ed. CIE Central Bureau Kegelgasse, Wien, Austria. 27-A-1030.
- CGC. Canadian Grain Commission. Quality of Western Canadian Wheat. URL: <https://www.grainscanada.gc.ca/quality-qualite/geuq-quf-eng.htm>
- Clarke, F.R., Clarke, J.M., DePauw, R.M., Fernandez, M.R., Fox, S., Gilbert, J., Humphreys Gknox., R.E., McCaig, T.N., Procnier, D., Sissons, M., Somers, D. 2005. Strategic approach to mitigating weather induced defects of wheat quality. *Euphytica* 143: 285 - 290.
- Clarke, F.R., Clarke, J.M., Ames, N.A., Knox, R.E., Ross, J.R. 2010. Gluten index compared with SDS-sedimentation volume for early generation selection for gluten strength in durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 90: 1 - 11.
- Clarke, F.R., Clarke, J.M., McCaig, T.N., Knox, R.E., DePauw, R.M. 2006. Inheritance of yellow pigment concentration in four durum wheat crosses. *Canadian Journal of Plant Science* 86: 133 - 141.
- Clarke, F. R., Clarke, J. M., Pozniak, C. J., Knox, R. E. 2009. Inheritance of test weight and kernel weight in eight durum wheat crosses. *Canadian Journal of Plant Science* 89: 1047 - 1057.
- Clarke, F. R., Clarke, J.M., Pozniak, C. J., Knox, R. E., McCaig, T. N. 2009. Protein concentration inheritance and selection in durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 89: 601 - 612.

- Conti, V. 2007. Mapeo de regiones genómicas (QTLs) asociadas a fuerza de gluten en trigo candeal. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 201 p.
- Conti, V., Roncallo, P. F., Beaufort, V., Cervigni, G.L., Miranda, R., Jensen, C.A., Echenique, C.V. 2011. Mapping of main and epistatic effect QTLs associated to grain protein and gluten strength using a RIL population of durum wheat. *Jnal of Applied Genetics* 52: 287 - 298.
- Corbellini, M., Canevar, M. G., Mazza, L., Ciaffi, M., Lafiandra, D., Borghi, B. 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. *Australian Journal of Plant Physiology* 24: 245 - 260.
- Cornelius, P.L., Crossa, J., Seyedsadr, M. 1996. Statistical tests and estimators of multiplicative models for cultivars trials. En: King, M.S. y Gauch, H.G. Jr. (Eds.) *Genotype-by-Environment Interaction*. Boca Raton. Fl: CRC Press, pp. 199 - 234.
- Correll, R., Butler, J., Spouncer, L., Wrigley, C. 1994. The relationship between grain-protein content of wheat and barley and temperatures during grain filling. *Australian Journal of Plant Physiology* 21: 869 - 873.
- Cox, M. C., Qualset, C. O., Rains, D. W. 1985a. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. I. Dry matter and nitrogen accumulation. *Crop Science* 25: 430 - 435.
- Cox, M. C., Qualset, C. O., Rains, D. W. 1985b. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. II. Nitrogen assimilation in relation to grain yield and protein. *Crop Science* 25: 435 - 440.
- Cox, M. C., Qualset, C. O., and Rains, D. W. 1986. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. III. Nitrogen translocation in relation to grain yield and protein. *Crop Science* 26: 737 - 740.

- Crossa, J., Cornelius, P.L. 2002. Linear-bilinear models for analyzing genotype x environment interaction and assessing cross-over interaction. En: Manjit, S. Kang (Ed.). Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding. Oxford. U.K.: CABI Publishing, pp. 305 - 322.
- Cubadda, R. 1988. Evaluation of durum wheat, semolina and pasta in Europe. Chapter 11. En: Durum: Chemistry and Technology. Fabriani and Lintas Eds. AACC. pp. 332.
- Cubadda, R., Carcea, M. 1994. Evaluation of gluten strength in durum wheat and semolina by rapid methods. Italian Food and Beverage Technology IV 15 - 20.
- Cubadda, R., Carcea, M., Pasqui, L.A. 1992. Suitability of the gluten index test for assessing gluten strength in durum wheat and semolina. Cereal Foods World 37: 866 - 869.
- Cuniberti, M. 1998. Efecto del estrés calórico durante el llenado del grano sobre el P/L y la calidad del trigo. En: Actas del IV Congreso Nacional de Trigo. Mar del Plata, 11 al 13 de noviembre de 1998. pp. 5.
- Cuniberti, M y Mir, L. 2012. Relación gluten/proteína en trigo. Publicación digital. INTA. URL: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-03relacion_gh-prot_en_trigo-cuniberti_-mir.pdf
- Czarnecki, E. , Evans, I. E. 1986. Effect of weathering during delayed harvest on test weight, seed size, and grain hardness of wheat. Canadian Journal of Plant Science 66: 473 - 482.
- Dalla Marta, A., Grifoni, D., Mancini, M. 2011. The influence of climate on durum wheat quality in Tuscany, Central Italy. International Journal of Biometeorology 55: 87 - 96.
- Damidaux, R., Autran, J.C., Grignac, P., Feillet, P., 1978. Mise en évidence de relations applicables en sélectin entre l'électrophorogramme des gliadins et les propriétés viscoélastiques du gluten de Triticum durum Desf. Comptes Rendu de l'Academie. Sciences Séries D 287: 701 - 704.

- Daniel, C., Triboï, E. 2000. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheats: Effects on gliadin content and composition. *Journal of Cereal Science* 32: 45 - 56.
- Daniel, C., Triboï, E. 2001. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the accumulation of gliadins analysed by RP-HPLC. *Australian Journal of Plant Physiology* 28: 1197 - 1205.
- Daniel, C., Triboi, E. 2002. Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperatures and water stress. *European Journal of Agronomy* 16: 1 - 12.
- Dean, M. y Seghezzo, M.L. 1978 Técnica farinográfica tentativa en la comparación de trigos candeales. Publicación Interna Laboratorio N° 9, Chacra Experimental Barrow.
- Debbouz, A., Pitz, W.J., Moore, W.R., D'Appolonia, B.L. 1995. Effect of bleaching on durum wheat and spaghetti quality. *Cereal Chemistry* 72: 128 - 131.
- D' Egidio, M. G., Mariani, B. M., Nardi, S., Novaro, P., Cubadda, R.1990. Chemical and technological variables and their relationships: A predictive equation for pasta cooking quality. *Cereal Chemistry* 67: 275 - 281.
- D'Egidio, M. G., Mariani, B. M., Novaro, P. 1993a. Viscoelastograph measures and total organic matter test: Suitability in evaluating textural characteristics of cooked pasta. *Cereal Chemistry* 70: 67 - 72.
- Della Penna, D., Pogson, B.J. 2006. Vitamin synthesis in plants: tocopherols and carotenoids. *Annual Review of Plant Biology* 57: 711 - 738.
- Demarie, G., Viteri, L. y Ghezan, G.1999. Agricultura de contrato en el cultivo de trigo candeal. Inta Balcarce. URL: <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/econo/indus/agriculturadec ontrato.htm>

- Dettori, M., Crossa, J., Ammar, K., Peña, R., Varela, M. 2011. Three-Mode Principal Component Analysis of Genotype-by-Environment-by-Trait Data in Durum Wheat. *Journal of Crop Improvement*, 25: 619 - 649.
- De Vita, P., Li Destri Nicosia, O., Nigro, F., Platani, C., Riefolo, C., Di Fonzo, N., Cattivelli, L. 2007. Breeding progress in morpho-physiological agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th. century. *European Journal of Agronomy* 26: 39 - 53.
- Dexter, J. E. 2008. The history of durum wheat breeding in Canada and summaries of recent research at the Canadian Grain Commission on factors associated with durum wheat processing. *Bosphorus 2008-ICC International Conference*, 2008 Apr. 24 - 26. 2008. Istanbul, Turkey.
- Dexter, J.E., Crowle, W.L., Matsuo, R.R., Kosmolak, F.G. 1982. Effect of nitrogen fertilization on the quality characteristics of five North American amber durum wheat cultivars. *Canadian Journal of Plant Science* 62: 901 - 912.
- Dexter, J. E., Edwards, N. M. 2001. The implications of frequently encountered grading factors on the processing quality of durum wheat. *Technica Molitoria* 52:553 - 566.
- Dexter, J. E. Marchylo, B. A. Abecassis, J., Autran, J.C., Feillet. P. 2000. Recent trends in durum wheat milling and pasta processing: impact on durum wheat quality requirements. *Les Colloques No. 992001 International Workshop on Durum Wheat, Semolina, and Pasta Quality: Recent Achievements and New Trends*, November 27, 2000, Montpellier, France.
- Dexter, J.E., Marchylo, B.A., MacGregor, A.W., Tkachuk, R. 1989. The structure and protein composition of vitreous, piebald and starchy durum wheat kernels. *Journal of Cereal Science*. 10: 19 - 32.
- Dexter, J. E., Matsuo, R. R. 1977. Influence of protein content on some durum wheat quality parameters. *Canadian Journal of Plant Science* 57: 717 - 727.

- Dexter, J. E., Matsuo, R. R. 1978. The effect of gluten protein fractions on pasta dough rheology and spaghetti making quality. *Cereal Chemistry* 55: 44 - 57.
- Dexter, J.E., Matsuo, R.R., 1980. Relationship between durum wheat protein properties and pasta dough rheology and spaghetti cooking quality. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 28: 899 - 902.
- Dexter, J.E., Matsuo, R.R. 1981. Effect of starchy kernels, immaturity, and shrunken kernels on durum wheat quality. *Cereal Chemistry* 58: 395 - 400.
- Dexter, J.E., Matsuo, R.R., Martin, D.G. 1987. The effect of test weight on durum wheat quality. *Cereal Foods World* 32: 772 - 777.
- Dexter, J.E., Matsuo, R.R., Morgan, B.S. 1983. Spaghetti stickiness: some factors influencing stickiness and relationship to other cooking quality characteristics. *Journal of Food Science* 48: 1545 - 1551.
- Dexter, J.E., Williams, P.C., Edwards, N.M., Martin, D.G. 1988. The relationships between durum wheat vitreousness, kernel hardness and processing quality. *Journal of Cereal Science* 7: 169 - 181.
- Dhaliwal, H.S., Sharma, S.K., Multani, D.S. 1986. Genetics of yellow berry in wheat (*Triticum aestivum*) *Theoretical and Applied Genetics* 72: 548 - 550.
- di Fonzo, N., De Vita, P., Gallo, A., Fares, C., Padalino, O., Troccoli, A. 2000. Crop management efficiency as a tool to improve durum wheat quality in Mediterranean areas. En: Abecassis, J. Braun, P. Feuillet, P. Joudrier, P. Pascal, B. Roumet, P. (Eds.). *Proceedings of the International Workshop on Durum Wheat, Semolina and Pasta Quality: Recent Achievements and New Trends*, INRA, Montpellier, France, November 27, 2000. pp. 44 - 59.
- Digesù, A. M., Platani, C., Cattivelli, L., Mangini, G., Blanco, A. 2009. Genetic variability in yellow pigment components in cultivated and wild tetraploid wheats. *Journal of Cereal Science* 50: 210 - 218.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W. *InfoStat versión 2013*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

- Dodig, D., Stankovic, S., Milicevic-Nikodijevic, S. 2003. Influence of drought on grain glassiness and protein content in durum wheat. *Journal of the Science of Agricultural Research* 64: 45 - 50.
- Donelson, J.R., Gaines, C.S., Andrews, L.C. and Finney, P.F. 2002. Prediction of test weight from a small volumen specific gravity measurement. *Cereal Chemistry* 79: 227 - 229.
- Dotlačil, L. Hermuth, J., Stehno, Z. 2003. Earliness, spike productivity and protein content in European winter wheat landraces and obsolete cultivars. *Plant soil environment* 49: 67 - 74.
- Dowell, F. E. 2000. Differentiating vitreous and nonvitreous durum wheat kernels by using near-infrared spectroscopy. *Cereal Chemistry* 77: 155 - 158.
- DuCros, D.L. 1987. Glutenin proteins and gluten strength in durum wheat. *Journal of Cereal Science* 5: 3 - 12.
- Dziki, D., Laskowski, J. 2005. Wheat kernel physical properties and milling process. *Acta Agrophysica* 6: 59 - 71.
- Eberhart, S.A., Russell, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6: 36 - 40.
- Edwards, N. M. 2010. Morphological features of wheat grain and genotype affecting flour yield. PhD, Southern Cross University, Lismore, NSW, Australia.
- Edwards, N. M., Gianibelli, M. C., Mc Caig, T.N., Dexter, J.E. 2007. Relationships between dough strength, polymeric protein quantity and composition for diverse durum wheat genotypes. *Journal of Cereal Science* 45: 140 - 149.
- Edwards, R. A., Ross, A. S., Mares, D. J., Ellison, F. W., Tomlinson, J. D. 1989. Enzymes from rain-damaged and laboratory- germinated wheat I. Effects on product quality. *Journal of Cereal Science* 10: 157 - 167.

- El-Haremein, F. J., El-Saleh, A., Nachit, M. M. 1996. Environmental effect on durum wheat grain quality in Syria. 10th. International Cereal and Bread Congress, Jun. 09 - 12, Porto Carras, Greece.
- El-Khayat, H.G., Samaan, J., Brennan, C.S. 2003. Evaluation of vitreous and starchy Syrian durum (*Triticum durum*) wheat grains: the effect of amylose content on starch characteristics and flour pasting properties. *Starch* 55: 358 - 365.
- El-Khayat, G. H., Samaan, J. Manthey, F.A., Fuller, M. P., Brennan, C. S. 2006. Durum wheat quality I: some physical and chemical characteristics of Syrian durum wheat genotypes. *International Journal of Food Science and Technology* 41: 22 - 29.
- Elouafi, I., Nachit, M.M., Martin, L.M. 2001. Identification of a microsatellite on chromosome 7B showing a strong linkage with yellow pigment in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Hereditas* 135: 255 - 261.
- Falconer, D.S. 1981. *Introducción a la Genética Cuantitativa*. 2nd Ed. Longman Inc. New York., 430 pp.
- Falconer, D.S. 1990. Selection in different environments: effects on environmental sensitivity (reaction norm) and on mean performance. *Genetic Research* 56: 57 - 70.
- FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. URL: <http://www.fao.org/statistics/es/>
- Feillet, P. 1984. The biochemical basis of pasta cooking quality; its consequences for durum wheat breeders. *Sciences des Aliments* 4: 551-556.
- Feillet, P., Dexter, J.E. 1996. Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. En: *Pasta and Noodle Technology*. Kruger, J. E., Matsuo, R.B. y Dick, J.W. (Eds.). AACC, St Paul, Minnesota, USA. pp. 95 - 131.

- Ficco, D. B. M., Mastrangelo, A. M., Trono, D., Borrelli, G. M., De Vita, P., Fares, C., Beleggia, R., Platani, C., Papa, R. 2014. The colours of durum wheat: a review. *Crop and Pasture Science*: 65: 1 - 15.
- Finlay, G.J., Bullock, P.R., Sapirstein, H. D., Naeem, H. A., Hussain, A., Angadi, S. V., DePauw R. M. 2007. Genotypic and environmental variation in grain, flour, dough and bread-making characteristics of western Canadian spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 87: 679 - 690.
- Finney, K.F., Yamazaki, W.T., Youngs, V.L., Rubenthaler, G.L. 1987. Quality of hard, soft and durum wheats, En: Heyne, E.G. (Ed.) *Wheat and Wheat Improvement*. 2nd. Ed. American Society of Agronomy. USA. Pp. 679 - 747.
- Flagella, Z., Giuliani, M. M., Giuzio, L., Volpi, C., Masci, S. 2010. Influence of water deficit on durum wheat storage protein composition and technological quality. *European Journal of Agronomy* 33: 197 - 207.
- Fois, S., Schlichting, L., Marchylo, B., Dexter, J., Motzo, R., Giunta, F. 2011. Environmental conditions affect semolina quality in durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum* L.) cultivars with different gluten strength and gluten protein composition. *Journal of the Science of Food Agriculture* 91: 2664 - 2673.
- Fратиани, A., Irano, M., Panfili, G., Acquistucci, R., 2005. Estimation of color of durum wheat. Comparison of WSB, HPLC, and reflectance colorimeter measurements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 2373 - 2378.
- Fратиани, A., Giuzio, L., Di Criscio, T., Flagella, Z., Panfili, G. 2013. Response of carotenoids and tocopherols of durum wheat in relation to water stress and sulphur fertilization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61: 2583 - 2590.
- Fraschina, J., Masiero, B., Gomez, D., Bainotti. C., Salines J., Formica. B., Donaire, G., Cuniberti. M., 2007. Genotype by environment interaction of industrial quality parameters in Argentine bread wheat cultivars. *Actas de la 1ra Conferencia Latinoamericana ICC 2007*. Rosario Argentina. pp. 17.

- Gaines, C.S. 1991. Associations among quality attributes of red and white soft wheat cultivars across locations and crop years. *Cereal Chemistry* 68: 58 - 59.
- Gaines, C.S., Finney, P.L., Rubenthaler, G. 1996. Milling and baking qualities of some wheats developed for Eastern or Northwestern regions of the United States and grown at both locations. *Cereal Chemistry* 73: 521 - 525.
- Gan, Y. T., McCaig, T. N., Clarke, P., DePauw, R. M., Clarke, J. M., McLeod, J. G. 2000. Test-weight and weathering of spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 80: 677 - 685.
- Garrido-Lestache, E., López-Bellido, R.J., López-Bellido, L., 2005. Durum wheat quality under Mediterranean conditions as affected by N rate, timing and splitting, N form and S fertilization. *European Journal of Agronomy* 23: 265 - 278.
- Gate, P. 1996. Une filière orientée vers la qualité. In: INRA, ITCF, ONIC. *Perspectives Blé dur*: Toulouse, France. Pp. 126.
- Gauch, H. G., Zobel, R. W. 1997. Identifying megaenvironments and targeting genotypes. *Crop Science* 37: 311 - 326.
- Ghaderi, A., Everson, E. H. 1971. Genotype-environment studies of test weight and its components in soft Winter wheat. *Crop Science* 11: 617 - 620.
- Ghaderi, A., Everson, E. H., Yamazaki, W. T. 1971. Test Weight in Relation to the Physical and Quality Characteristics of Soft Winter Wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell). *Crop Science* 11: 515 - 518.
- Giuliani, M.M., Giuzio, L., De Caro A., Flagella, Z. 2011. Relationships between Nitrogen Utilization and Grain Technological Quality in Durum Wheat: I. Nitrogen translocation and nitrogen use efficiency for protein. *Agronomy Journal* 103: 1487 – 1494.
- Giunta, F., Motzo, R., Deidda, M. 1993. Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in a Mediterranean environment. *Field Crops Research* 33: 399 - 409.

- Gómez, D.T. 2011. Interacción genotipo por ambiente sobre caracteres de calidad comercial e industrial en trigo pan (*Triticum aestivum* L.). Tesis de Magister de la Universidad de Buenos Aires. 105p.
- González, H. 2008. Efecto de la forma y el tamaño del grano de trigo sobre el peso hectolítrico. Tesis de Magister Scientiae en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias. UN de Mar del Plata. Buenos Aires. Argentina. 46p.
- Goñi, E. 1968. Trigo para fideos. Revista de la Bolsa de Cereales.
- Goñi L., Carbajo H.L., Deán, M., Kraan, G., Seghezzo, M.L. 1985. Medición de la interacción genotipo por ambiente en diferentes caracteres, años y localidades experimentales. Eficiencia de un grupo de cultivares argentinos de *Triticum durum*, Brazilian Journal of Genetics 8: 421 - 425.
- Gooding, M. J., Ellis, R. H., Shewry, P. R., Schofield, J. D. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. Journal of Cereal Science 37: 295-309.
- Graham, R.D., Rosser, J.M. 2000. Carotenoids in staple foods: Their potential to improve human nutrition. Food Nutrition Bulletin 21: 404 - 409.
- Graybosch, R.A., Peterson, C.J., Shelton, D.R., Baenziger, P.S. 1996. Genotypic and environmental modification of wheat flour protein composition in relation to end-use quality. Crop Science 36: 296-300.
- Greenwell, P., Schofield, J.D. 1986. A starch granule protein associated with endosperm softness in wheat. Cereal Chemistry 63: 379 - 380
- Grignac, P. 1965. Contribution à l'étude de *Triticum durum* Desf. Doctoral thesis, University of Toulouse, France, 151 pp.
- Grzybowski, R. A., Donnelly, B. J. 1979. Cooking properties of spaghetti: factors affecting cooking quality. Journal of Agricultural and Food Chemistry 27: 380 - 384.
- Guasconi, F., Dalla Marta, A., Grifoni, D., Mancini, M., Orlando, F., Orlandini, S. 2011. Influence of climate on durum wheat production and use of remote

- sensing and weather data to predict quality and quantity of harvests. *Italian Journal of Agrometeorology* 16: 21 – 28.
- Güler, M. 2003. Irrigation effects on quality characteristics of durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 83: 327-331
- Gupta, R.B., Khan, K., MacRitchie, F. 1993. Biochemical basis of flour properties in bread wheats. I. Effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein. *Journal of Cereal Science* 18: 23 - 41.
- Hadjichristodoulou, A. 1979. Genetic and environmental effects on vitreousness of durum wheat. *Euphytica* 28: 711 - 716.
- Hadjichristodoulou, A. 1987. The effects of optimum heading date and its stability on yield and consistency of performance of barley and durum wheat in dry areas. *Journal of Agricultural Science* 108: 599 - 608.
- Hadži-Tašković Šukalović, V., Dodig, D. Žilić, S. Basić, Z. Kandić, V. Delić, N. 2013. Genotypic and environmental variation of bread and durum wheat proteins and antioxidant compounds. *Romanian Agricultural Research* 30: 125 - 134.
- Hentschel, V., Kranl, K., Hollmann, J., Lindhauer, M.G., Bohmand, V., Bitsch, R., 2002. Spectrophotometric determination of yellow pigment content and evaluation of carotenoids by high-performance liquid chromatography in durum wheat grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 6663 - 6668.
- Hessler, T. G., Thomson, M. J., Benscher, D., Nachit, M. M., Sorrells, M. E. 2002. Association of lipoxygenase locus, *Lpx- B1*, with variation in lipoxygenase activity in durum wheat. *Crop Science* 42: 1695 - 1700.
- Hidalgo, A., Brandolini, A., Pompei, C., Piscozzi, R., 2006. Carotenoid and tocopherols of einkorn wheat (*Triticum monococcum* ssp. *monococcum* L.). *Journal of Cereal Science* 44: 182 - 193.
- Hirschberg, J. 2001. Carotenoid biosynthesis in flowering plants. *Current Opinion in Plant Biology* 4: 210 - 218.

- Horvat, D., Drezner, G., Sudar, R., Magdić D., Španić, V. 2012. Baking quality parameters of wheat in relation to endosperm storage proteins. *Croatian Journal of Food Science and Technology* 4: 19 - 25.
- Humphries, J.M., Grahan, R.D., Mares D.J. 2004. Application of reflectance colour measurement to the estimation of carotene and lutein content in wheat and triticale. *Journal of Cereal Science* 40: 151-159.
- ICC. 1990. International Association for Cereal Science and Technology. Standard Methods.
- Ionescu, V., Stoenescu, G. 2010. Comparative evaluation of wet gluten quantity and quality through different methods. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI – Food Technology*, 34: 44 – 48.
- Irvine, G.N. 1971. Durum wheat and paste products. In: *Wheat: Chemistry and Technology*. Chapter 15. Y. Pomeranz Ed. Am.Assoc. Cereal Chem.. St. Paul, Mn. Pp: 777 – 796.
- Irvine, G.N., Bradley, J.W., Martin, G.C., 1961. A farinograph technique for macaroni doughs. *Cereal Chemistry* 38: 153 - 164.
- Jarvis, S. C., Stockdale, E. A., Shepherd, M. A., Powlson, D. S., Donald, L. S. 1996. Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: Processes and measurement. *En: Advances in Agronomy* 57: 187 - 235.
- Jenner, C. F., Uglade, T. D., Aspinall, D. 1991. The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* 18: 211 - 226.
- Jia, Y.Q., Masbou, V., Aussenac, T., Fabre, J.L., Debaeke, P. 1996b. Effects of nitrogen fertilization and maturation conditions on protein aggregates and on the breadmaking quality of Soissons, a common wheat cultivar. *Cereal Chemistry* 73: 526 - 532.
- Johnston, R. A., Quick, J. S., Hammond, J. J. 1983. Inheritance of semolina color in six durum wheat crosses. *Crop Science* 23: 607 - 610.

- Juan-Aracil, J., Michelena, A. 1995. Durum wheat in Spain. En: di Fonzo, N., Kaan, F., Nachit, M. (Eds.). Proceedings of the Seminar on Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region. Options Méditerranéennes 22: 117-121.
- Kaya, Y., Akçura, M. 2014. Effects of genotype and environment on grain yield and quality traits in bread wheat (*T. aestivum* L.). Food Science and Technology 34: 386 - 393.
- Kim, T. H., Hampton, J. G., Opara, L. U., Hardacre, A. K., Mackay, B. R. 2002. Effects of maize grain size, shape and hardness on drying rate and the occurrence of stress cracks. Journal of the Science of Food and Agriculture 82: 1232 - 1239.
- Kling, C.I., Hutz, H.F., Münzing, K. 2000. Variation of quality traits in durum wheat in relation to variety and environment. En: Durum wheat, semolina and pasta quality.)J. Abecassis, J.C. Autran and P.Feillet Eds. Les Colloques 61- 65 Montpellier (France). INRA Editions.
- Kobrehel, K., Gautier, M.F. 1974. Variability in peroxidase isozymes in wheat and related species. Canadian Journal of Botany 52: 755-759.
- Kobrehel, K., Laignelet, B., Feillet, P. 1974. Study of some factors of macaroni brownness. Cereal Chemistry 51: 675-684.
- Kolderup, F. 1975. Effects of temperature, photoperiod and light quantity on protein production in wheat grains. Journal of the Science of Food and Agriculture 26: 583-592
- Korkut, K.Z., Bilgin, O., Başer, İ., Sağlam, N. 2007. Stability of grain vitreousness in durum wheat (*Triticum durum* L. Desf.) genotypes in the north-western region of Turkey. Turkish Journal of Agricultural Forage 31: 313 - 318.
- Kosmolak, F.G., Dexter, J.E., Matsuo, R.R., Leisle, D., Marchylo, B. 1980. A relationship between durum wheat quality and gliadin electrophoregrams. Canadian Journal Plant Science 60: 427 - 432.

- Kovacs, M. I. P., Howes, N. K., Leisle, D., Zawistowski, J. 1993b. Effect of two different low molecular weight glutenin subunits on durum wheat pasta quality parameters. *Cereal Chemistry* 72: 85 - 87.
- Kramer, T. 1979. Environmental and genetic variation for protein content in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* 28: 209 - 218.
- Kulkarni, R. G., Ponte, J. G., Kulp, K. 1987. Significance of gluten content as an index of flour quality. *Cereal Chemistry* 64: 1 - 3.
- Labuschagne, M.T., Elago, O., Koen, E. 2009. The influence of temperature extremes on some quality and starch characteristics in bread, biscuit and durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 49: 184 - 189.
- Landi, A. 1995. Durum wheat, semolina and pasta quality characteristics for an Italian food company. *Options Medirranéennes* 22: 33 – 42.
- Larsen, A. y Jensen, C. 2016. Trigo Candeal. Jornada A Todo Trigo. Mar del Plata, 5 y 6 de mayo de 2016.
- Lee, J., Kaltsikes, P. J., Bushuk, W. 1976. The inheritance of lipoxidase activity and pigment content in durum wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 47: 243 - 250.
- Leenhardt, F., Lyan, B., Rock, E., Boussard, A., Potus, J., Chanliaud, E., Remesy, C., 2006. Genetic variability of carotenoid concentration, and lipoxygenase and peroxidase activities among cultivated wheat species and bread wheat varieties. *European Journal of Agronomy* 25: 170 - 176.
- Lerner, S.E., Cogliatti, M., Ponzio, N.R., Seghezzo, M.L., Molfese, E.R., Rogers, W.J. 2004. Genetic variation for grain protein components and industrial quality of durum wheat cultivars sown in Argentina. *Journal of Cereal Science* 40: 161 - 166.
- Lepage, M., Sims, R. P. A. 1968. Carotenoids of wheat flour: their identification and composition. *Cereal Chemistry* 45: 600 - 604.

- Li, Y.F., Wua, Y., Hernandez-Espinosa, N., Peña, R. J. 2013. Heat and drought stress on durum wheat: Responses of genotypes, yield, and quality parameters. *Journal of Cereal Science* 57: 398 - 404.
- Lilley, J.M., Kirkegaard, J.A. 2007. Seasonal variation in the value of subsoil water to wheat: simulation studies in southern New South Wales. *Aust. J. Agric. Res.* 58: 1115–1128.
- Lintas, C. 1988. Durum wheat vitamins and minerals. En: Fabriani, G., Lintas, C. (Eds.), *Durum Wheat: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, pp. 149-159.
- Longin, C.F.H., Sieber, A.N., Reif, J.C. 2013. Combining frost tolerance, high grain yield and good pasta quality in durum wheat. *Plant Breeding* 132: 353 - 358.
- MAGyP. Ministerio de Agroindustria. URL: <https://datos.magyp.gob.ar/>
- Mangels, C. E. 1932. Regional and seasonal variation in pigmentation of durum wheats. *Cereal Chemistry* 9: 485 - 490.
- Manna, F., Borrelli, G.M., Massardo, D., Wolf, K., Alifano, P., Del Giudice, L., Di Fonzo, N. 1998. Differential expression of lipoxygenase genes among durum wheat cultivars. *Cereal Research Communication* 26: 23 - 30.
- Marchylo, B.A., Dexter, J.E., Clarke, F.R., Clarke, J.M., Preston, K.R. 2001. Relationship among bread-making quality, gluten strength, physical dough properties, and pasta cooking quality for some Canadian durum wheat genotypes. *Canadian Journal of Plant Science* 81: 611 - 620.
- Marchylo, B.A., Dexter, J.E., Malcolmson, L.M. 2004. Improving the texture of pasta: En: *Texture in Food (2) Solid Foods*, Woodhend Publishing Ltd., Cambridge, UK, pp 465 - 500.
- Marchylo, B. A., Kruger, J. E., Hatcher, D. W. 1990. Effect of environment on wheat storage proteins as determined by quantitative reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Cereal Chemistry* 1990 67: 372 - 376.

- Mares, D., Campbell, A. 2001. Mapping components of flour and noodle colour in Australian wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 52: 1297-1309.
- Mariani, B. M., D'Egidio, M.G., Novaro, P. 1995. Durum wheat quality evaluation: Influence of genotype and environment. *Cereal Chemistry*: 72: 194 - 197.
- Marinciu, C., Săulescu, N. 2008. Cultivar effects on the relationship between grain protein concentration and yield in winter wheat. *Romanian Agricultural Research* 25: 19 - 27.
- Marshall, D.R, Mares, D.J, Moss, H.J., Ellison, F.W. 1986. Effects of grain shape and size on milling yields in wheat. II. Experimental studies *Australian Journal of Agricultural Research* 37: 331 - 342.
- Martre, P., Porter, J.R., Jamieson, P., Triboi, E. 2003. Modelling grain nitrogen accumulation and protein composition to understand the sink/source regulations of nitrogen remobilization for wheat. *Plant Physiology* 133: 1959 - 1967.
- Matsuo, R.R.1988. Evaluation of durum wheat, semolina, and pasta in Canada. En: *Durum: Chemistry and Technology*. Capítulo 14. G. Fabriani y C. Lintas (Eds.) AACC Monograph Series. St. Paul, Minnesota, USA. 332 pp.
- Matsuo, R.R., Dexter, J.E., 1980a. Composition of experimentally milled durum wheat semolina to semolina produced by some Canadian commercial mills. *Cereal Chemistry* 57: 117 - 122.
- Matsuo, R.R., Dexter, J.E. 1980b. Relationship between some durum wheat physical characteristics and semolina milling properties. *Canadian Journal of Plant Science* 60: 49 - 53.
- Matsuo, R. R., Dexter, J. E., Kosmolak, F. G., Leisle, D. 1982. Statistical evaluation of tests for assessing spaghetti making quality of durum wheat. *Cereal Chemistry* 59: 222 - 228.

- Menger, A. 1971. Probleme der Glasigkeit von Durumweizen. Getreide Mehl 21: 91 - 95.
- Menger, A. 1973. Problems concerning vitreousness and hardness of kernels as quality factors of durum wheat. En: Genetics and breeding of durum wheat. G.T. Scarascia – Mugnossa (Ed.). Proc. Symp. Bari 563 - 571.
- Michelena, A., Romagosa, I., Martín, J.A, López, A. 1995. Influencia ambiental y varietal en diferentes parámetros de calidad y rendimiento en trigo duro. Investigación Agraria 10: 192 - 201.
- Mikulíková, D. 2007. The effect of friabilin on wheat hardness. Czech Journal of Genetic and Plant Breeding 43: 35 - 43.
- Milner, M., Schellenberger, J. A. 1953. Physical properties of weathered wheat in relation to internal fissuring detected radiographically. Cereal Chemistry 30: 202 - 212.
- Miravalles, M., Bermúdez, C., Aprile, E., Seghezzo, M.L., Molfese, E., Möckel, F. 2008. Variaciones en los niveles de cenizas del grano de trigo para fideos en el Sur Bonaerense. VII Congreso Nacional de Trigo. Santa Rosa, La Pampa. 2 al 4 de julio de 2008. Ed Unlpam (Ed). URL: <http://rian.inta.gov.ar/trabajoscongresotrigo2008/>
- Miravalles, M., Lerner, S., Seghezzo, M.L. Molfese, E., Möckel, F.E. 2007. Use of the alveographic technique for gluten strength evaluation of durum wheat in Argentina. ICC Congress. 23 al 26 de septiembre de 2007. Rosario, Argentina.
- Miravalles M.T., Molfese, E., Seghezzo, M.L., Astiz, V., Larsen, A., Jensen, C. 2016. Vitreosidad en trigo candeal (*Triticum durum* Desf.): efectos del ambiente, el genotipo y las interacciones genotipo-ambiente. VIII Congreso Nacional de Trigo. 14 al 16 de septiembre de 2016. Pergamino, Argentina.
- Miravalles, M., Seghezzo, M.L., Molfese. E., Beaufort, V., Möckel, F. 2006. Influencia de la variedad y el sitio de cultivo sobre la calidad industrial del trigo para fideos (*Triticum durum* Desf.) en el Sur Bonaerense. En: Ambiente

- natural, campo y ciudad. Estrategias de uso y conservación en el Sudoeste Bonaerense. Volumen 1: 105 - 112. Editorial Ediuns. Néstor Cazzaniga y María del Carmen Vaquero (Eds.),
- Miravalles, M., Seghezzo, M.L., Molfese, E. y Echenique, V. 2014. Interacción genotipo-ambiente en trigo para fideos: relación entre rendimiento y proteína del grano. XLIII Congreso Argentino de Genética. Bariloche, 19 al 22 de octubre de 2014.
- Miravalles, M., Seghezzo, M.L., Molfese, E., Möckel, F. 2008. Estudio de la relación existente entre proteína y gluten en trigo para fideos en el Sur Bonaerense. En: Ambientes y Recursos Naturales Del Sudoeste Bonaerense: Producción, Contaminación y Conservación. Volumen 1: 173 - 180. Editorial Ediuns. 2008. Néstor J. Cazzaniga y Hugo M. Arelovich. Editorial EDIUNS. 514pp.
- Mittleider, J.F., Anderson, D.E. 1977. An analysis of the relationships among specific quality characteristics for hard red spring and durum wheat. Agricultural Economics Report N° 122. North Dakota State University. Fargo. North Dakota. 24 pp.
- Mladenov, N., Przulj, N., Hristov, N., Djuric, V., Milovanovic, M. 2001. Cultivar-by-environment interactions for wheat quality traits in semiarid conditions. Cereal Chemistry 78: 363 - 367.
- Möckel, F.E., Cantamutto, M.A., Gaido, E., Gullace, G. 1984. Efecto de las lluvias en el momento de la cosecha (lavado) sobre características físicas, químicas y reológicas del grano de trigo. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (UBA) 5: 1 - 6.
- Mohammed, A., Geremew, B., Amsalu, A. 2012. Variation and associations of quality parameters in ethiopian durum wheat (*Triticum durum L. var. durum*) genotypes. International Journal of Plant Breeding and Genetics 6: 17 - 31.
- Mohan, D., Gupta, R.K. 2015. Gluten characteristics imparting bread quality in wheats differing for high molecular weight glutenin subunits at Glu D1 locus. Physioly and Molecular Biology of Plants 21:447 - 451.

- Molfese, E., Seghezzo, M.L. 1999. Trigo candeal: avances en la calidad de los cultivares argentinos. 17th. ICC Conference "Cereal Across the Continents". Valencia. España. 6 al 9 junio de 1999.
- Molfese, E., Seghezzo, M.L., Lerner, S., Ponzio, N., Rogers, J., Zamora, M. 2001. Efectos del genotipo, el ambiente y la fertilización sobre el contenido de pigmento en *Triticum turgidum* L. var durum. V Congreso Nacional de Trigo. Villa Carlos Paz, Córdoba. 25 al 28 setiembre 2001.
- Mones Cazón, L. 1998. Demandas de trigo y harina de la industria argentina. Ediciones INTA. 46 pp.
- Mortarini, M.A, Perelman, S., Miralles, D.J. 2004. Calidad industrial en trigo: Interacción genotipo por ambiente. VI Congreso Nacional de Trigo. Bahía Blanca. 21 al 23 de octubre de 2004.
- Moraschetti, S., 2016. Influencia del año, la región de cultivo y la variedad sobre la vitreosidad del grano de trigo candeal (*Triticum durum* Desf.) en el sur bonaerense. Tesina de Grado de Técnico en Manejo y Comercialización de Granos. UNS. 28pp.
- Moschini, R.C. 2009. Clima y enfermedades de cultivos relevantes en Argentina. Publicación digital disponible en: [http://www.senasa.gov.ar/Archivos/File/File895-trabajo de r moschini.pdf](http://www.senasa.gov.ar/Archivos/File/File895-trabajo%20de%20r%20moschini.pdf)
- Moschini R.C., Sisterna, M. N., Carmona, M. 2006. Modelling of wheat black point incidence based on meteorological variables in the southern Argentinean Pampas Region. Australian Journal of Agricultural Research 57: 1151 - 1156.
- Motzo, R., Fois, S., Giunta, F. 2004. Relationship between grain yield and quality of durum wheats from different eras of breeding. Euphytica 140: 147 - 154.
- Motzo, R., Fois, S., Giunta, F. 2007. Protein content and gluten quality of durum wheat (*Triticum turgidum* subsp. durum) as affected by sowing date. Journal of the Science of Food and Agriculture 87: 1480 - 1488.

- Motzo, R., Giunta, F., Deidda, M. 1996. Relationships between grain-filling parameters, fertility, earliness and grain protein of durum wheat in a Mediterranean environment. *Field Crops Research* 47: 129 - 142.
- Mutwali, N., Mustafa, A, Gorafi, Y., Mohamed Ahmed, I. 2016. Effect of environment and genotypes on the physicochemical quality of the grains of newly developed wheat inbred lines. *Food Science and Nutrition* 4: 508 - 520.
- Muurinen, S., Kleemola, J., Peltonen-Sainio, P. 2007. Accumulation and translocation of nitrogen in spring cereal cultivars differing in nitrogen use efficiency. *Agronomy Journal* 99: 441 - 449.
- Nachit, M., Asbati, T. 1987. Testing for vitreous kernels in durum wheat at ICARDA. *Rachis* 6:48 - 49.
- Nachit, M.M., Baum, M., Autrique, E. Sorrells, M.E., Ali Dib, T. and Monneveux, P. 1993. Association of morphophysiological traits with RFLP markers in durum wheat. In: *Tolérance à la Sécheresse des Céréales en Zone Méditerranéenne. Diversité Génétique et Amélioration Variétale*, Monneveux, P. and Ben Salem, M. (Eds), Montpellier (France), 15-17 December 1992, pp. 159-171.
- Nachit, M.M, Baum, M., Impiglia, A., Ketata, H. 1995. Studies on some grain quality traits in durum wheat grown in Mediterranean environments. *Proc. Seminar on durum wheat quality in the Mediterranean regions. Zaragoza. Nov 1995. Options Méditerranéennes Serie A,22: 181-188, ICARDA/ CIHEAM/ CIMMYT.*
- Nazco, R., Villegas, D., Ammar, K., Peña, R.J., Moragues, M., Royo, C., 2012. Can Mediterranean durum wheat landraces contribute to improved grain quality attributes in modern cultivars. *Euphytica* 185: 1 - 17.
- Neethirajan, S., Karunakaran, C., Symonsc, S., Jayas, D.S. 2006. Classification of vitreousness in durum wheat using soft X-rays and transmitted light images. *Computers and Electronics in Agriculture* 53: 71 - 78.

- Novaro, P., Colucci, F., Venora, G., D'Egidio, M. G. D. 2001. Image analysis of whole grains: A noninvasive method to predict semolina yield in durum wheat. *Cereal Chemistry* 78: 217 - 221.
- Novaro, P., D'Egidio, M. G., Bacci, L., Mariani, B. M. 1997. Genotype and environment: their effect on some durum wheat quality characteristics. *Journal of Genetics and Breeding* 51: 247 - 252.
- Novaro, P., D'Egidio, M.G., Mariani, B.M., Nardi, S. 1993. Combined effect of protein content and high-temperature drying systems on pasta cooking quality. *Cereal Chemistry* 70: 716 - 719.
- Oak, M.D., Dexter, J.E. 2006. Chemistry, genetics and prediction of dough strength and end use quality in durum wheat. En: *Gliadin and Glutenin*. AACC International, St. Paul, MN, pp. 281-305.
- Oak, M.D., Tamhankar, S.A., Rao, V.S., Bhosale, S.B. 2004. Assessment of commercial, technological and kernel characteristics of Indian durum wheat (*Triticum durum*). *Indian Journal of Agricultural Science* 74: 68 - 72.
- OGGG. 2006. Official Grain Grading Guide. Chapter 4: Wheat. Canadian Grain Commission. URL <https://www.grainscanada.gc.ca/oggg-gocg/04/oggg-gocg-4-eng.htm>
- Orlandini, S., Mancini, M., Grifoni, D., Orlando, F., Dalla Marta, A., Capecchi, V. 2011. Integration of meteo-climatic and remote sensing information for the analysis of durum wheat quality in Val d'Orcia (Tuscany, Italy). *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* 115: 233 – 245.
- Oury, F.X., Godin, C. 2007. Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favourable genotypes. *Euphytica* 157:45 - 57.
- Oury, F. X., Berard, P., Brancourt-Hulmel, M., Depatureaux, C., Doussignault, G., Galic, N., Giraud, A., Heumez, E., Lecompte, C., Pluchard, P., Rolland, B., Rousset, M., Trottet, M. 2003. Yield and grain protein concentration in

- bread wheat: a review and a study of multi-annual data from a French breeding program. *Journal of Genetics and Breeding* 57: 59 - 68.
- Owens, G. 2001. Wheat, corn and coarse grains milling. *In: Cereales processing technology*. G. Owens Ed. Woodhead Publishing Herts, United Kingdom. Pp. 248.
- Palta, J.A., Kobata, T., Turner, N.C., Fillery, I.R. 1994. Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by postanthesis water deficit. *Crop Science* 34: 118 - 124.
- Panozzo, J.F., Eagles, H.A., Wootton, M., 2001. Changes in protein composition during grain development in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 52: 485 - 493.
- Parish, J.A., Halse, N.J. 1968. Effects of light, temperature and the rate of desiccation on translucency in wheat grain. *Australian Journal of Agricultural Research* 19: 365 - 372.
- Payne, P.I., Lawrence, G.J., 1984a. Catalogue of alleles for the complex gene loci Glu-A1, Glu-B1 and Glu-D1 which code for high molecular weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. *Cereal Research Communication* 11: 29 - 35.
- Payne, P.I., Jackson, E.A., Holt, L.M., 1984. The association between gliadin 45 and gluten strength in durum wheat varieties: a direct causal effect or the result of genetic linkage. *Journal of Cereal Science* 11: 15 - 34.
- Peña R. J. 2000. Durum wheat for pasta and breadmaking. Comparison of methods used in breeding to determine gluten quality-related parameters. *En: Royo C., Nachit M.M, Di Fonzo N., Araus J.L. (Eds.). Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges, Serie A: Séminaires Méditerranéennes No. 40. Options Méditerranéennes, Zaragoza, España: Instituto Agronomico Mediterraneo di Zaragoza. pp. 423 - 430.*

- Peterson, C. J., Graybosh, P. S., Baenziger, P. S., Grombacher, A. W. 1992. Genotype and environment effects on quality characteristics of hard red winter wheat. *Agronomy Journal* 85: 1023 - 1028.
- Pinheiro, N., Costa, R., Almeida, A.S., Coutinho, J. Gomes, C., Maças, B. 2013. Durum wheat breeding in Mediterranean environments. Influence of climatic variables on quality traits. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 25: 962 - 973.
- Pogna, N.E., Autran, J.C., Mellini, F., Lafiandra, D. 1990. Chromosome 1B-encoded gliadins and glutenin subunits in durum wheat: Genetics and relationship to gluten strength. *Journal of Cereal Science* 11: 15 - 34.
- Polidoro, O. O., García, R., Annone, J. G., Calzolari, A. M. 2004. Efecto de factores ambientales y sanitarios que afectan el peso hectolítrico del grano de trigo (*Triticum aestivum* L.). VI Congreso Nacional de Trigo. 20 al 22 octubre de 2004. Bahía Blanca, Buenos Aires.
- Pomeranz, Y., Shogren, M. D., Bolte, L C., Finney, K. F. 1976. Functional properties of dark hard and yellow hard red winter wheat. *Bakers' Digest* 50: 35 - 40.
- Pomeranz, Y., Williams, P.C. 1990. Wheat hardness: its genetic, structure and biochemical background, measurement and significance. In: *Advances in Cereal Science and Technology*. Y. Pomeranz (Ed.) Pp. 471 – 557. St. Paul, MN. AACC.
- Pozniak, C.J., Knox, R.E., Clarke, F.R., Clarke, J.M. 2007. Identification of QTL and association of a phytoene synthase gene with endosperm colour in durum wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 114: 525 - 537.
- Preston, K.R., Morgan, B.C., Dexter, J.E. 1995. Influence of protein segregation on the quality characteristics of Biggar and Genesis Canada Prairie Spring Wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 75: 599 - 604.

- Pushman, F.M., Bingham, J. 1975. Components of test weight of ten varieties of winter wheat grown with two rates of nitrogen fertilizer application. *Journal of Agricultural Science* 85: 559 - 563.
- Quaglia, G.B. 1988. Other Durum Wheat Products. In: *Durum Wheat: Chemistry and Technology*. G. Fabriani and C. Lintas (Eds). American Association of Cereal Chemists St.Paul, Minnesota, pp. 263 - 282.
- Quaglia, G.B., 1988. Durum wheat bread colour. In: *Durum Wheat: Chemistry and Technology*. G.Fabriani, and C. Lintas (Eds.) American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, pp. 269-270.
- Quick, J.S., Donnelly, B.J., 1980. A rapid test for estimating durum wheat gluten quality. *Crop Science* 20: 816 - 818.
- Ramachandran, A., Pozniak, C.J., Clarke, J.M., Singh, A. 2010. Carotenoid accumulation during grain development in durum wheat. *Journal of Cereal Science* 52:30 - 38.
- Randall, P.J., Moss, H.J., 1990. Some effects of temperature regime during grain-filling on wheat quality. *Australian Journal of Agricultural Research* 41: 603 - 617.
- Rani, K.U., Prasada Rao, U.J.S., Leelavathi, K., Haridas Rao, P. 2001. Distribution of enzymes in wheat flour mill streams. *Journal of Cereal Science* 34: 233 - 242.
- Reimer, S.O. 2008. Association Mapping of Endosperm Colour in Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). Tesis de Master of Science. University of Saskatchewan. 103 pp.
- Restrepo, L. F. 2007. Tipos de suma de cuadrados en el análisis de la varianza. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20: 209 - 215.
- Rharrabti, Y., Elhani, S., Martos Núñez, V., García del Moral, L.F. 2001. Protein and lysine content, grain yield, and other technological traits in durum wheat under Mediterranean condition. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 49: 3802 - 3807.

- Rharrabti, Y., Royo, C., Villegas, D., Aparicio, N., García del Moral, L.F. 2003a. Durum wheat quality in Mediterranean environments I. Quality expression under different zones, latitudes and water regimes across Spain. *Field Crops Research* 80: 123 - 131.
- Rharrabti, Y., Royo, C., Villegas, D., Martos Núñez, V., García del Moral, L.F. 2003b. Durum wheat quality in Mediterranean environments II: Influence of climatic variables and relationships between quality parameters. *Field Crops Research* 80: 133 - 140.
- Rharrabti, Y., Villegas, D., Garcia del Moral, L.F., Aparicio, N., Elhani, S., Royo, C., 2001. Environmental and genetic determination of protein content and grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Plant Breeding* 120: 381 - 388.
- Robinson, F. E., Cudney, D. W., Lehman, W. F. 1979. Nitrate fertilizer timing, irrigation, protein, and yellow berry in durum wheat. *Agronomy Journal* 71: 304 - 308.
- Roncallo, P.F., Akkiraju, P.C., Carrera, D. A, Helguera, M., Cervigni, G., Miranda, R., Jensen, C., Echenique, V. 2007. Factors affecting durum wheat grain color. 1st Latinoamerican ICC Conference. 23 al 26 de septiembre. Rosario, Argentina.
- Roncallo, P.F., Cervigni, G.L., Jensen, C., Miranda, R., Carrera, A.D., Helguera, M., Echenique, V. 2012. QTL analysis of main and epistatic effects for flour color traits in durum wheat. *Euphytica* 185: 77 - 92.
- Roncallo, P., Garbus, I., Picca, A., Echenique, C. V., Carrera, D. A., Cervigni, G.L., Miranda, R. 2009. Análisis de las bases genéticas del color en trigo candeal. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 108: 9 – 23.
- Roozeboom, K. L., Schapaugh, W.T., Tuinstra, M. R., Vanderlip, R. L, Milliken, G. A. 2008. Testing wheat in variable environments: genotype, environment, interaction effects, and grouping test locations. *Crop Science* 48: 317 - 330.

- Ruiz, M., Carrillo, J.M. 1995. Relationships between different prolamin proteins and some quality properties in durum wheat. *Plant Breeding* 114: 40-44
- Ryan, J. R., Hasbany, R., Atallah, T. 2003. Factors affecting nitrogen mineralization under laboratory conditions with soils from a wheat based rotation trial. *Lebanese Science Journal* 4: 3 - 12.
- Saint Pierre, C., Peterson, C.J., Ross, A.S., Ohm, J.B., Verhoeven, M.C., Larson, M., Hofer, B., 2008. Winter wheat genotypes under different levels of nitrogen and water stress: changes in grain protein composition. *Journal of Cereal Science* 47: 407 - 416.
- Sakin, M. A., Sayaslan, A., Duzdemir, O., Yuksel, F. 2011. Quality characteristics of registered cultivars and advanced lines of durum wheats grown in different ecological regions of Turkey. *Canadian Journal of Plant Science* 91: 261 - 271.
- Samson, M.F., Mabile, F., Chéret, R., Abécassis, J., Morel, M.H. 2005. Mechanical and physicochemical characterization of vitreous and mealy durum wheat endosperm. *Cereal Chemistry* 82: 81 - 87.
- Sandhu, K., Manthey, F.A., Elias, E.M. 2009. High relative humidity affects vitreousness of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum* (Desf.)). *Cereal Research Communications* 37: 269 - 275.
- Schuler, S.F., Bacon, R.K., Gbur, E.E. 1994. Kernel and spike character influence on test weight of soft red winter wheat. *Crop Science* 34: 1309-1313.
- Schulthess, A, Matus, I. Schwember, A.R. 2013. Genotypic and environmental factors and their interactions determine semolina color of elite genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) grown in different environments of Chile. *Field Crops Research* 149: 234 - 244.
- Seghezzo, M.L. 2014. *Calidad en trigo candeal*. Tres Arroyos. Ediciones INTA. 68 pp.

- Seghezzo, M.L., E. Molfese. 1999. Trigo Candeal. Criterios para la evaluación de la calidad. Publicación Miscelánea N° 2. Seghezzo, M.L. y Molfese E. (Eds). Chacra Experimental Integrada Barrow, INTA-Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires. pp. 23.
- Seghezzo, M.L., Molfese, E.R., Bergh, R., Jensen, C. 1998. El lavado en trigo candeal. IV Congreso Nacional de Trigo. Cap. 5-11. Mar del Plata, 11 al 13 de noviembre de 1998.
- Seghezzo, M.L. Molfese, E.R., Rosales Heredia, S., Abatte, P.E. 2011. Effect of cultivar, year, location and its interactions on quality of durum wheat. Actas 2º Conferencia Latinoamericana ICC, Santiago, Chile. pp. 119.
- Seghezzo, M.L., Molfese, E.R., Zamora, M. 2005. Relationship between semolina color and kernel weight in durum wheat: genotype and location effect. 50º Congreso ICC, Viena, Austria. pp. 157.
- Sharp, P. F. 1927. Wheat and flour studies: IX Density of wheat as influenced by freezing, stage of development, and moisture content. Cereal Chemistry 4: 14 - 46.
- Shewry, P., Halford, N.G. 2002. Cereal seed proteins: structures, properties and role in grain utilization. Journal of Experimental Botany 53: 947 - 958.
- Shewry, P.R., Tatham, A.S., Halford N.G. 1999. The prolamins of the Triticeae. En: Seed Proteins. P.R. Shewry and R. Casey (Eds). Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, pp 35 - 78.
- Sieber, A-N., Würschum, T., Friedrich C., Longin, H. 2015. Vitreosity, its stability and relationship to protein content in durum wheat. Journal of Cereal Science 61: 71 - 77.
- SIGA. Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico. URL: <http://siga2.inta.gov.ar/en/estadistica/>
- Šimić, G., Horvat, D., Jurkovic, Z., Drezner, G., Novoselovic, D., Dvojkovic, K. 2006. The genotype effect on the ratio of wet gluten content to total wheat grain protein Journal Central European Agriculture 7: 13 - 18.

- Singh, S., Gupta, A. K., Kaur, N. 2012. Influence of drought and sowing time on protein composition, antinutrients, and mineral contents of wheat. *The Scientific World Journal* Volume 2012: 1 - 9.
- Singh, S., Singh, G., Singh, P., Singh, N. 2008. Effect of water stress at different stages of grain development on the characteristics of starch and protein of different wheat varieties. *Food Chemistry* 108: 130 - 139.
- Sissons, M.J. 2004. Pasta. En: *Encyclopedia of Grain Science*. Wrigley, C, Corke, H and Walker, C, (Eds.) Elsevier Australia. pp.409 - 418.
- Sissons, M. 2008. Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food* 2: 75 - 90.
- Sissons, M.J., Ames, N.P., Hare, R.A., Clarke, J.M., 2005a. Relationship between glutenin subunit composition and gluten strength measurements in durum wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85: 2445 - 2452.
- Sissons, M. J. Egan, N. E., Gianibelli, M. C. 2005b. New Insights Into the Role of Gluten on Durum Pasta Quality Using Reconstitution Method. *Cereal Chemistry* 82: 601 - 608.
- Skerritt, J.H. 1998. Gluten proteins: genetics, structure and dough quality. A review. *AgBiotech News and Information* 10: 247N-270N.
- Smith, G.P., Gooding, M.J. 1999. Models of wheat grain quality considering climate, cultivar and nitrogen effects. *Agricultural and Forest Meteorology* 94: 159 - 170.
- Sofield, I., Evans, L.T., Cook, M. G., Wardlaw, I.F. 1977. Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* 4: 785 - 797.
- Sombrero, A., Monneveux, P. 1989. Le mitadinage chez le blé dur (*Triticum durum* Desf): influence de l'alimentation azotée et hydrique, et de la variété. *Agriculture Mediterranean* 199: 349 - 360.

- Southan, M., Mac Ritchie, F. 1999. Molecular weight distribution of wheat proteins. *Cereal Chemistry* 76: 827 - 836.
- Spiertz, J. H. J., Hamer, R. J., Xu, H., Primo-Martin, C., Don, C., van der Putten, P.E.L. 2006. Heat stress in wheat (*Triticum aestivum* L.): Effects on grain growth and quality traits. *European Journal of Agronomy* 25: 89 - 95.
- Stagnari, F., Onofri, A., Codianni, P., Pisante, M. 2013. Durum wheat varieties in N-deficient environments and organic farming: a comparison of yield, quality and stability performances. *Plant Breeding* 132: 266 - 275.
- Stenvert, N.L., Kingswood, K. 1977. The influence of the physical structure of the protein matrix on wheat hardness. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 28: 18 - 23.
- Stoeva, I. 2012. Technological evaluation of new common winter wheat lines developed at Dobrudzha Agricultural Institute General Toshevo. *Agricultural Science and Technology* 4: 10 - 14.
- Stone, P. J., Nicolas, M. E. 1996. Effect of timing of heat stress during grain filling on two wheat varieties differing in heat tolerance. II. Fractional protein accumulation. *Australian Journal of Plant Physiology* 23: 739 - 749.
- Stone, P. J., Nicolas, M. E. 1998. Comparison of sudden heat stress with gradual exposure to high temperature during grain-filling in two wheat varieties difference in heat tolerance. II. Fractional protein accumulation. *Australian Journal of Plant Physiology* 25: 1 - 11.
- Stone, P.J., Savin, R. 1999. Grain quality and its physiological determinants, pp 85-120. En: *Wheat: Ecology and physiology of yield determination*. Satorre, E. y Slafer, G. (Eds.) Food Product Press, New York. pp. 85 - 120.
- Suprayogi, Y., Clarke, J. M., Bueckert, R., Clarke, F. R., Pozniak, C. J. 2011. Nitrogen remobilization and post-anthesis nitrogen uptake in relation to elevated grain protein concentration in durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 91: 273 - 282.

- Taghouti, M., Gaboun, F., Nsarellah, N., Rhrib, R., El-Haila, M., Kamar, M., Abbad-Andaloussi, F., Udupa, S. M. 2010. Genotype x environment interaction for quality traits in durum wheat cultivars adapted to different environments. *African Journal of Biotechnology* 9: 3054 - 3062.
- Tatham, A.S., Field, J.M., Keen, J.N., Jackson, P.J., Shewry, P.R., 1991. Purification and characterization of HMW glutenin subunits encoded by chromosome 1B of durum wheat (*Triticum durum*). *Journal of Cereal Science* 14: 111 - 116.
- Thomason, W.E., Phillips, S.B. 2006. Methods to evaluate wheat cultivar testing environments and improve cultivar selection protocols. *Field Crops Research* 99: 87 - 95.
- Thompson, A.J. 1995. The comparative performance of wheat cultivars and genotypes in different organic systems of production. PhD. Thesis. Royal Agriculture College, University of Reading.
- Tipples, K.H., Dubetz, S., Irvine, G.N. 1977. Effects of high nitrogen on Neepawa wheat grown under irrigation II. Milling and baking results. *Canadian Journal of Plant Science* 57: 337 - 350.
- Toscano, P., Genesio, L., Crisci A., Vaccari F.P., Ferrari E., La Cava, P., Porter, J.R., Gioli, B. 2015. Empirical modelling of regional and national durum wheat quality. *Agricultural and Forest Meteorology* 204: 67 - 78.
- Triboï, E., Abad, A., Michelena, A., Lloveras, J., Ollier, J.L., Daniel, C., 2000. Environmental effects on the quality of wheat genotypes: 1. Quantitative and qualitative variation of storage proteins. *European Journal of Agronomy* 13: 47 - 64.
- Trigo Argentino. Informe Institucional sobre su Calidad. URL <http://www.trigoargentino.com.ar>
- Trocchi, A., di Fonzo, N. 1999. Relationship between kernel size features and test-weight in *Triticum durum*. *Cereal Chemistry* 76: 45 - 49.

- U.S. Wheat Quality Report 2016. URL:
[http://www.uswheat.org/cropQuality/doc/382C18076A40C9338525805A00541E94/\\$File/CQR2016-sp.pdf?OpenElement#](http://www.uswheat.org/cropQuality/doc/382C18076A40C9338525805A00541E94/$File/CQR2016-sp.pdf?OpenElement#)
- Vallega, J. 1974. Durum wheat varieties cultivated in Argentina and their pastificable quality related with the italian "macarroni" industry. Embassy of the Argentine Republic. Rome. Italy.
- Van den Berg, H., Faulks, R., Granado, H.F., Hirschberg, J., Olmedilla, B., Sandmann, G., Southon, S., Stahl, W., 2000. The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80: 880 - 912.
- Vida, G., Szunics, L., Veisz, O., Bedő, Z., Láng, L., Árendás, T., Bónis, P., Rakszegi, M. 2014. Effect of genotypic, meteorological and agronomic factors on the gluten index of winter durum wheat. *Euphytica* 197: 61 - 71.
- Wallace, J.C., Bainotti, C., Nisi, M.M., Formica, B., Seghezzo, M.L., Molfese, E., Jensen, C., Nisi, J., Helguera, M. 2003. Variabilidad genética de proteínas de reserva en trigos candeales argentinos y su interacción con la calidad industrial. *Agriscientia* XX: 19 - 27.
- Walle, M., Trentesaux, E. 1980. Studio di un metodo pratico con l'alveografo di Chopin per la valuazione dell'attitudine dei grani duri e delle semole a produrre pasta alimentare. *Tecnica Molitaria* 12: 917 - 922.
- Wang, L. H., Wei, Y. M., Li, Z. X. 1993. Studies on relationship between wheat grain endosperm microstructure and wheat quality. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* 13: 150 - 153.
- Wardlaw, I.F., Blumenthal, C., Larroque, O., Wrigley, C.W., 2002. Contrasting effects of chronic heat stress and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat. *Functional Plant Biology* 29: 25 - 34.
- Wardlaw, I. F., Sofield, I., Cartwright, P. M. 1980. Factors limiting the rate of dry matter accumulation in the grain of wheat grown at high temperature. *Australian Journal of Plant Physiology* 7: 387 - 400.

- Wasik, R. J., Bushuk, W. 1975 Relation between molecular-weight distribution of endosperm proteins and spaghetti-making quality of wheats. *Cereal Chemistry* 52: 322 - 327.
- Watson, C.A., Banasik, O.J., Sibbitt, L.D. 1977. Relation of grading and wheat quality factors to end-use quality characteristics and semolina milling properties. *Macaroni Journal* 58: 10 - 16.
- Williams, P. 1997. Variety development and quality control of wheat in Canada: Characterization by functionality. Proceedings of the International Japanese Conference on Near-Infrared Reflectance, Japan, 1997. URL: <http://www.grainscanada.gc.ca>
- Williams, R. M., O'Brien, L., Eagles, H. A., Solah, V. A., Jayasena, V. 2008. The influences of genotype, environment, and genotype-environment interaction on wheat quality. *Australian Journal of Agricultural Research* 59: 95 - 111.
- Wrigley, C.W., Blumenthal, C., Gras, P.W., Barlow, E.W.R., 1994. Temperature variation during grain-filling and changes in wheat grain quality. *Australian Journal of Plant Physiology* 21: 875 - 885.
- Yamazaki, W.T., Briggie, L.W. 1969. Components of test weight in soft wheat. *Crop Science* 9: 457 - 459.
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., Szlavnicz Z. 2000. Cultivar evaluation and megaenvironment investigation based on GGe biplot. *Crop Science* 40: 597 - 605.
- Yan, W. Kang, M. S. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL. 213 pp.
- Yan, W., Tinker, N. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science* 86: 623 - 645.
- Yang, J., J. Zhang, Q. Zhu, L. Wang. 2000. Remobilization of carbon reserves is improved by controlled soil-drying during grain filling of wheat. *Crop Science* 40: 1645 - 1655.

- Zamora, M., Carrasco, N., Molfese, E., Seghezzo, M. L., Miravalles. M. 2005. Effect of environment and genotype on quality traits of bread wheat in Argentina. 7th. International Wheat Conference. Mar del Plata, Argentina. 27 de noviembre al 2 de diciembre de 2005. pp. 282.
- Zhao, C.X., He, M.R. Wang, Y.F. Wang, Z.L., Andlin, Q. 2009. Effects of different water availability at post-anthesis stage on grain nutrition and quality in strong-gluten winter wheat. *Comptes Rendus Biologies* 332: 759 - 764.
- Zhu, J. and Khan, K. 2001. Effects of genotype and environment on glutenin polymers and breadmaking quality. *Cereal Chemistry* 78: 125 - 130.
- Zile, M.H. 1998. Vitamin A and embryonic development: an overview. *The Journal of Nutrition*, 455S - 458S.

ANEXO DE TABLAS

TABLA A. Norma de calidad para la comercialización de Trigo Fideo (Norma XXI)

NORMA DE CALIDAD PARA LA COMERCIALIZACION DE TRIGO FIDEO NORMA XXI											VITREOSIDAD (2)		
TOLERANCIAS MAXIMAS PARA CADA GRADO											Bonif. Rebajas		
GRADO	Peso Hectolitrico Mínimo	Materias Extrañas	Ganos Dañados		Granos con Carbón	Granos Quebrados y/o Chuzos (1)	Trigo Pan Máximo	Granos Picados Máximo	Trébol de olor (Melilotus sp.) Semillas c/100 grs.	H U M D A D	Vitresosidad Mínimo	51a55% 0,5% 56a60% 1,0% 61a 65% 1,5% 66a70% 2,0% 71a75% 3,0% 76a80% 4,0% 81a85% 5,0% 86a90% 6,0% 91a95% 7,0% 96a100%	46a49% 1,0% 41a45% 3,0% 36a40% 5,0% 31a35% 7,0% 26a30% 9,0% 21a25% 11,0% 16a20% 13,0% 11a15% 15,0% 6a10% 17,0% 0a5% 19,0%
			Granos ardidos y dañados por calor	Total Dañados									
	Kg.	%	%	%	%	%	%	%	Máximo	%	%		
1	78	0,75	0,50	1,00	0,10	1,50						PROTEINAS (2)	
2	76	1,50	1,00	2,00	0,20	3,00	3,00	0,50	8	14,0	50		
3	72	3,00	1,50	3,00	0,30	5,00							
Descuento porcentual a aplicar por c/kg. faltante de PH. o sobre el porcentaje de excedentes	1,0	1,0	1,5	1,0	5,0	0,5	0,5	2,0	2% de merma y gastos de zarandeo	Merma y gastos de secada	Ver recuadro aparte	Para valores superiores a 11% (base 13,5% de humedad) se bonificará a razón de 2% por c/% o fracción proporcional.	Para valores inferiores a 10% (base 13,5% de humedad) se rebajará a razón de 2% por c/% o fracción proporcional.

LIBRE DE INSECTOS Y ARACNIDOS VIVOS

(1) Son todos aquellos granos o pedazos de granos de trigo fideo que pasan por una zaranda de agujeros acanalados de 1,6 mm. de ancho por 9,5 mm. de largo, excluidos los granos o pedazos de granos de trigo fideo dañados.

(2) Bonificaciones y rebajas sobre el precio del grado 2

ARBITRAJES ESTABLECIDOS DESCUENTOS SOBRE EL PRECIO (SEGUN INTENSIDAD)

Punta negra por carbón desde 1% a 4%.

Revolcado en tierra desde 0,5% a 2%.

Olores comercialmente objetables desde 0,5% a 2%.

TABLA B. Precipitaciones mensuales (mm) en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense entre los años 2004 y 2006.

AÑO	LOCALIDAD	AMBIENTE	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2004	BARROW	1	24	68	31	126	3	32	74	56	64	83	62	126	750
	CABILDO	2	70	43	65	102	4	9	85	26	26	69	56	264	819
	LA DULCE	3	31	123	19	106	7	41	78	63	65	55	103	80	750
	BORDENAVE	4	20	45	164	80	0	28	96	27	37	87	66	194	815
2005	BARROW	5	70	195	27	7	8	20	41	52	58	62	93	53	686
	CABILDO	6	26	67	42	29	18	21	26	29	44	16	57	49	423
	LA DULCE	7	126	116	25	13	1	41	82	91	56	77	97	68	791
2006	BARROW	8	63	111	25	46	5	15	53	6	40	155	11	132	662
	CABILDO	9	67	107	25	35	5	6	55	12	22	112	10	70	525
	LA DULCE	10	85	48	2	74	7	24	83	15	48	134	17	110	645
Media			58	92	42	62	6	23	67	38	46	85	55	112	687
DS			33	48	46	42	5	12	22	27	15	40	33	66	129

TABLA C. Temperaturas medias mensuales (°C) en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense entre los años 2004 y 2006.

AÑO	LOCALIDAD	AMBIENTE	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
2004	BARROW	1	23,1	20,2	21,5	16,1	9,3	9,6	8,5	9,5	11,6	13,6	17,1	21,2	15,1
	CABILDO	2	25,1	19,9	22,3	16,4	9,5	10,2	8,6	9,4	12,0	13,9	16,8	21,3	15,5
	LA DULCE	3	23,4	18,7	21,1	15,0	9,0	8,9	7,1	8,3	12,3	14,7	17,7	21,1	14,8
	BORDENAVE	4	23,7	20,0	19,4	13,4	8,8	8,6	7,7	8,5	11,8	14,0	16,5	21,7	14,5
2005	BARROW	5	21,3	21,9	18,5	14,1	11,4	8,9	8,6	9,0	11,1	12,7	17,6	18,1	14,4
	CABILDO	6	21,8	22,6	19,2	14,6	11,8	8,8	8,5	9,4	11,3	14,1	19,6	19,7	15,1
	LA DULCE	7	21,2	18,1	18,4	13,6	10,9	8,3	7,4	7,8	10,3	12,3	16,9	17,5	13,6
2006	BARROW	8	20,7	20,8	17,9	15,9	9,9	8,6	9,7	8,8	11,3	14,7	16,8	21,1	14,7
	CABILDO	9	22,1	22,3	18,8	16,4	10,6	8,8	10,5	9,8	12,5	15,8	18,1	22,9	15,7
	LA DULCE	10	20,6	19,7	18,1	15,1	9,8	7,7	9,0	8,3	10,6	13,6	17,2	20,8	14,2
Media		22,3	20,4	19,5	15,1	10,1	8,8	8,6	8,9	11,5	13,9	17,4	20,5	14,8	
DS		1,5	1,5	1,6	1,1	1,0	0,7	1,0	0,6	0,7	1,0	0,9	1,7	0,6	

TABLA D. Humedad Relativa ambiente (%) de noviembre y diciembre en diez ambientes de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense entre los años 2004 y 2006.

AÑO	LOCALIDAD	AMBIENTE	Nov.	Dic.	Nov-Dic.
2004	BARROW	1	71	64	67
	CABILDO	2	83	84	84
	LA DULCE	3	77	69	73
	BORDENAVE	4	63	64	64
2005	BARROW	5	59	55	57
	CABILDO	6	55	57	56
	LA DULCE	7	69	64	66
2006	BARROW	8	51	57	54
	CABILDO	9	55	69	62
	LA DULCE	10	59	64	61
Media			64	65	64
DS			10,5	8,3	8,9

TABLA E. Duración, en días, del período comprendido entre la emergencia y la espigazón, de cinco variedades de trigo candeal cultivadas en diez ambientes del sur bonaerense entre los años 2004 a 2006.

AÑO	LOCALIDAD	AMBIENTE	Cariló	Esmeralda	Facón	Platino	Topacio	Media	DS
2004	BARROW	1	105	100	105	103	106	104	2,4
	CABILDO	2	106	96	93	101	102	100	5,1
	LA DULCE	3	100	97	94	98	101	98	2,7
	BORDENAVE	4	99	92	94	96	100	96	3,3
2005	BARROW	5	111	105	104	109	111	108	3,3
	CABILDO	6	102	95	95	99	100	98	3,1
	LA DULCE	7	111	109	104	111	112	109	3,2
2006	BARROW	8	102	94	94	98	99	97	3,4
	CABILDO	9	91	84	84	90	90	88	3,5
	LA DULCE	10	103	93	97	100	98	98	3,7
Media			103	97	96	101	102	100	3,1
DS			5,9	7,0	6,4	6,1	6,5	6,2	

TABLA F. Rendimiento de grano (Kg Ha⁻¹) de cinco variedades de trigo candeal cultivadas en diez ambientes del sur bonaerense entre los años 2004 a 2006.

AÑO	LOCALIDAD	AMBIENTE	Cariló	Esmeralda	Facón	Platino	Topacio	Media	DS
2004	BARROW	1	3845	4300	3395	3535	3065	3024	469
	CABILDO	2	3797	4112	3532	3705	3548	3116	236
	LA DULCE	3	6393	6407	6027	5210	5023	4844	656
	BORDENAVE	4	3670	4254	4163	4212	4068	3395	236
2005	BARROW	5	4735	4235	3750	3920	4490	3523	403
	CABILDO	6	1733	2354	1865	1786	1701	1574	268
	LA DULCE	7	8223	7662	7233	7359	7089	6262	449
2006	BARROW	8	2375	2663	2645	2630	2660	2164	123
	CABILDO	9	2217	2554	2890	2510	2690	2145	248
	LA DULCE	10	7056	6752	5905	7260	7172	5693	551
Media			4404	4529	4141	4213	4151	4288	154
DS			2184	1850	1709	1894	1842	1496	