

Variabilidad genética de proteínas de reserva en trigos candeales argentinos y su interacción con la calidad industrial

Wallace, J.C.; C. Bainotti, M. M. Nisi, B. Formica, M. L. Seghezze, E. Molfese, C. Jensen, J. Nisi y M. Helguera

RESUMEN

En trigo candeal la calidad industrial está determinada por la cantidad y composición de proteínas de reserva del endosperma y su interacción con el ambiente de producción. Dentro de estas proteínas las gluteninas y las gliadinas son las más importantes, ya que determinan las propiedades visco-elásticas de la masa. En la Argentina no existen antecedentes sobre la caracterización de proteínas de reserva en trigo candeal ni de la incidencia de estas proteínas sobre la calidad de pasta. El objetivo de este trabajo fue determinar la base genética del germoplasma de trigo candeal argentino utilizando gluteninas y gliadinas como marcadores genéticos, e identificar variantes alélicas asociadas con la alta tenacidad de gluten que puedan ser utilizadas como marcadores genéticos en programas de mejoramiento. Más del 90% del germoplasma evaluado presentó LMWGs tipo 2 y gliadinas γ -45, ambas asociadas a buena calidad de pasta. El 28% del germoplasma presentó el alelo 20 de HMWGs asociado a mala calidad. Por otro lado, el análisis de interacción de proteínas de reserva con calidad de pasta, corrobora el efecto positivo de los alelos 7+8 y 6+8 de HMWGs-B1 y del patrón A de β -gli sobre parámetros de la calidad de pasta. Este resultado posiciona estos alelos como marcadores útiles para incrementar la calidad industrial en programas de mejoramiento de trigos candeales.

Palabras claves: trigo candeal, gluteninas, gliadinas, calidad industrial.

Wallace, J.C.; C. Bainotti, M. M. Nisi, B. Formica, M. L. Seghezze, E. Molfese, C. Jensen, J. Nisi and M. Helguera, 2003. Genetic variability in storage proteins from Argentinean durum wheats and its interaction with industrial quality. Agriscientia XX: 19 - 27

SUMMARY

In durum wheat industrial quality is determined by genetic components and environmental conditions. Storage proteins like glutenins and gliadins are the most important genetic components, as they are responsible of for visco-elasticity in dough. In Argentina there is no available data about durum wheat storage proteins and/or about their incidence in durum quality. The objective of this work was to characterize Argentinean durum wheat using glutenins and gliadins as markers and to identify superior alleles associated with good durum quality. More than 90% of the evaluated germplasm showed LMWGs type 2 and gliadins γ -45, both associated with good durum quality. Twenty-eight per cent of the tested

Fecha de recepción: 24/02/03; fecha de aceptación: 03/07/03

germplasm showed HMWGs allele 20, associated with low poor quality. Studies of interaction between storage proteins and durum quality confirmed the positive effect in durum quality of 7+8 and 6+8 HMWGs alleles and A β -gli pattern. These results confirm these alleles/patterns as useful markers to improve durum quality in breeding programs.

Key words: durum wheat, glutenins, gliadins, quality.

J.C., Wallace, C. Bainotti, M. M. Nisi, B. Formica, J. Nisi, M. Helguera. Laboratorio de Biotecnología, INTA, EEA Marcos Juárez, Ruta 12 Km. 2, (2580) Marcos Juárez, Cba., Argentina, TE/FAX: 054-3472-425001. M. L. Seghezzo, E. Molfese, C. Jensen. Lab. de Calidad Chacra Ex. Int. Barrow, CC 216, (7500) Tres Arroyos, Bs. As., Argentina. E-mail: mhelguera@correo.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Al igual que en trigos hexaploides (*Triticum aestivum* L.), la calidad industrial del trigo candeal (*Triticum turgidum* var. durum) está determinada por la cantidad y composición de proteínas del gluten y la interacción con el ambiente de producción. El gluten es una mezcla compleja de proteínas clasificadas en dos grupos principales conocidos como gluteninas y gliadinas. Estas proteínas difieren notablemente en su estructura y propiedades, de forma que las gluteninas se asocian con la elasticidad del gluten y las gliadinas con su plasticidad (Shewry *et al.*, 1999). Las gluteninas están constituidas por largas cadenas de polipéptidos (subunidades) unidas por puentes disulfuro. Estas subunidades se clasifican según su movilidad en electroforesis desnaturalizante (SDS-PAGE) en gluteninas de alto y bajo peso molecular (HMWGs y LMWGs, respectivamente). Las HMWGs son codificadas por genes ubicados en el brazo largo de los cromosomas del grupo 1 (loci *Glu-1*), y los genes de las LMWGs se localizan en el locus *Glu-3*, en el brazo corto de los cromosomas del grupo 1 (Payne, 1987). Existen numerosos trabajos que correlacionan parámetros de calidad industrial, como por ejemplo tenacidad de gluten, y ciertas variantes alélicas de HMWGs y LMWGs (Payne *et al.*, 1987; Carrillo *et al.*, 1990; Khelefi y Branlard, 1992; Kovacs *et al.*, 1993). Recientes reportes sugieren que, inversamente a lo observado en trigos hexaploides, en trigos candeales las subunidades de LMWGs ejercen un mayor efecto sobre la tenacidad de gluten que las subunidades de HMWGs (Porceddu *et al.*, 1998; Masci *et al.*, 2000). En trigos candeales, se han descrito correlaciones significativas entre fuerza de gluten y dos tipos de patrones de LMWGs denominados tipo 1 (gluten débil) y tipo 2 (gluten fuerte) (Payne *et al.*, 1984; Pogna *et al.*, 1990, D'Ovidio *et al.*, 1999). Las gliadinas exhiben la mayor diversidad alélica y se las clasifica en cuatro grupos (α , β , γ , ω) según su movilidad en electroforesis ácida (A-PAGE), (Shewry

et al., 1999). Los genes codificantes de las gliadinas se localizan en los loci *Gli-1* y *Gli-2*, en el brazo corto de los cromosomas 1 y 6 (Lafiandra *et al.*, 1984). En ciertos trabajos se ha observado una fuerte correlación entre la presencia de ciertas γ -gliadinas y la tenacidad del gluten (Kosmolak *et al.*, 1980; Du Cros *et al.*, 1982; Bushuk, 1998). Entre estas proteínas se incluyen la γ -gliadina 45 (asociada a gluten fuerte y ligada a LMWGs tipo 2), la γ -gliadina 42 (asociada a gluten débil y ligada a LMWGs tipo 1) (Payne *et al.*, 1984; Ruiz *et al.*, 1998). Estos antecedentes subrayan la importancia de la caracterización de proteínas de reserva en trigos candeales en función de su uso como marcadores para seleccionar parámetros de calidad de pasta en programas de mejoramiento (Pogna *et al.*, 1990; Bushuk, 1998; Troccoli *et al.*, 2000).

En la Argentina, a partir de 1970 se observó una constante declinación en la operatoria del trigo candeal en todas sus etapas, de manera tal que en 1986 se debió importar trigo candeal para abastecer a la industria local. Esto se reiteró en 1990 y años posteriores. Entre las principales causas de la merma en la producción del cultivo se pueden citar la susceptibilidad a patógenos y la deficiente calidad industrial en sus componentes (fuerza de gluten, contenido de proteína, color, etc.).

En nuestro país no existen antecedentes sobre caracterización de proteínas de reserva en trigo candeal, ya que tradicionalmente la caracterización de recursos genéticos se ha realizado mediante descriptores morfológicos. La disponibilidad de germoplasma caracterizado sobre la base de la variabilidad genética de las proteínas de reserva permitiría un mejor aprovechamiento de esta variabilidad para el desarrollo de nuevos cultivares adaptados de trigo candeal que presenten gluten más tenaz, uno de los principales componentes de la calidad industrial para pastas secas.

En este trabajo se propuso determinar la base ge-

nética del germoplasma de trigo candeal argentino utilizando gluteninas y gliadinas como marcadores genéticos, e identificar variantes alélicas asociadas con alta tenacidad de gluten que puedan ser utilizadas como marcadores genéticos en programas de mejoramiento.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Material genético

Se trabajó con 115 genotipos pertenecientes a la colección de germoplasma de trigo candeal que se conserva en la Chacra Experimental Integrada Barrow, Argentina.

Caracterización de gluteninas y gliadinas

Las subunidades de HMWGs y LMWGs fueron purificadas según el protocolo de Singh *et al.* (1991) y separadas por electroforesis desnaturizante en geles de poliacrilamida al 12% p/v (SDS-PAGE). Como nomenclatura de los alelos de HMWGs se utilizó la propuesta por Payne & Lawrence (1983). Para identificar las LMWGs (tipo 1 y tipo 2, 2*, 2-) se utilizó la nomenclatura propuesta por Carrillo *et al.* (1990).

Las gliadinas fueron purificadas y analizadas por electroforesis ácida en geles de poliacrilamida al 7% p/v (A-PAGE) según Lafiandra & Kasarda (1985). Cada grupo de gliadinas (excepto γ -gliadinas) fue tratado como un bloque independiente y clasificado por diferentes patrones de fragmentos en A-PAGE. La nomenclatura de γ -gliadinas (45, 44, 42 y nula) es la utilizada por Lafiandra *et al.* (1984).

Interacción de proteínas de reserva con calidad de pasta

Para evaluar la interacción de proteínas de reserva con calidad de pasta se realizó un ensayo en bloques al azar durante 2 campañas agrícolas (1999/2000 y 2000/2001) con repeticiones en tres localidades diferentes sobre 47 líneas adaptadas de trigos candeales. Para evaluar la calidad de pasta de cada línea se utilizaron los siguientes parámetros predictivos: porcentaje de gluten, según norma ICC N° 137; índice de calidad de gluten (gluten index), según norma ICC N° 155 y aflojamiento de la masa (Afl.) (Irvine *et al.*, 1961). El porcentaje de gluten es un parámetro predictivo del contenido de proteína mientras que gluten index y Afl. son parámetros predictivos de la fuerza de gluten, con heredabilidad intermedia a alta (Clarke *et al.*, 2000). Se considera que existe una correlación alta y positiva de los valores de gluten index con la fuerza de gluten, mientras que en el caso del parámetro Afl. la correla-

ción es inversa (mayor valor en unidades farinográficas de Afl., menor fuerza de gluten). Paralelamente se desarrolló una variable discreta "calidad", que incluye cuatro categorías (en orden decreciente de calidad MB= muy buena, B= buena, I= intermedia, M= mala). La categoría correspondiente para cada muestra en estudio fue dada por un panel de especialistas en trigo candeal para fideo.

Para establecer asociación entre gluteninas, gliadinas y la variable "calidad" se utilizó el test χ^2 máximo verosímil. Para determinar la interacción de gluteninas y gliadinas sobre los parámetros cuantitativos de calidad (porcentaje de gluten, gluten index y Afl) se utilizó el test LSD. El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa SAS ver. 8 (SAS, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de gluteninas y gliadinas

En la Tabla 1 se describe la composición de gluteninas y gliadinas para las 115 entradas analizadas de trigo candeal. En la Figura 1 se muestran los diferentes alelos de HMWGs y patrones de LMWGs observados en el germoplasma analizado. La Figura 2A muestra algunos de los patrones observados de gliadinas y la Figura 2B un esquema con todos los patrones de gliadinas observados en este estudio. Cabe destacar la mayor variabilidad genética observada en el grupo de gliadinas en comparación con las gluteninas. Éste es un resultado coincidente con lo observado en trigos hexaploides, donde se han desarrollado catálogos alélicos (Metakovsky, 1991).

HMWGs, loci *Glu-A1* y *Glu-B1*: Para el locus *Glu-A1*, dos entradas (1,7%) presentaron el alelo 2* y 1, el germoplasma restante (98,3%) alelo nulo. Estudios de caracterización de proteínas de reserva realizados con germoplasma candeal italiano (Boggini & Pogna, 1989), turco (Turchetta *et al.*, 1995) y español (Ruiz *et al.*, 1998) coinciden en la alta proporción de variedades nulas, con porcentajes superiores al 70 %.

Para el locus *Glu-B1*, los alelos mas frecuentes en las muestras analizadas fueron 7+8 (29,7%), 6+8 (27,1%) y 20 (28%); estos resultados coinciden con los valores observados para germoplasma candeal de la región mediterránea (Ruiz *et al.*, 1998). Los alelos 7+20y 14+15 y 20y presentaron valores de frecuencia menores al 1 %. Es importante destacar la alta frecuencia observada para el alelo 20, asociado con mala calidad de pasta (28% de las entradas).

LMWGs: Se identificaron 7 entradas con LMWGs de tipo 1 (6,1%), 8 entradas con LMWGs tipo 2* (6,9%), 2 entradas con LMWGs de tipo 2- (1,7%) y el resto de las muestras analizadas (85,2%) presentaron

Tabla 1: Composición de gluteninas de alto peso molecular (*Glu-B1*), gluteninas de bajo peso molecular (LMW-Gs) y gliadinas (ω , γ , β y α) de muestras de trigo candeal. Se incluye el valor promedio de los parámetros de calidad de las muestras seleccionadas para estudiar la interacción entre proteínas de reserva y calidad de pasta.

Variedad ó línea	Glu-B1 ¹	LMWGs	ω	γ	β	α	% G. ²	G.I. ³	Afl.	Calidad
Buck Esmeralda	20	2	D	45	B	A	38,1	47	30	I
TC10	20	2	D	45	B	B	38,3	58	32	I
TC11	20	2	E	45	B	A	36,1	62	29	I
TC14	20	2	D	45	B	B	38,9	60	25	I
TC24	20	2	E	45	B	A	38	44	32	I
TC37	20	2	E	45	A	B	35,3	75	28	I
TC38	20	2	D	45	A	B	34,5	74	28	I
TC39	20	2	D	45	B	A	47,7	48	27	M
TC40	20	2	A	45	B	A	46,0	35	35	M
TC41	20	2	A	45	B	A	45,0	50	29	M
TC42	20	2	A	45	B	A	48,0	52	24	M
TC43	20	2	D	45	B	A	44,5	44	28	M
TC44	20	2	A	45	B	A	48,3	56	28	M
TC45	20	2	A	45	B	A	42,3	24	36	M
TC46	20	2	A	45	B	A	45,4	35	27	M
TC47	20	2	A	45	B	B	42,7	39	30	M
TC48	20	2	A	45	B	B	43,0	18	28	M
TC49	20	2	A	45	B	B	41,7	23	33	M
TC12	20	2-	A	45	B	A	35,5	47	29	M
Bonaerense INTA Facón	6+8	2	D	45	B	B	34,3	83	27	B
Bonaerense Quilaco	6+8	2	B	45	A	A	38,1	66	33	B
Buck Ambar	6+8	2	C	45	B	B	38,1	79	29	B
Buck Topacio	6+8	2	D	45	B	C	35,3	65	30	B
TC13	6+8	2	E	45	A	A	37,0	57	29	I
TC15	6+8	2	D	45	B	A	34,0	81	19	B
TC16	6+8	2	D	45	A	B	35,6	81	26	B
TC19	6+8	2	D	45	B	A	36,7	84	21	B
TC20	6+8	2	A	45	B	B	41,2	82	23	B
TC21	6+8	2	A	45	B	B	40,1	48	27	M
TC32	6+8	2	D	45	B	A	38,7	28	27	M
Bonaerense INTA Cumenay	7+8	2	A	45	B	A	39,4	85	22	MB
TC08	7+8	2	D	45	B	B	34,6	80	28	B
TC09	7+8	2	D	45	B	B	33,7	86	29	MB
TC17	7+8	2	D	45	A	B	34,6	95	19	MB
TC18	7+8	2	D	45	A	B	39,8	77	24	I
TC22	7+8	2	E	45	B	B	34,0	68	21	I
TC23	7+8	2	E	45	B	B	32,6	71	20	I
TC28	7+8	2	A	45	B	B	34,6	69	30	I
TC29	7+8	2	A	45	B	B	32,7	79	24	I
TC30	7+8	2	D	45	A	B	32,7	80	22	B
TC31	7+8	2	D	45	B	B	34,3	46	24	M
TC33	7+8	2	A	45	B	E	42,4	54	23	M
TC34	7+8	2	D	45	A	A	40,7	60	26	I
TC35	7+8	2	D	45	B	B	41,4	72	27	I
TC36	7+8	2	C	45	B	E	42,1	73	27	I
TC50	7+8	2	E	45	B	A	41,3	60	21	I
Bonaerense Valverde	7+8	2	A	45	A	A	38,2	87	21	MB
TC26	7+20y	2	E	45	B	B				
TC25	13+16	2	E	45	B	B				

TC27	13+16	2	E	45	B	B
VF015	13+16	2	G	45	B	B
11774	13+16	2	C	45	A	B
Ardente	13+16	2	E	45	C	A
11779	14+15	2	C	45	A	A
Capelli	20	2	E	45	B	D
Inbar	20	2	nulo	nulo	B	D
TAG Buck Balcarce (ARG), TC Durumbuck (ARG)	20	2	E	45	B	A
TAG Selección Buck (ARG), TAG Vilela Fideos (ARG)	20	2	A	45	B	A
82/82/02	20	2	D	45	B	B
CD 45264 20, CD 45264 21	20	2*	D	44	D	B
CD 45264 22	20	2*	H	44	D	B
CD 45264 23, CD 45264 24	20	2*	E	44	D	A
Ambral	20+20y	2	A	45	B	D
BW 560, 11746	20+20y	2	D	45	B	A
VF042, 11820	20+20y	2	D	45	A	B
9181	20+20y	2	A	45	B	E
11717	20+20y	2	D	45	A	A
BW 508	20+20y	2-	E	45	B	A
Cakmac	20y	2*	H	44	B	C
Thomas Ventania (ARG)	6+8	1	F	42	A	B
BW 2778 28, BW 2778 29, BW 2778 30	6+8	1	F	42	A	A
11739	6+8	1	F	42	B	A
Buck Mechongue (ARG)	6+8	2	A	45	B	B
Minodur	6+8	2	B	45	A	B
Bicum S BW 14, Bicum S BW 17, Bicum S BW 8	6+8	2	D	45	B	A
Buck 18	6+8	2	D	45	A	E
CD 14489	6+8	2	A	45	B	B
CD 80443	6+8	2	D	45	B	A
VF019	6+8	2	E	45	A	B
VF025	6+8	2	A	45	B	B
11757	6+8	2	D	45	B	A
11769	6+8	2	J	45	B	A
11857	6+8	2	D	45	B	B
11918	6+8	2	D	45	A	B
11771	6+8	2	D	45	B	C
Cham I	7+8	1	F	42	A	A
BW 2766, CBW 32, BW 2766, CBW 33	7+8	2	D	45	B	A
MVTD10/98	7+8	2	E	45	B	A
MVTD12/98	7+8	2	G	45	B	B
VF003	7+8	2	C	45	B	B
VF032	7+8	2	A	45	B	B
370/84/01	7+8	2	J	45	B	B
9383	7+8	2	E	45	B	A
11805, 11795	7+8	2	D	45	A	B
11822, 11834, VF010, Buck 17	7+8	2	D	45	B	B
11959	7+8	2	nulo	45	A	B
Topaz	7+8	2*	D	44	B	B
VF033	7+8	2*	I	44	C	C

¹ Todas las muestras presentaron alelo nulo para el locus Glu-A1 excepto Cakmac (alelo 1) y Minodur (alelo 2*). ² % G. = Porcentaje de gluten. ³ G.I. = Gluten Index.

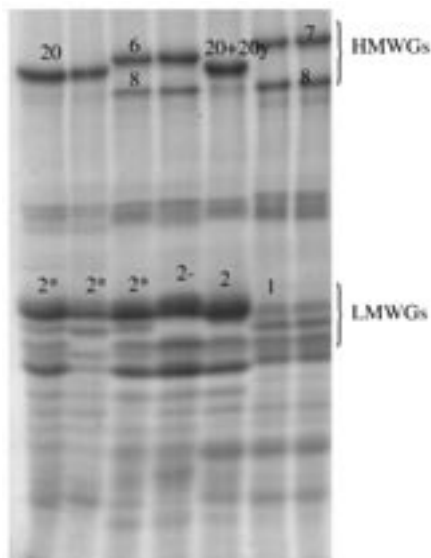


Figura 1. Separación de subunidades de gluteninas de alto y bajo peso molecular (HMWGs y LMWGs) mediante electroforesis desnaturalizante de proteínas (SDS-PAGE) en gel de poliacrilamida al 12%. En la figura se indican las bandas proteicas correspondientes a subunidades de HMWGs y LMWGs mediante corchetes. Los caracteres 6, 8, 20, 7, 20+20y corresponden a la nomenclatura de los alelos del locus *GluB1*. Los caracteres 2, 2*, 2- y 1 representan patrones tipo 1 y 2 (con sus variantes) de LMWGs. De izquierda a derecha, las calles corresponden a las siguientes muestras: (1) CD45264/23, (2) CD45264/24, (3) Topaz (4) 370/84/01, (5) BW2778/28, (6) BW2778/29, (7) BW2778/30.

LMWGs de tipo 2. Cerca del 94 % de las entradas presentan LMWGs tipo 2 (incluidas las variantes 2* y 2-), asociadas con buena calidad de pasta (Carrillo *et al.*, 1990).

Gliadinas: En las muestras evaluadas se identificaron 11 patrones de ω -gliadinas (incluida la variante nula), 4 patrones de γ -gliadinas (γ -42, γ -44, γ -45 y nula), 4 patrones de β -gliadinas y 5 patrones de α -gliadinas. Los patrones más frecuentes para cada grupo fueron: ω -gliadinas D y A (40 y 21,7 %); γ -45 (85,5 %); β -gliadinas B y A (69,6 y 24,3 %) y α -gliadinas B y A (47 y 42,6 %). Cabe destacar el alto porcentaje de muestras evaluadas con γ -45 (85,5 %), asociada a buena calidad de pasta (Bushuk, 1998).

Un análisis de asociaciones entre gluteninas y gliadinas en las muestras evaluadas confirmó resultados observados por Carrillo *et al.* (1991) y Ruiz *et al.* (1998), en los que las LMWGs tipo 2 aparecen ligadas a las γ -gliadinas γ -45 o γ -44, pero en ningún caso a la γ -42, mientras en las LMWGs tipo 1 aparecen ligadas solo a la γ -42, nunca ligadas a γ -45 y γ -44. Estos resulta-

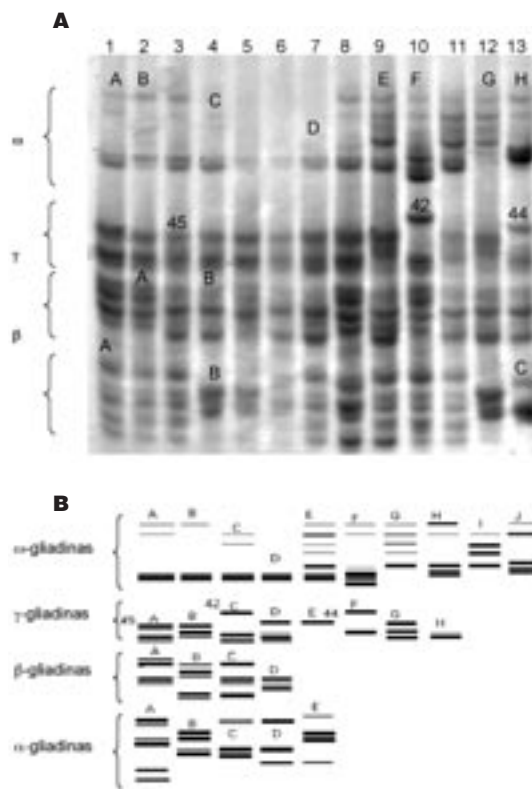


Figura 2. Separación de subunidades de gliadinas mediante electroforesis ácida de proteínas (A-PAGE) en gel de poliacrilamida al 7%. **A-** Algunos de los patrones proteicos observados por A-PAGE para ω , γ , β y α gliadinas, cuya ubicación relativa en el gel de electroforesis se indica por corchetes. De izquierda a derecha las calles corresponden a (1) Bonaerense Valverde, (2) Bonaerense Quilacó, (3) Bonaerense INTA Cumenay, (4) Buck Ambar, (5) Bonaerense INTA Facón, (6) Buck Topacio, (7) Buck Esmeralda, (8) Ambral, (9) Ardente, (10) Cham I, (11) MVTD 10/98, (12) MVTD 12/98, (13) Cakmac. **B-** Esquema de la totalidad de patrones de gliadinas identificados en las muestras analizadas.

dos corroboran el ligamiento genético entre el locus *Glu-B3* de LMWGs y el locus *Gli-B1* de gliadinas, y la herencia de estos genes por bloque, sin eventos de recombinación.

Interacción entre proteínas de reserva y la calidad de pasta

El total de las muestras seleccionadas para este estudio fueron nulas para el locus *Glu-A1* de HMWGs, y presentaron LMWGs de tipo 2 y γ -gliadinas del tipo γ -45; de este modo, en el análisis se consideró la variabilidad del locus *Glu-B1* de HMWGs (HMWGs-B1) y los grupos ω , β y α de gliadinas.

El análisis de asociación entre gluteninas, gliadinas

y la variable discreta "calidad" mostró valores significativos para HMWGs-B1 y β -gliadinas (Tabla 2). Las asociaciones restantes (ω -gliadinas y α -gliadinas calidad) fueron no significativas ($P > 0,05$), por lo que se las excluyó del análisis de interacción sobre los parámetros cuantitativos de calidad (% gluten, gluten index y Afl.) (Tabla 1). Este resultado sugiere un efecto significativo de alelos/patrones de HMWGs y β -gliadinas (β -gli) sobre la calidad de pasta.

El paso subsiguiente en el análisis fue determinar cuáles de los parámetros cuantitativos de calidad evaluados presentaron correlación significativa con los alelos/patrones de HMWG y/o β -gli, a fin de identificar marcadores útiles para el mejoramiento de la calidad de la pasta (Tabla 3).

Se observó una correlación significativa entre β -gli y el gluten index promedio ($P = 0,019$). Cuando el patrón β -gli A estuvo presente el valor del gluten index promedio fue $75,2 \pm 11,73$ ($n = 10$), y con el patrón β -gli B el índice promedio fue $57,7 \pm 19,41$ ($n = 37$) (Tabla 4); de este modo la presencia del patrón β -gli A se correlaciona con un mayor valor del gluten index promedio y consecuentemente, mejor calidad de pasta. Se rechazaron las hipótesis de interacción significativa entre gluten index y HMWGs-B1 o HMWGs* β -gli (Tabla 3).

En el caso del parámetro aflojamiento (Afl.), la interacción HMWGs-B1* β -gli fue no significativa (Tabla 3); tampoco se observó un efecto significativo de los patrones de β -gli sobre el aflojamiento promedio pero sí se detectó una fuerte correlación entre Afl. y HMWGs-B1 (Tabla 3). Las muestras portadoras de los alelos 7+8 o 6+8 presentaron índices promedio de Afl. no significativos ($24 \pm 3,32$ y $26,45 \pm 4,1$, respectivamente), sin embargo la presencia del alelo 20 hizo que el tiempo de aflojamiento ascienda a $29,37 \pm 3,1$ (Tabla 5). Este resultado coincide con Ruiz & Carrillo (1995), que señalan una correlación significativa entre la presencia del alelo 20 de HMWGs y un gluten débil en comparación con los alelos 7+8 y 6+8.

No se observó correlación significativa entre la variación de gluteninas y gliadinas y % gluten (Tabla 3), lo cual es un resultado esperable por ser % gluten un parámetro con baja heredabilidad, fuertemente influenciado por componentes ambientales, principalmente nitrógeno accesible y agua en el suelo, mientras que la heredabilidad de predictores de fuerza de gluten tales como gluten index y Afl. es intermedia a alta (Clarke *et al.*, 2000).

Si bien se utilizaron muestras con diferentes fondos genéticos, este análisis es pionero en el estudio de interacción entre proteínas de reserva y germoplasma candeal argentino; y sus resultados coinciden con reportes de otros países como Italia y España sobre el efecto de gluteninas y gliadinas en parámetros de ca-

Tabla 2. Interacción entre alelos/patrones de gliadinas (α -gli, β -gli y ω -gli) y HMWGs del locus *GLU-1B* (HMWB) sobre la variable discreta "calidad" en trigos candeales.

Alelos/patrones	valor estadístico	gl	P
α -gli			ns
β -gli	10,14	3	0,0174*
ω -gli			ns
HMWB	41,85	12	<0,0001**

* $P < 0,05$

** $P < 0,01$

ns: no significativo ($P > 0,05$)

Tabla 3. Correlación entre la presencia de alelos/patrones de β -gliadinas (β -gli), HMWGs del locus *GLU-1B* (HMWB) y su interacción (GLIAD * HMWB) sobre parámetros de calidad de trigo candeal.

Alelo/patrones	Gluten Index	% gluten	Afloj.
β -gli	0,019*	0,077	0,9663
HMWB	0,061	0,718	0,0025**
β -gli*HMWB	0,095	0,069	0,0946

* $P < 0,05$

** $P < 0,01$

Tabla 4. Efecto de las β -gliadinas (categorías A y B) sobre el parámetro Gluten index en trigo candeal.

Categoría	Media	N
A	75,2a	10
B	57,7b	37

Medias con igual letra representan diferencias no significativas ($P > 0,05$).

Tabla 5. Efecto de las HMWGs sobre el parámetro tiempo de aflojamiento en trigo candeal.

Categoría	Media	N
20y	29,37a	19
6+8	26,45b	11
7+8	24,00b	17

Medias con igual letra representan diferencias no significativas ($P > 0,05$).

lidad (Ruiz *et al.*, 1998).

Es importante destacar la escasa variabilidad genética representada en el germoplasma argentino para el locus *GluA1* de HMWGs, y para las LMWGs y γ -gliadinas. Desde el punto de vista del mejoramiento y la calidad, si bien los patrones dominantes de LMWGs y γ -gliadinas están asociados con buena calidad de pasta, sería oportuno considerar la incorporación de nuevo germoplasma con variantes 2* y 2' de LMWGs, igualmente asociadas a buena calidad de pasta. De este modo se incrementaría la variabilidad genética en este grupo de proteínas de reserva íntimamente relacionado con la calidad de pasta en trigos candeales (Masci *et al.*, 2000). Otro punto a considerar es la incorporación de alelos 1 y 2* del locus *GluA1* de HMWGs. El germoplasma argentino es en un 99% nulo para este locus, y existen reportes de efecto positivo sobre calidad de pasta de alelos del locus *GluA1* (Ruiz *et al.*, 1998). Otro elemento a mejorar en el germoplasma argentino es la alta proporción del alelo 20 de HMWGs-B1 en las muestras evaluadas (28 %). Los datos desprendidos del estudio de interacción entre proteínas de reserva y calidad de pasta muestran un significativo efecto detrimental del alelo 20 sobre el parámetro Afl., resultado que coincide con lo informado por Ruiz y Carrillo (1995). Finalmente, en base a los resultados obtenidos en el estudio de interacción de proteínas de reserva con calidad de pasta, cabe destacar la utilidad de los alelos 7+8 y 6+8 de HMWGs-B1 y del patrón A de β -gli como marcadores para incrementar la calidad de pasta en programas de mejoramiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a INTA, Programa Nacional Cereales, Proyecto 52 520201, por financiar este trabajo y a la Ing. Agr. Mónica Balzarini por el análisis estadístico de los datos.

BIBLIOGRAFÍA

- Boggini, C. and N. E. Pogna, 1989. The breadmaking quality and storage proteins composition of Italian durum wheat. *J. Cereal Sci.* 9: 131-138.
- Bushuk, W., 1998. Wheat breeding for end-product use. In: H.J. Braun *et al.*, (Eds.) *Wheat: Prospects for global improvement*, pp. 203-211.
- Carrillo, J. M.; J. F. Vazquez and J. Orellana, 1990. Relationship between gluten strength and glutenins protein in durum wheat cultivars. *Plant Breeding*, 104: 325-333.
- Carrillo, J. M.; J. F. Vazquez, M. Ruiz and M. M. Albuquerque, 1991. Relationship between gluten strength and protein components in Spanish durum wheat landraces. In: *Gluten Proteins 1990*. Bushuk, W., Thachuk, R., eds. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN., pp. 268-277.
- Clarke, J. M., F. R. Clarke, N. P. Ames, T. N. McCaig and R. E. Knox, 2000. Evaluation of predictors of quality for use in early generation selection. In: *Durum wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges*. C. Royo, M.M. Nachit, N. DiFonzo and J.L. Araus (Eds) International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies, Zaragoza, pp. 439-446.
- D'Ovidio, R.; C. Marchitelli, L. Ercoli Cardelli and E. Porceddu, 1999. Sequence similarity between allelic *Glu-B3* genes related to quality properties of durum wheat. *Theor. Appl. Genet.* 98: 455-461.
- Du Cros, D. L.; C. W. Wrigley and R. A. Hare, 1982. Prediction of durum wheat quality from gliadin-protein composition. *Aust. J. Agric. Res.* 33: 429-442.
- ICC Standard No 137. Mechanical determination of the wet gluten content of wheat flour (Glutomatic). In: *Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology (ICC)*. Edition 2001.
- ICC Standard No 155. Determination of wet gluten quantity and quality (Gluten Index ac. to Perten) of whole wheat meal and wheat flour (*Triticum aestivum*). In: *Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology (ICC)*. Edition 2001.
- Irvine, G. N.; J. W. Bradley and G. C. Martin, 1961. A farinograph technique for macaroni doughs. *Cereal Chem.* 38: 153-164.
- Khelefi, D. and G. Branlard, 1992. The effects of HMW and LMW subunits of glutenin and of gliadins on the technological quality of the progeny from four crosses between poor breadmaking quality and strong wheat cultivars. *J. Cereal Sci.* 16: 195-209
- Kosmolac, F. G.; J. E. Dexter, R. R. Matsuo, D. Leisle and B. A. Marchilo, 1980. A relationship between durum wheat quality and gliadin electrophoregrams. *Can. J. Plant. Sci.* 60: 427-432.
- Kovacs, M. I. P.; N. K. Howes, D. Leisle and J. H. Skerritt, 1993. The effect of high Mr glutenin subunit composition on the results from test used to predict durum wheat quality. *J. Cereal Sci.* 18: 43-51.
- Lafiandra D.; D. D. Kasarda and R. Morris, 1984. Chromosomal assignment of gene coding for the wheat gliadin protein components of the cultivar Cheyenne and Chinese Spring by two dimensional electrophoresis. *Theor. Appl. Genet.* 68: 531-539.
- Lafiandra, D. and D. D. Kasarda, 1985. One- and two-dimensional (two-pH) polyacrylamide gel electrophoresis in a single gel separation of wheat proteins. *Cereal Chem.* 62: 314-319.
- Masci, S.; R. D'Ovidio, D. Lafiandra and D. D. Kasarda, 2000. A 1B-coded low molecular weight glutenin subunit associated with quality in durum wheats shows strong similarity to a subunit present in some bread wheat cultivars. *Theor. Appl. Genet.* 100: 396-400.
- Metakovsky, E. V., 1991. Gliadin allele identification in common wheat II. Catalogue of gliadin alleles in common wheat. *J. Genet. Breed.* 45: 325-344.
- Payne, P. I., 1987. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on breadmaking quality. *Annual Review of Plant Physiology* 38: 141-153.

- Payne, P.I. and G. Lawrence, 1983. Catalogue of alleles for the complex gene loci, *Glu-A1*, *Glu-B1* and *Glu-D1* which code for high molecular weight subunits in hexaploid wheat. *Cereal Research Comm.* 11: 29-35.
- Payne, P. I.; E. A. Jackson and L. M. Holt, 1984. The association between γ -gliadin 45 and gluten strength in durum wheat varieties: a direct causal effect or the result of the genetic linkage?. *J. Cereal Sci.* 2: 73-81.
- Payne, P. I.; M. A. Nightingale, A. F. Krattiger and L. M. Holt, 1987. The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. *J. Sci. Food. Agric.* 40: 51-65.
- Pogna, N. E.; J.C. Autran, F. Mellini and D. Lafiandra, 1990. Chromosome 1-B encoded gliadins and glutenin subunits in durum wheat: genetics and relationship to gluten strength. *J. Cereal Sci.* 11: 15-34.
- Porceddu, E.; T. Turchetta, S. Masci, R. D'Ovidio, D. Lafiandra, D. D. Kasarda, A. Impiglia and M. Nachit, 1998. Variation in endosperm protein composition and technological quality properties in durum wheat. *Euphytica* 100: 197-205.
- Ruiz, M. and J. M. Carrillo, 1995. Relationships between different prolamins and some quality properties in durum wheat. *Plant Breed.* 114: 40-44.
- Ruiz, M.; J. F. Vazquez y J. M. Carrillo, 1998. Estudio de la variabilidad de gluteninas y gliadinas en variedades locales y cultivares primitivos españoles de trigo duro. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* 13: 291-305.
- SAS, 2001. *Procedures Guide*, Ver. 8. The Institute: Cary, NC.
- Shewry, P. R.; A. S. Tatham and N. G. Halford, 1999. The prolamins of the Triticeae. In "Seed Proteins", P. R. Shewry and R. Casey (Eds), Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, pp. 35-78.
- Singh, N. K.; K. W. Shepherd, and G. B. Cornish, 1991. A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenins. *J. Cereal Sci.* 14: 203-208.
- Troccoli, A.; G. M. Borrelli, P. De Vita, C. Fares and N. Di Fonzo, 2000. Durum wheat Quality: A multidisciplinary concept. *J. Cereal Sci.* 32: 99-113.
- Turchetta T.; M. Ciaffi, E. Porceddu and D. Lafiandra, 1995. Relationship between electrophoretic pattern of storage proteins and gluten strength in durum wheat landraces from Turkey. *Pl. Breed.* 114: 406-412.