



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA**

**CARACTERIZACIÓN DE GLUTENINAS DE ALTO
Y BAJO PESO MOLECULAR Y SU CONTRIBUCIÓN
A LA DEFINICIÓN DE LA CALIDAD DEL GLUTEN**

ELIEL MARTINEZ CRUZ

T E S I S
**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2010

La presente tesis titulada: **CARACTERIZACIÓN DE GLUTENINAS DE ALTO Y BAJO PESO MOLECULAR Y SU CONTRIBUCIÓN A LA DEFINICIÓN DE LA CALIDAD DEL GLUTEN** realizada por el alumno: **ELIEL MARTÍNEZ CRUZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA
CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO:

DR. JOSÉ DOMINGO MOLINA GALÁN

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ROBERTO JAVIER PEÑA BAUTISTA

ASESOR:

DR. EDUARDO ESPITIA RANGEL

ASESOR:

DR. HÉCTOR EDUARDO VILLASEÑOR MIR

ASESOR:

DR. IGNACIO BENÍTEZ RIQUELME

ASESOR:

DR. AMALIO SANTACRUZ VARELA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Enero 2010

CARACTERIZACIÓN DE GLUTENINAS DE ALTO Y BAJO PESO MOLECULAR Y SU CONTRIBUCIÓN A LA DEFINICIÓN DE LA CALIDAD DEL GLUTEN

Eliel Martínez Cruz. Dr.

Colegio de Postgraduados, 2010.

Con la finalidad de identificar los alelos de gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM) y su efecto individual y en combinación sobre la calidad de la masa de trigos harineros mexicanos se caracterizaron 72 genotipos que conforman el grupo de progenitores del programa de trigo del CEVAMEX-INIFAP y 98 líneas F₆ derivadas de seis cruzas entre variedades de diferentes grupos de calidad. Las variables evaluadas fueron volumen e índice de sedimentación, tiempo de amasado, estabilidad al amasado, tolerancia al sobre amasado, fuerza general de la masa y la relación tenacidad-extensibilidad. Se identificaron 10 alelos que codifican para GAPM; mientras que para las GBPM se identificaron 14. Por otro lado, las líneas obtenidas de Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora T88, permitieron determinar que los alelos 1 y 2* del locus *Glu-1A* favorecieron la calidad de la masa. En la craza Rebeca F2000 × Verano S91 se confirmó el efecto positivo del alelo 5+10 y desfavorable del alelo 2+12 sobre las propiedades viscoelásticas del gluten. En esta misma craza los alelos c y e (*Glu-A3*) afectaron positivamente la calidad del gluten al igual que las variantes g y h (*Glu-D3*). En la craza Gálvez M87 × Bacanora T88 el alelo 17+18 se asocio a valores superiores de fuerza y extensibilidad respecto a 7+9. Las variantes alélicas b, h y c se asociaron a parámetros superiores de calidad respecto a su contraparte c, j y b presentes en los loci *Glu-A3*, *Glu-B3* y *Glu-D3*, respectivamente. La combinación 1, 17+18, 5+10 b, h, c, de Gálvez M87, fue la de mayor fuerza de la masa en las dos cruzas analizadas. La combinación 2*, 17+18, 2+12, e, g, b se asocio a masas de gluten débil y extensible.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., gluteninas de alto y bajo peso molecular, calidad de la masa.

CHARACTERIZATION GLUTENINS HIGH AND LOW MOLECULAR WEIGHT AND ITS CONTRIBUTION TO THE DEFINITION OF QUALITY OF GLUTEN

Eliel Martínez Cruz. Dr.

Colegio de Postgraduados, 2010.

In order to identify high and low molecular weight (HMWG and LMWG) alleles and their individual and combined effects on the quality of the dough of Mexican bread wheats, 72 genotypes which comprise the group of progenitors of the wheat program at CEVAMEX-INIFAP, and 98 F₆ lines derived from six crosses of genotypes different quality classes. The evaluated traits were sedimentation index and volume, kneading time and stability, tolerance to over kneading, general strength of the dough and tenacity-extensibility ratio. Ten alleles coding for HMWG were identified, whereas for LMWG 14. On the other hand, lines obtained from Rebeca F2000 × Verano S91 and Gálvez M87 × Bacanora T88, made possible to determine that alleles 1 and 2* of the *Glu-1A* locus favored quality of the dough. The positive effect of the 5+10 allele and the unfavorable effect of the 2+12 allele on viscoelastic properties of gluten were confirmed through the Rebeca F2000 × Verano S91 cross. In the same cross c y e alleles (*Glu-A3*) positively affected the quality of gluten as did g and h (*Glu-D3*) variants. In the cross Galvez M87 × Bacanora T88 the 17+18 allele was associated with higher values of strength and extensibility than 7+9. Allelic variants b, h and c were associated with higher quality parameters as compared to its c, j and b counterparts present at *Glu-A3*, *Glu-B3* and *Glu-D3* loci, respectively. Combination 1, 17+18, 5+10 b, h, c, from Galvez M87, resulted in the greatest strength of the dough in the two crosses tested. Combination 2*, 17+18, 2+12, e, g, b was associated with weak and extensible gluten.

Key words: *Triticum aestivum* L., high and low molecular weight glutenins, dough quality.

AGRADECIMIENTOS

A LA SOCIEDAD MEXICANA POR SU APOYO ECONÓMICO POR MEDIO DEL CONACYT.

AL COLEGIO DE POSTGRADUADOS Y A TODO EL PERSONAL DEL PROGRAMA DE GENÉTICA.

AL DR. EDUARDO ESPITIA RANGEL POR SU APOYO Y CONFIANZA.

AL DR. HECTOR EDUARDO VILLASEÑOR MIR POR SUS ENSEÑANZAS Y AL EQUIPO DE TRABAJO DEL PROGRAMA DE TRIGO DEL CEVAMEX-INIFAP POR SU COLABORACIÓN EN LA FASE DE CAMPO.

AL DR. ROBERTO JAVIER PEÑA BAUTISTA POR LA DIRECCION DE LA TESIS Y AL EQUIPO DE TRABAJO DEL LABORATORIO DE CALIDAD DEL TRIGO DEL CIMMYT POR SU COLABORACIÓN EN ESTA FASE.

AL DR. IGNACIO BENÍTEZ RIQUELME Y DR. JOSÉ DOMINGO MOLINA GALÁN POR SU APOYO EN LA CONFORMACIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR.

AL DR. AMALIO SANTACRUZ VARELA POR SU CONTRIBUCIÓN A ESTA INVESTIGACIÓN.

AL DR. HIGINIO LÓPEZ SÁNCHEZ POR SU APOYO EN LA CONFORMACION DE JURADO.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES ALICIA CRUZ Y ZOCIMO MARTINEZ GARCIA. GRACIAS POR SU EJEMPLO DE VIDA.

A FANN, ELIEL Y YAMILE, QUE SON MI FORTALEZA E INSPIRACIÓN EN LA VIDA.

A MIS HERMANOS Y HERMANAS: CRISTINO, ELIA, JESUS, SOCORRO, JORGE, MARTIN, JAVIER, JAIME, JANNET, POR FORMAR PARTE DE ESTA GRAN FAMILIA.

A MARTIN Y GUADALUPE POR SU APOYO INCONDICIONAL.

CONTENIDO	Página
RESUMEN GENERAL	iii
GENERAL ABSTRACT	iv
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II. DIVERSIDAD GENÉTICA DE GLUTENINAS Y GLIADINAS EN TRIGOS HARINEROS (<i>Triticum aestivum</i> L.) MEXICANOS.	4
2.1 Resumen	5
2.2 Abstract	6
2.3 Introducción	7
2.4 Materiales y Métodos	8
2.5 Resultados y Discusión	9
2.6 Conclusiones	20
2.7 Literatura Citada	21
III. DIFERENCIAS EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS EN LINEAS RECOMBINANTES DE TRIGO. I. RELACIÓN CON LAS VARIANTES ALÉLICAS EN LOS LOCI <i>Glu-1</i> y <i>Glu-3</i>.	24

3.1 Resumen	25
3.2 Abstract	26
3.3 Introducción	27
3.4 Materiales y Métodos	28
3.5 Resultados y Discusión	30
3.6 Conclusiones	45
3.7 Literatura Citada	46
IV. DIFERENCIAS EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS EN LINEAS RECOMBINANTES DE TRIGO. II. RELACION CON COMBINACIONES DIVERSAS DE LOS LOCI <i>Glu-1</i> y <i>Glu-3</i>.	50
4.1 Resumen	51
4.2 Abstract	52
4.3 Introducción	53
4.4 Materiales y Métodos	54
4.5 Resultados y Discusión	56
4.6 Conclusiones	67
4.7 Literatura Citada	68

V. DISCUSIÓN GENERAL	71
VI. CONCLUSIONES GENERALES	75
VII. LITERATURA CITADA GENERAL	76

Cuadro	ÍNDICE DE CUADROS	Página
2.1	Algunas combinaciones de GAPM (locus <i>Glu-1</i>) y GBPM (locus <i>Glu-3</i>) de progenitores de trigo del CEVAMEX-INIFAP. 2008	13
2.2	Frecuencia de alelos de GAPM de genotipos de trigo usados como progenitores en el CEVAMEX-INIFAP.	14
2.3	Frecuencia de alelos de GBPM de genotipos de trigo usados como progenitores en el CEVAMEX-INIFAP.	15
2.4	Combinaciones de GAPM (locus <i>Glu-1</i>) y GBPM (locus <i>Glu-3</i>) de los genotipos usados como progenitores en los diferentes cruzamientos.	16
2.5	Frecuencia de combinaciones del complejo loci <i>Glu-1</i> (GAPM) y <i>Glu-3</i> (GBPM) de líneas derivadas de variedades de grupos contrastantes en calidad.	17
3.1	Subunidades de GAPM y GBPM de los progenitores usados en los cruzamientos del estudio.	28
3.2	Variación poblacional de parámetros de calidad de líneas derivadas de Rebeca F2000 × Verano S91. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.	31
3.3	Variación poblacional de parámetros de calidad de líneas derivadas de Gálvez M87 × Bacanora T88. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.	32
3.4	Cuadrados medios del análisis de varianza por genotipos, combinación y por locus de líneas derivadas de Rebeca F2000 × Verano S91. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.	34

3.5	Medias de líneas de alelos de GAPM de variables viscoelásticas de la masa derivadas de Rebeca F2000 × Verano S91. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.	36
3.6	Medias de genotipos con alelos de GBPM de variables viscoelásticas de la masa derivadas de Rebeca F2000 × Verano S91. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.	38
3.7	Cuadrados medios del análisis de varianza por genotipos, combinaciones y por locus con relación a las variables de calidad de líneas derivadas de Gálvez M87 × Bacanora T88. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.	40
3.8	Medias de genotipos con alelos de GAPM de variables viscoelásticas de la masa derivadas de Gálvez M87 × Bacanora T88. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.	42
3.9	Medias de genotipos con alelos de GBPM de variables viscoelásticas de la masa derivadas de Gálvez M87 × Bacanora T88. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.	44
4.1	Combinaciones de gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM) de los progenitores y su progenie obtenidas de Rebeca F2000 × Verano S91.	57
4.2	Combinaciones de gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM) de los progenitores y su progenie obtenidas de Gálvez M87 × Bacanora T88.	58
4.3	Cuadrados medios de propiedades reológicas de la masa de trigos harineros. Roque, Guanajuato. Primavera-verano, 2008.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Subunidades de proteína en geles de poliacrilamida de los progenitores de trigo harinero del CEVAMEX-INIFAP. A, GAPM = gluteninas de alto peso molecular, B y C, GBPM = gluteninas de bajo peso molecular; D = ligamiento <i>Glu-B3</i> (GBPM)/ <i>Gli-B1</i> (ω -Gliadinas), T = translocación 1BL/1RS.	10
4.1	Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre el tiempo de amasado de los progenitores y las líneas derivadas de la cruce Rebeca F2000 (R) × Verano S91 (V) (las barras delgadas representan el error estándar de la media).	60
4.2	Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre la estabilidad al amasado de los progenitores y las líneas derivadas de la cruce Rebeca F2000 (R) × Verano S91 (V) (las barras delgadas representan el error estándar de la media).	61
4.3	Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre la tolerancia al sobre amasado de los progenitores y las líneas derivadas de la cruce Rebeca F2000 (R) x Verano S91 (V) (las barras delgadas representan un error estándar de la media).	61

- 4.4** Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre W (fuerza de la masa) de los progenitores y las líneas derivadas de la cruza Rebeca F2000 (R) × Verano S91 (V) (las barras delgadas representan un error estándar de la media). **62**
- 4.5** Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre P/L (relación tenacidad-extensibilidad) de los progenitores y las líneas derivadas de la cruza Rebeca F2000 (R) × Verano S91 (V) (las barras delgadas representan el error estándar de la media). **63**
- 4.6** Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre el tiempo de amasado de los progenitores y las líneas derivadas de la cruza Gálvez M87 (G) × Bacanora T88 (B) (las barras delgadas representan el error estándar de la media). **64**
- 4.7** Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre la estabilidad al amasado de los progenitores y las líneas derivadas de la cruza Gálvez M87 (G) × Bacanora T88 (B) (las barras delgadas representan el error estándar de la media). **64**
- 4.8** Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre la tolerancia al sobre amasado de los progenitores y las líneas derivadas de la cruza Gálvez M87 (G) × Bacanora T88 (B) (las barras delgadas representan el error estándar de la media). **65**

- 4.9** Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre W (fuerza de la masa) de los progenitores y las líneas derivadas de la cruce Gálvez M87 (G) × Bacanora T88 (B) (las barras delgadas representan el error estándar de la media). **66**
- 4.10** Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre P/L (relación tenacidad-extensibilidad) de los progenitores y las líneas derivadas de la cruce Gálvez M87 (G) × Bacanora T88 (B) (las barras delgadas representan el error estándar de la media). **66**

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El éxito de la producción del trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) no sólo se basa en su capacidad de producción bajo una amplia variación de condiciones ambientales, sino también en la capacidad funcional de sus proteínas de reserva presentes en la harina, lo que le permite ser procesada en una amplia gama de productos alimenticios (Shewry *et al.*, 2002).

Un gramo de harina de trigo harinero, está conformado por 120 mg de proteína, 710 mg de almidón, 50 mg de lípidos y 120 mg de agua. Del total de la proteína, 39 mg corresponden a gluteninas de bajo peso molecular (GBPM), 9 mg a gluteninas de alto peso molecular (GAPM), 48 mg de gliadinas y 24 mg de globulinas (Gras *et al.*, 2001). Una característica trascendental de las GAPM, GBPM y gliadinas es la de formar una red insoluble, en presencia de agua, llamada gluten, la cual le confiere a la masa capacidades viscoelásticas o reológicas (fuerza y extensibilidad) únicas que determinan las propiedades viscoelásticas de la masa y consecuentemente la calidad del producto final (Weegels *et al.*, 1996). Por lo anterior, dichas proteínas son las que definen en gran medida la fuerza y extensibilidad de la masa. Las GBPM y gliadinas representan cuantitativamente las principales proteínas de reserva del grano; sin embargo, la identificación de sus alelos (Redaelli *et al.*, 1997, Igrejas *et al.*, 1999, Singh *et al.*, 2007, Tohver, 2007) y el efecto de los alelos de GAPM, sobre la calidad de la masa, ha sido el más ampliamente estudiado en todo el mundo (Payne y Lawrence 1983, Payne *et al.*, 1987, Gupta *et al.*, 1989, Ram, 2003 y Muhammad *et al.*, 2007).

Por otro lado, la identificación y el efecto, sobre la viscoelasticidad de la masa de las variantes alélicas de las GBPM (Gupta y Shepherd 1990; Tanaka *et al.*, 2005) y de las gliadinas (Khatkar *et al.*, 2002) ha sido estudiado en diferentes fondos genéticos, es decir en asociación con diferentes alelos de GAPM (Khelifi y Branlard, 1992; Gupta y MacRitchie, 1994; Nieto-Taladriz

et al., 1994; Rodríguez-Quijano y Carrillo 1996; Takata *et al.*, 2001; Vaccino *et al.*, 2002). Es importante señalar que la identificación de las GBPM, (complejo loci *Glu-3* y *Gli-1*) es difícil en geles de poliacrilamida en presencia de dodecil sulfato de sodio, debido a la cantidad de genes, (35 a 40) que conforman el locus *Glu-3* (Cassidy *et al.*, 1998) y por gliadinas de alto peso molecular y GBPM que muestran entre sí patrones de movilidad electroforética similares, dificultando su identificación (Gupta y Shepherd, 1990); además, hay ligamiento genético entre las GBPM (locus *Glu-3*) y las γ y ω -gliadinas (locus *Gli-1*), localizadas en el brazo corto de los cromosomas 1A, 1B y 1D (Payne *et al.*, 1984). A pesar de lo anterior, se han desarrollado protocolos de electroforesis que han facilitado la identificación para GBPM y gliadinas (Singh *et al.*, 1991; Jackson *et al.*, 1996; Branlard *et al.*, 2003; Peña *et al.*, 2004).

Además de las variantes alélicas antes señaladas, existe un componente genético conocido como translocación 1BL/1RS (1B/1R), donde se codifican proteínas secalinas propias del centeno (*Secale cereale* L.), la cual consiste en el remplazo del brazo corto del trigo 1B por el brazo corto del centeno 1R, estas proteínas se han asociado con una reducción en la fuerza y extensibilidad del gluten, dependiendo del fondo genético en el cual se evalúa (Bullrich *et al.*, 1998, Graybosch, 2001, Amiour *et al.*, 2002, Kumlay *et al.*, 2003 y Kim *et al.*, 2005).

En México recientemente se ha iniciado la identificación de las GAPM y el efecto de estos componentes genéticos sobre la calidad del gluten (Espitia *et al.*, 2008). Por otro lado, en trigos harineros mexicanos no existe la identificación de GBPM y su efecto sobre las propiedades viscoelásticas de la masa; en este contexto los objetivos de la presente investigación fueron:

- 1) Caracterizar las subunidades de GAPM y de GBPM de los genotipos usados como progenitores en el programa de trigo del Campo Experimental Valle de México del INIFAP y de líneas derivadas de cruces entre variedades de diferentes grupos de calidad.

- 2) Identificar el efecto individual de los alelos que codifican para GAPM y GBPM sobre las propiedades viscoelásticas del gluten de líneas derivadas de Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora T88.
- 3) Identificar el efecto de algunas combinaciones de alelos de GAPM y GBPM sobre las propiedades viscoelásticas del gluten de líneas derivadas de Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora T88.

Las hipótesis fueron:

- 1) Existe poca variación de alelos de GAPM y GBPM en el grupo de progenitores en el programa e trigo del Campo Experimental Valle de México del INIFAP
- 2) Existen variantes individuales de GAPM y GBPM que favorecen la fuerza y extensibilidad de la masa.
- 3) Existen combinaciones específicas de GAPM y GBPM que favorecen la fuerza y extensibilidad de la masa.

**II. DIVERSIDAD GENÉTICA DE GLUTENINAS Y GLIADINAS EN TRIGOS
HARINEROS (*Triticum aestivum* L.) MEXICANOS**

Artículo en revisión en la revista AGROCIENCIA.

2.1 Resumen

Las gluteninas y las gliadinas del trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) tienen una función fundamental en la definición de la calidad de panificación. Se analizaron mediante electroforesis 72 progenitores del programa de fitomejoramiento de trigo harinero para temporal del INIFAP y 600 líneas F₆ derivadas de cruzas entre variedades de diferentes grupos de calidad con el objetivo de identificar las subunidades de gluteninas de alto (GAPM) y bajo (GBPM) peso molecular y de las ω -gliadinas. Se encontraron 10 alelos que codifican para GAPM: 2 en *Glu-A1*; 6 en *Glu-B1* y 2 en *Glu-D1*. En GBPM se encontraron 14 alelos: 4 en *Glu-A3*; 7 en *Glu-B3* y 3 en *Glu-D3*; los loci *Glu-B3* y *Glu-B1* presentaron mayor diversidad. Con base en las variantes alélicas, de los loci *Glu-1* y *Glu-3*, las líneas derivadas de Gálvez M87 \times Bacanora T88 se agruparon en 19 combinaciones distintas, mientras que en Rebeca F2000 \times Verano S91 y Gálvez M87 \times Verano S91, se encontraron 16 y 14. La caracterización de GAPM y GBPM permitirá realizar cruzamientos dirigidos de forma específica para obtener combinaciones de gluteninas deseables, así como hacer más eficiente la selección en el programa de fitomejoramiento. Además, las líneas producto de las cruzas analizadas permitirán entender mejor los efectos genéticos de los diferentes alelos de GBPM, ω -gliadinas y de la translocación 1BL/1RS (proteínas secalinas) en la calidad de la masa de panificación.

Palabras Clave: *Triticum aestivum* L., diversidad de gluteninas, variabilidad de combinaciones de gluteninas.

2.2 Abstract

Glutenins and gliadins of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) have a key role in defining the baking quality. Seventy-two progenitors and 600 F₆ lines of the INIFAP rainfed wheats breeding program were analyzed for identifying subunits of high and low molecular weight glutenins and ω-gliadins. Ten alleles encoding for LMWG were found: 2 at *Glu-A1*, 6 at *Glu-B1* and 2 at *Glu-D1*, while 14 alleles were found for HMWG: 4 at *Glu-A3*, 7 at *Glu-B3* and 3 at *Glu-D3*. *Glu-B3* and *Glu-B1* loci showed higher diversity. Based on the allelic variants of the *Glu-1* and *Glu-3* loci, lines derived from Galvez M87 × Bacanora T88 were grouped into 19 different combinations, while those from Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Verano S91 were grouped into 16 and 14 combinations, respectively. HMWG. Characterization of HMWG and LMWG would allow to perform specific crossings aimed to obtain the desired combinations of glutenins optimizing selection in breeding programs. Furthermore, lines coming from directed crosses would allow a better understanding of the genetic effects of LMWG, ω-gliadin and translocation 1BL/1RS (secalins protein) on the quality of the baking dough.

Key words: *Triticum aestivum* L. glutenins diversity, variability of combinations of glutenins.

2.3 Introducción

En México el trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) se clasifica de acuerdo con su calidad industrial en trigo de textura de grano semidura a dura y gluten fuerte y extensible (Grupo 1), textura dura a semidura y gluten medio fuerte y extensible (Grupo 2), textura suave y gluten débil y extensible (Grupo 3) y trigo de gluten tenaz poco extensible (Grupo 4). Estas propiedades reológicas del gluten permiten diversificar su utilización en la industria de la panificación, galletera y repostería (Martínez *et al.*, 2007). Las propiedades viscoelásticas del gluten están determinadas principalmente por su composición de subunidades de α , β , γ y ω -gliadinas, gluteninas de alto peso molecular (GAPM) y gluteninas de bajo peso molecular (GBPM) (Weegels *et al.*, 1996). En algunas variedades mexicanas liberadas para temporal, se han identificado las subunidades de GAPM así como su efecto en la reología de la masa y el volumen de pan (De la O *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2007); sin embargo, se desconoce el efecto individual de las gliadinas y GBPM, por lo que la identificación de estos componentes genéticos es necesaria para entender su influencia en la calidad y así poder manipularlos en un programa de fitomejoramiento.

Pero es difícil identificar subunidades de GBPM y gliadinas (complejo loci *Glu-3* y *Gli-1*) en geles de poliacrilamida, en presencia de dodecil sulfato de sodio, debido a la cantidad de genes, (35 a 40) que conforman el locus *Glu-3* (Cassidy *et al.*, 1998) y por gliadinas de alto peso molecular y GBPM que muestran entre sí patrones de movilidad electroforética similares, dificultando su identificación (Gupta *et al.*, 1990) además, hay ligamiento genético entre las GBPM (locus *Glu-3*) y las γ y ω -gliadinas (locus *Gli-1*), localizadas en el brazo corto de los cromosomas 1A, 1B y 1D (Payne *et al.*, 1984). En este contexto, el objetivo de esta investigación fue caracterizar las subunidades de GAPM y de GBPM de los genotipos usados como

progenitores en el programa de trigo de temporal del CEVAMEX-INIFAP y de líneas derivadas de cruza entre variedades de diferentes grupos de calidad.

2.4 Materiales y Métodos

Material vegetal y su evaluación en campo

Se utilizaron 72 genotipos (variedades y líneas experimentales) que conforman el grupo de progenitores del programa de trigo del CEVAMEX-INIFAP. Además, se evaluaron líneas derivadas de las cruza Rebeca F2000 × Bacanora T88, Rebeca F2000 × Verano S91, Gálvez M87 × Bacanora T88, Bacanora T88 × Salamanca S76, Verano S91 × Salamanca S76 y Gálvez M87 × Verano S91. La letra después del nombre indica el grupo de calidad al cual pertenecen (S = Grupo 3; M = Grupo 2; F = Grupo 1; T = Grupo 4), mientras que el número indica el año en que se liberaron. Las líneas F₆ fueron derivadas por descendencia de una sola semilla evaluándose 98 líneas por cruza y sus progenitores. Los materiales fueron sembrados en Roque Guanajuato en el ciclo Otoño-Invierno de 2005-2006. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con dos repeticiones y la unidad experimental consistió de cuatro surcos de 3 m de largo con una separación de 30 cm entre surcos.

Análisis de laboratorio y de la información

El análisis electroforético de gluteninas y gliadinas se realizó con el método descrito por Peña *et al.* (2004) en el laboratorio de Calidad del Trigo del CIMMYT. La separación de las subunidades de proteína se obtuvo de una muestra de 40 mg de harina integral usando geles de 14% de acrilamida con pH 8.5, aplicando 9 mA por gel durante 17 h. Las GAPM (loci *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1*) se identificaron con base en la nomenclatura propuesta por Payne y Lawrence (1983) y las GBPM, (loci *Glu-A3* y *Glu-B3*) de acuerdo con Singh *et al.* (1991), Jackson *et al.* (1996) y Branlard *et al.* (2003). Para el locus *Glu-D3* se usó la nomenclatura propuesta por

Branlard *et al.* (2003). Se calcularon las frecuencias de distintos alelos en cada locus (*Glu-1* y *Glu-3*) y las de sus combinaciones en el grupo de progenitores y en las líneas obtenidas de las cruzas indicadas.

2.5 Resultados y Discusión

El polimorfismo encontrado en el grupo de progenitores para cada uno de los loci se muestra en la Figura 2.1. Las subunidades de GAPM se identifican en la Figura 2.1 A. Las subunidades de GBPM (loci *Glu-A3* y *Glu-D3*) se señalan con flechas en la Figura 2.1 B y C. El alelo e en la Figura 2.1 B se caracteriza por ausencia de banda. Los alelos a (en la Figura 2.1 B) y d (en la Figura 2.1 C) corresponden a los genotipos Chinese Spring y Brimstone, utilizados como patrones electroforéticos de referencia. En la Figura 2.1 D se representa el ligamiento entre bandas de *Glu-B3/Gli-B1* (flechas alargadas), en *Glu-B3* las bandas en los rectángulos pertenecen a GBPM y en *Gli-B1* (flechas pequeñas) se señalan las bandas correspondientes a ω -gliadinas. En la Figura 2.1 D se muestra la translocación 1BL/1RS proteínas secalinas del centeno, asociadas con la presencia del alelo nulo j en *Glu-B3* (Gupta y Shepherd, 1992). La translocación consiste en el remplazo del brazo corto del cromosoma 1B del trigo por el brazo corto 1R del centeno. Dicha translocación se encuentra asociada con genotipos de amplia adaptación y alto rendimiento (Rajaram y Braun, 2008); sin embargo, desfavorece la calidad del gluten (Liu *et al.*, 2005).

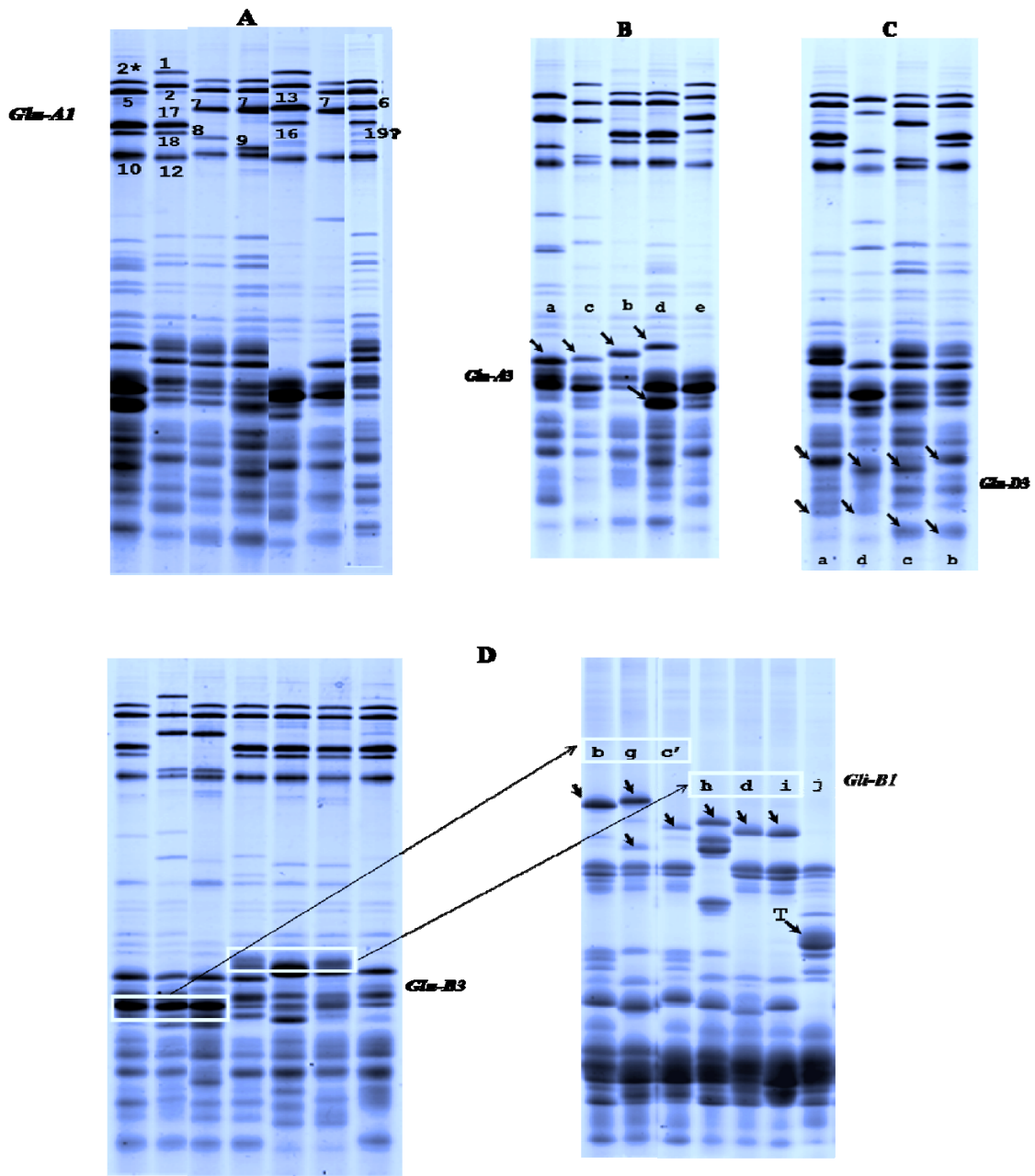


Figura 2.1. Subunidades de proteína en geles de poliacrilamida de los progenitores de trigo harinero del CEVAMEX-INIFAP. A, GAPM = gluteninas de alto peso molecular, B y C, GBPM = gluteninas de bajo peso molecular; D = ligamiento *Glu-B3* (GBPM)/*Gli-B1* (ω -Gliadinas), T = translocación 1BL/1RS.

En el Cuadro 2.1 se presentan las variantes alélicas de GAPM y GBPM de algunas líneas y variedades comerciales del grupo de progenitores. Se observa que 22 (30.5%) genotipos presentaron dos alelos distintos en el mismo locus (en el Cuadro 2.1 se separan por una diagonal). Este resultado podría atribuirse a una posible contaminación (presencia de otra variedad) o heterocigosidad en un locus (Shan *et al.*, 2007) asociada con las selecciones masales efectuadas en algunas etapas del proceso de mejoramiento genético. Más aún, hubo tres genotipos (4.1%) con tres alelos por locus, uno de ellos en el locus *Glu-B1* y dos en el locus *Glu-B3*, lo que fortalece la hipótesis de una contaminación mecánica más que de una contaminación genética. Para confirmar la presencia de heterogeneidad es necesario realizar el corrimiento electroforético de granos individuales de la variedad y así descartar o confirmar la posible contaminación y su origen (Shan *et al.*, 2007).

En los Cuadros 2.2 y 2.3 se resume la frecuencia de los alelos en cada locus de 47 progenitores, excluyendo los que presentaron más de un alelo por locus. Se encontraron 10 alelos que codifican para GAPM (Cuadro 2.2), 2 en *Glu-A1*, 6 en *Glu-B1* y 2 en *Glu-D1*; mientras que para las GBPM (Cuadro 2.3) se identificaron 14, 4 en *Glu-A3*, 7 en *Glu-B3* (ω -gliadinas) y 3 en *Glu-D3*. Los alelos más comunes dentro de cada locus son el 1 (*Glu-A1*, 56.3%), 17+18 (*Glu-B1*, 60.4%), 5+10 (*Glu-D1*, 97.9%), c (*Glu-A3*, 54.2%), h (*Glu-B3*, 43.8%) y b (*Glu-D3*, 64.6%). Los loci con mayor variación fueron *Glu-B3* (h, g, c', b, i, j, d) y *Glu-B1* (17+18, 7+9, 7+8, 6+19?, 7, 13+16). Dicha diversidad alélica es comparable a la de trigos franceses donde se encontraron 16 alelos (Branlard *et al.*, 2003), chinos con 12 (He *et al.*, 2005) y trigos de invierno de los EE. UU., donde se encontraron 14 (Shan *et al.*, 2007) alelos que codifican para GAPM. Para GBPM se reportaron 19 alelos en trigos franceses y de los EE. UU. (Branlard *et al.*, 2003; Shan *et al.*, 2007).

Los alelos de los progenitores usados en los diferentes cruzamientos se muestran en el Cuadro 2.4. Las combinaciones de más alta frecuencia, (se muestran las que se ubicaron en los cinco primeros lugares) de GAPM y GBPM de las líneas obtenidas de las cruzas se muestran en el Cuadro 2.5. En la craza Gálvez M87 × Bacanora T88 se obtuvieron 19 combinaciones debido a la presencia de diferentes alelos en cada locus, excepto para el *Glu-D1* (Cuadro 2.4). En las cruzas Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Verano S91 se encontraron 16 y 14 combinaciones. En las cruzas Salamanca S76 × Verano S91, Salamanca S76 × Bacanora T88 y Rebeca F2000 × Bacanora T88, se encontraron 8, 7 y 6 combinaciones.

Cuadro 2.1. Combinaciones de GAPM (locus *Glu-1*) y GBPM (locus *Glu-3*) de progenitores de trigo del CEVAMEX-INIFAP. 2008.

Variedad o línea	GAPM			GBPM		
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>
Gálvez M87	1	17+18	5+10	b	h	c
Barcenas S2003	2*	7+8	2+12/5+10	d	b/h	b
Cortazar S94	2*	17+++18	2+12/5+10	d	h	b
Nana F2007	2*	7+9	5+10	c	h	c/b
Romoga F96	1	17+18	5+10	e	c'	a
Tlaxcala F2000	1	17+18	5+10	c	c'	a
Náhuatl F2000	2*	17+18	5+10	b	i	c
Triunfo F2004	2*	17+18	5+10	d	c'	c/b
Línea 26	1	13+16/7+8/7+9	5+10	d	b/c'	a
Línea 30	2*	17+18	5+10	c	h/b/g	b
Línea 31	1	17+18	5+10	d	b/h/c'	b
Tollocan	2*	17+18	5+10	e	i	c
Rebeca F2000	1	17+18	5+10	c	g	b
Línea 53 [¶]	2*	17+18	5+10	b	j	b
Línea 54 [¶]	2*	17+18	5+10	b	j	b
Kronstad F2004	2*	7+9	5+10	c	h	a
Josecha F2007	2*	7+9	5+10	c	h	b
Monarca F2007	1/2*	7+9	5+10	c	h	b
Norteña F2007	1	7+9	5+10	d	g	b
Roelfs F2007	2*	17+18	5+10	b	h	b
Urbina S2007	2*	7+8	2+12	d	h	b
Pavón F76	2*	17+18	5+10	b	h	b

[¶] = genotipos con translocación 1BL/1RS.

Cuadro 2.2. Frecuencia de alelos de GAPM de genotipos de trigo usados como progenitores en el CEVAMEX-INIFAP.

GAPM		
Locus	Alelo	Frecuencia [¶] (%)
<i>Glu-A1</i>	1	56.3
	2*	43.8
<i>Glu-B1</i>	17+18	60.4
	7+9	22.9
	7+8	6.3
	6+19?	4.2
	7	4.2
	13+16	2.1
<i>Glu-D1</i>	5+10	97.9
	2+12	2.1

[¶] Las frecuencias fueron calculadas con base en los genotipos que no presentaron alelos dobles y triples.

Cuadro 2.3. Frecuencia de alelos de GBPM de genotipos de trigo usados como progenitores en el CEVAMEX-INIFAP.

GBPM		
Locus	Alelo	Frecuencia (%)
<i>Glu-A3</i>	c	54.2
	b	27.1
	e	12.5
	d	6.3
<i>Glu-B3</i>	h	43.8
	g	16.7
	c'	12.5
	b	10.4
	i	10.4
	j	4.2
<i>Glu-D3</i>	d	2.1
	b	64.6
	a	18.8
	c	16.7

^a Las frecuencias fueron calculadas con base en los genotipos que no presentaron alelos dobles y triples.

Cuadro 2.4. Combinaciones de GAPM (locus *Glu-1*) y GBPM (locus *Glu-3*) de los genotipos usados como progenitores en los diferentes cruzamientos.

Variedad	GAPM			GBPM		
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>
Salamanca S76 (G3)	2*	7+8	2+12	C	g	b
Gálvez M87(G2)	1	17+18	5+10	b	h	C
Bacanora [¶] T88(G4)	2*	7+9	5+10	C	j	b
Verano S91(G3)	2*	17+18	2+12	e	h	b
Rebeca F2000(G1)	1	17+18	5+10	C	g	b

G = grupo de calidad, [¶] = genotipo con translocación 1BL/1RS.

En los cruzamientos donde participó Bacanora T88 existen diferentes combinaciones con la translocación 1BL/1RS, lo cual permitirá evaluar su comportamiento reológico en fondos genéticos distintos y seleccionar líneas que desfavorezcan en menor grado la calidad del gluten asociadas a mejor adaptabilidad y rendimiento. De acuerdo con Martínez *et al.* (2007), existen en los trigos mexicanos combinaciones únicas de GAPM que favorecen la fuerza de la masa. Peña *et al.* (2004) y He *et al.* (2005) mencionan que las gliadinas y GBPM cambian la extensibilidad y fuerza de la masa. Lo anterior sugiere que dentro de las cruas analizadas existen combinaciones de GBPM y GAPM asociadas a propiedades reológicas específicas.

Cuadro 2.5. Frecuencia de combinaciones del complejo loci *Glu-1* (GAPM) y *Glu-3* (GBPM) de líneas derivadas de variedades de grupos contrastantes en calidad.

Cruza/combinación	GAPM			GBPM			F (%)	No. de líneas
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>		
Gálvez M87 × Bacanora T88								
1	1	17+18	5+10	c	h	b	12.5	7
2	2*	17+18	5+10	c	h	b	12.5	7
3	2*	17+18	5+10	b	h	c	10.7	6
4	1	17+18	5+10	c	h	c	8.9	5
5 [¶]	2*	7+9	5+10	c	j	b	7.1	4
Otras combinaciones							48.2	27
Salamanca S76 × Bacanora T88								
1	2*	7+8	5+10	c	g	b	34.4	22
2 [¶]	2*	7+9	2+12	c	j	b	23.4	15
3	2*	7+8	2+12	c	g	b	17.2	11
4 [¶]	2*	7+9	5+10	c	j	b	14.1	9
5	2*	7+9	5+10	c	g	b	7.8	5
Otras combinaciones							3.2	2

Continuación Cuadro 2.5

Cruza/combinación	GAPM			GBPM			F (%)	No. de líneas
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>		
Verano S91 × Salamanca S76								
1	2*	17+18	2+12	c	g	b	19.1	13
2	2*	7+8	2+12	c	g	b	16.2	11
3	2*	7+8	2+12	e	g	b	16.2	11
4	2*	17+18	2+12	e	h	b	14.7	10
5	2*	7+8	2+12	c	h	b	10.3	7
Otras combinaciones							23.5	16
Rebeca F2000 × Bacanora T88								
1	1	17+18	5+10	c	g	b	39	30
2	2*	17+18	5+10	c	g	b	32.5	25
3 [¶]	1	7+9	5+10	c	j	b	13	10
4 [¶]	2*	7+9	5+10	c	j	b	9.1	7
5	2*	7+9	5+10	c	g	b	3.9	3
Otras combinaciones							2.6	2

Continuación Cuadro 2.5

Cruza/combinación	GAPM			GBPM			F (%)	No. de líneas
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>		
Rebeca F2000 × Verano S91								
1	1	17+18	5+10	e	h	b	13	9
2	2*	17+18	2+12	c	h	b	10.1	7
3	2*	17+18	5+10	c	g	b	8.7	6
4	1	17+18	2+12	c	h	b	7.2	5
5	2*	17+18	2+12	e	g	b	7.2	5
Otras combinaciones							53.6	37
Gálvez M87 × Verano S91								
1	1	17+18	5+10	e	h	b	13.5	7
2	2*	17+18	2+12	e	h	c	13.5	7
3	2*	17+18	2+12	e	h	b	9.6	5
4	2*	17+18	5+10	b	h	c	9.6	5
5	1	17+18	2+12	b	h	b	9.6	5
Otras combinaciones							44.2	23

[¶] = translocación 1BL/1RS; F = frecuencia. Las frecuencias están calculadas con base en líneas no heterogéneas.

2.6 CONCLUSIONES

La caracterización de GAPM y GBPM de progenitores y líneas de trigo harinero mexicanos mostró una gran variabilidad de combinaciones de las proteínas de mayor relevancia en la calidad de panificación. Tal información puede ser usada como una herramienta para eficientizar la selección y realizar cruzamientos dirigidos a obtener calidad acorde con la demanda. Las líneas derivadas de las cruzas podrían utilizarse para entender, más específicamente, los efectos genéticos de las GBPM, ω -gliadinas y de la translocación 1BL/1RS en las propiedades reológicas de la masa y el volumen de pan.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CONACYT el financiamiento parcial (Proyecto: 067698) para la presente investigación.

2.7 Literatura Citada

- Branlard, G., M. Dardevet, N. Amieur and G. Igrejas. 2003. Allelic diversity of HMW and LMW glutenin subunits and omega-gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Gen. Res. Crop Evol.* 50: 669–679.
- Cassidy, B. G., J. Dvorak, and O. D. Anderson. 1998. The wheat low-molecular-weight glutenin genes: characterization of six genes and progress in understanding gene family structure. *Theor. Appl. Genet.* 96: 743–750.
- De la O, O. M., E. Espitia R., J. D. Molina G., R. J. Peña B., A. Santacruz V. y H. E. Villaseñor M. 2006. Efecto de diferentes subunidades de gluteninas-APM sobre la calidad panadera en trigos harineros mexicanos. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 291-297.
- Gupta, R. B., F. Bekes C. W. Wrigley and H. J. Moss. 1990. Prediction of wheat quality in breeding on the basis of LMW and HMW glutenins subunit composition. *In: Sixth Assembly of the Wheat Breeding Society of Australia.* Tamworth, NSW. pp. 217-225.
- Gupta, R. B. and K. W. Shepherd. 1992. Identification of rye chromosome 1R translocations and subunits in hexaploid wheats using storage proteins as genetic markers. *Plant Breed.* 109: 130-140.
- He, Z. H., L. Liu, X.C. Xia, J. J. Liu and R. J. Peña. 2005. Composition of HMW and LMW glutenin subunits and their effects on dough properties, pan bread, and noodle quality of chinese bread wheats. *Cereal Chem.* 82: 345–350.
- Jackson, E. A., M. H. Morel, T. Sontag-Strohm, G. Branlard, E. V. Metakovsky and R. Redaelli. 1996. Proposal for combining the classification systems of alleles of *Gli-1* and *Glu-3* loci in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Genet. Breed.* 50: 321-336.

- Liu, L., H. Z. He, Y. Yan, X. C. Xia and R. J. Peña. 2005. Allelic variations at the *Glu-1* and *Glu-3* loci, presence of the 1B.1R translocation, and their effects on mixographic properties in Chinese bread wheats. *Euphytica* 142: 197-204.
- Martínez, C. E., E. Espitia R., I. Benítez R., R. J. Peña B., A. Santacruz, V. y H. E. Villaseñor M. 2007. Efecto de gluteninas de alto peso molecular de los genomas A y B sobre propiedades reológicas y volumen de pan en trigos harineros. *Agrociencia* 41: 153-160.
- Payne, P. I. and G. J. Lawrence. 1983. Catalogue of alleles for the complex loci *Glu-A1*, *Glu-B1* and *Glu-D1*, which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. *Cereal Res. Commun.* 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 genetic linkage? *J. Cereal Sci.* 2: 73-81.
- Peña B., R. J., H. González S. and F. Cervantes. 2004. Relationship between *Glu-D1/GluB-3* allelic combinations and breadmaking quality-related parameters commonly used in wheat breeding. *In: In: The Gluten Proteins*. Lafandra, D., S. Masci and R. D'Ovidio (eds.). RSC Publishing, Cambridge. U. K. pp: 156–157.
- Rajaram, S. R. and H. J. Braun. 2008. Wheat yield potential. *In: International Symposium on Wheat Yield Potential: Challenges to International Wheat Breeding*. Reynolds, M. P. J. Pietragalla, and H. J. Braun (eds). CIMMYT. México, D. F. pp: 103-107.
- Shan, X., S. R. Clayshulte, S. D. Haley and P. F. Byrne. 2007. Variation for glutenin and waxy alleles in the US hard winter wheat germplasm. *J. Cereal Sci.* 45: 199–208.

Singh, N. K., K. W. Shepherd and G. B. Cornish. 1991. A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin. *J. Cereal Sci.* 14: 203-208.

Weegels, P. L., R. J. Hamer, and J. D. Schofield. 1996. Critical review: functional properties of wheat glutenin. *J. Cereal Sci.* 23: 1-18.

**III. DIFERENCIAS EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LA MASA DE LINEAS
RECOMBINANTES DE TRIGO. I. RELACIÓN CON LAS VARIANTES ALÉLICAS EN
LOS LOCI *Glu-1* y *Glu-3***

3.1 Resumen

El conocimiento del efecto de las variantes alélicas que controlan las gluteninas de alto (GAPM) y bajo peso molecular (GBPM) sobre las características viscoelásticas (fuerza y extensibilidad) de la masa de trigos harineros, es determinante en el mejoramiento de la calidad de panificación de las nuevas variedades de trigo para que se satisfagan las necesidades de calidad de la industria de la molienda y panificación. La influencia de las variantes alélicas de GAPM y GBPM sobre las propiedades viscoelásticas de la masa fueron evaluadas en los progenitores y en 98 líneas recombinantes derivadas de las cruzas Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora. Los genotipos fueron cultivados en Roque Guanajuato en el ciclo primavera-verano 2008. Las variables estudiadas fueron volumen de sedimentación, índice de sedimentación, tiempo de amasado, estabilidad al sobre amasado, y tolerancia al sobre amasado, fuerza general de la masa y la relación tenacidad-extensibilidad. Los alelos 1, 2*, 17+18 y 5+10 de GAPM favorecieron la calidad de la masa mientras que las variantes 2+12 y 7+9 se asociaron con valores bajos de fuerza del gluten. El Alelo 7+9 estuvo relacionado con genotipos que tendieron a formar masas tenaces (no extensibles). En la cruce Rebeca F2000 × Verano S91 los alelos *Glu-A3c*, *Glu-A3e*, *Glu-B3g* y *Glu-B3h* afectaron positivamente la calidad del gluten, mientras que en la cruce Gálvez M87 × Bacanora T88 las variantes alélicas *Glu-A3b*, *Glu-B3h*, y *Glu-D3c* se asociaron a parámetros superiores de calidad y su contraparte *Glu-A3c*, *Glu-B3j* y *Glu-D3b*, a parámetros inferiores de calidad.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., variantes de gluteninas, calidad de la masa.

3.2 Abstract

Knowledge about the effect of allelic variants controlling glutenins of high and low molecular weight (HMWG and LMWG) on the viscoelastic properties (strength and extensibility) of the dough of bread wheats is crucial in improving the baking quality of new varieties in order to meet the needs of the baking and milling industry. The influence of allelic variants of HMWG and LMWG on the viscoelastic properties of dough was evaluated in parents and 98 recombinants derived from the crosses Rebeca F2000 × Verano S91 and Galvez M87 × Bacanora T88. Genotypes were grown at Roque, Guanajuato in the 2008 spring-summer cycle. Traits studied were sedimentation volume, sedimentation rate, kneading time, over-kneading stability and tolerance to over-kneading, general strength of the dough and tenacity-extensibility ratio. HMWG alleles 1, 2*, 17+18 and 5+10 favored the quality of the dough and variants 2+12 and 7+9 were associated with low levels of gluten strength. 7+9 allele was associated with genotypes prone to form tenacious dough. Alleles *Glu-A3c*, *Glu-A3e*, *Glu-B3g* and *Glu-B3h* from the cross Rebeca F2000 × Verano S91 positively affected quality of gluten, while allelic variants *Glu-A3b*, *Glu-B3h* and *Glu-D3c* in the cross Galvez M87 × Bacanora T88, were associated with higher quality standards and its counterparts *Glu-A3c*, *Glu-B3j* and *Glu-D3b*, were associated to lower quality parameters.

Key words: *Triticum aestivum* L., glutenin variants, quality of the dough.

3.3 Introducción

En México el trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) se clasifica de acuerdo a la textura de grano y a la fuerza y extensibilidad del gluten en Grupo 1, grano de endospermo duro a semiduro y gluten fuerte y extensible con valores mayores de 300×10^{-4} J y de $P/L < 1$; Grupo 2, grano de endospermo duro a semiduro y gluten medio fuerte y extensible con valores de W entre 200 y 300×10^{-4} J y $P/L < 1$; Grupo 3, grano de endospermo semisuave a suave y gluten débil y extensible con valores de W menores a 200×10^{-4} J y $P/L < 1$; y Grupo 4 grano de endospermo duro a semiduro y gluten tenaz poco extensible con valores de $P/L > 1.2$. Las propiedades viscoelásticas (fuerza y extensibilidad) del gluten definen la calidad de las harinas y su manufactura en panes, galletas y repostería. A su vez la fuerza y extensibilidad del gluten depende de la presencia de alelos específicos de gliadinas y de gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM, respectivamente) (Flaete *et al.*, 2003; He *et al.*, 2005). El efecto individual y de combinación de las GAPM (complejo *Glu-1*) en trigos harineros mexicanos se ha distinguido principalmente por favorecer la fuerza de la masa (De la O *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2007; Espitia *et al.*, 2008).

Por su parte, las GBPM (complejo *Glu-3*) afectan principalmente la extensibilidad del gluten (Liu *et al.*, 2005). En trigos mexicanos se encontró que variaciones alélicas del ligamiento complejo *Gli-1/Glu3* (que controlan las ω -gliadinas y las GBPM, respectivamente) afectan la fuerza y la extensibilidad de la masa, dependiendo del fondo genético evaluado, es decir, de la presencia de GAPM (Martínez *et al.* 2007b); sin embargo, falta por definir el efecto individual de subunidades de gluteninas controladas por las variantes alélicas del complejo *Glu-3*, el cual lo conforman los loci *Glu-A3*, *Glu-B3* y *Glu-D3*. El conocimiento del efecto de estas variantes genéticas permitirá comprender mejor el comportamiento viscoelástico de la masa de panificación. Por lo anterior, el propósito de este estudio fue identificar el efecto de los alelos que

codifican para GAPM y GBPM de líneas derivadas de las cruzas Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora T88.

3.4 Materiales y Métodos

Material vegetal y su evaluación en campo

Se evaluaron los progenitores y 98 líneas F₆ derivadas de las cruzas Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora T88, los cuales contienen los alelos que se muestran en el Cuadro 3.1. Las líneas F₆ fueron obtenidas por descendencia de una sola semilla.

Cuadro 3.1. Subunidades de GAPM y GBPM de los progenitores usados en los cruzamientos del estudio.

Progenitor/locus	GAPM			GBPM		
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>
Rebeca F2000	1	17+18	5+10	c	g	b
Verano S91	2*	17+18	2+12	e	h	b
Gálvez M87	1	17+18	5+10	b	h	c
Bacanora T88	2*	7+9	5+10	c	j	b

En las líneas recombinantes F₆ de la craza Rebeca F2000 × Verano S91 fue posible estudiar comparativamente los efectos en parámetros de calidad de las variantes alélicas 1 vs. 2* (*Glu-A1*), 5+10 vs. 2+12 (*Glu-D1*), c vs. e (*Glu-A3*) así como g vs. h (*Glu-B3*); mientras que en

líneas derivadas de Gálvez M87 × Bacanora T88 se compararon los efectos de los alelos 1 vs. 2* (*Glu-A1*), 17+18 vs. 7+9 (*Glu-B1*), b vs. c (*Glu-A3*), h vs. j (*Glu-B3*) y c vs. b (*Glu-D3*).

Los materiales fueron sembrados en Roque Guanajuato en el ciclo primavera-verano 2008 en un diseño experimental fue de bloques completos al azar con dos repeticiones. La unidad experimental consistió de cuatro surcos de 3 m de longitud y una separación de 30 cm.

Variables de calidad evaluados

La determinación de variantes alélicas que determinan la composición de GAPM y GBPM presentes en los genotipos y la evaluación de variables relacionadas con las propiedades viscoelásticas de la masa se llevó a cabo en el Laboratorio de Calidad Industrial de Trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El volumen de sedimentación (SED) en 1 g de harina refinada se efectuó de acuerdo con el método descrito por Peña *et al.* (1990). El índice de sedimentación (IS) fue determinado como la relación entre volumen de sedimentación y contenido de proteína. El tiempo de amasado (o desarrollo de masa, TA), estabilidad al amasado (EA) y la tolerancia al sobre amasado (TSA), fueron determinados en 35 g de harina refinada en el mixógrafo de Swanson (National Mfg., EUA), siguiendo el método 54-40A (AACC, 2005). Valores altos en tiempo y estabilidad al amasado y valores bajos en tolerancia al sobre amasado se asocian con mayor fuerza de masa. Se determinaron las propiedades viscoelásticas (fuerza y extensibilidad) de la masa a partir de 50 g de harina refinada en el Alveógrafo de Chopin (Trippette & Renaud, Francia), con el método 54-30A (AACC, 2005); la fuerza general de la masa (W) y la relación de tenacidad/extensibilidad (P/L) se calcularon a partir del alveograma. Los progenitores de las cruzas analizadas tienen la siguiente clasificación de calidad: Rebeca F2000 (Grupo 1), Gálvez M87 (Grupo 2), Verano S91 (Grupo 3) y Bacanora T88 (Grupo 4). El análisis electroforético de las variantes alélicas se realizó con el

método de Peña *et al.* (2004). Las GAPM (loci *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1*) se identificaron con base en la nomenclatura propuesta por Payne y Lawrence (1983) y las GBPM, (loci *Glu-A3* y *Glu-B3*) de acuerdo con Singh *et al.* (1991), Jackson *et al.* (1996) y Branlard *et al.* (2003). Para el locus *Glu-D3* se usó la nomenclatura propuesta por Branlard *et al.* (2003).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza general para cada una de las cruzas (Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora T88) considerando todas las variables analizadas. La fuente de variación “genotipos” se agrupó y se realizó un análisis de varianza adicional para obtener los cuadrados medios respectivos por combinación y locus. También se realizó la comparación de medias, mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), utilizando el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 2002 para determinar las diferencias entre loci).

3.5 Resultados y Discusión

Las líneas de la progenie de los cruzamientos Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora T88, mostraron de manera general valores mínimos y máximos, para cada uno de las variables de calidad, de mayor amplitud que los progenitores (Cuadros 3.2 y 3.3); esto como resultado de recombinación de alelos favorables o desfavorables de gluteninas de APM y BPM, propio de los progenitores de cada craza, que influyen en la determinación de las propiedades reológicas de la masa. Esta amplia variación en cuanto a los valores de las variables de calidad, producto de los contrastes alélicos entre progenitores (Cuadro 3.1), permite analizar el efecto individual y en combinación de las variantes alélicas sobre la calidad del gluten.

Cuadro 3.2. Variación poblacional de parámetros de calidad de líneas derivadas de Rebeca F2000 × Verano S91. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.

Progenitores	Variables						
	SED	IS	TA	EA	TSA	W	PL
Rebeca F2000	14.6	1.4	3.2	3.9	11.3	339.0	1.0
Verano S91	10.6	1.0	1.3	1.9	16	183.0	1.0
Progenie							
Promedio	13.5	1.2	2.9	2.7	12.5	299.5	0.7
Mínimo	9.0	0.9	1.3	1.4	4.0	127.0	0.2
Máximo	19.5	1.6	5.2	5.3	23.0	569.0	1.4
Desviación estándar	2.3	0.2	0.8	0.8	4.1	96.6	0.3

SED = Volumen de sedimentación (mL), IS = Índice de sedimentación, TA = Tiempo de amasado (min), EA = Estabilidad al amasado (min), TSA = Tolerancia al sobre amasado (mm), W = Fuerza general de la masa ($\times 10^{-4}$ J) y P/L = Tenacidad-extensibilidad.

Cuadro 3.3. Variación poblacional de parámetros de calidad de líneas derivadas de Gálvez M87
 × Bacanora T88. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.

Progenitores	Variable						
	SED	IS	TA	EA	TSA	W	PL
Gálvez M87	13.3	1.3	3.0	4.7	7.0	373.6	0.6
Bacanora T88	9.1	0.8	1.7	2.1	14.0	178.7	2.0
Progenie							
Promedio	11.8	1.2	3.1	4.2	7.6	268.5	0.7
Mínimo	7.0	0.8	1.7	1.9	2.0	124.0	0.3
Máximo	19.0	1.7	5.4	6.0	16.0	441.0	2.7
Desviación estándar	2.6	0.2	0.7	1.1	3.1	79.5	0.4

SED = Volumen de sedimentación (mL), IS = Índice de sedimentación, TA = Tiempo de amasado (min), EA = Estabilidad al amasado (min), TSA = Tolerancia al sobre amasado (mm), W = Fuerza general de la masa ($\times 10^{-4}$ J) y P/L = Tenacidad-extensibilidad.

Cruza Rebeca F2000 × Verano S91

En el Cuadro 3.4 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza por genotipos, por combinaciones de gluteninas APM y BPM y por locus (*Glu-A1*, *Glu-D1*, *Glu-A3* y *Glu-B3*), en relación a las variables de calidad de las líneas derivadas de la cruce Rebeca F2000 × Verano S91. Se encontraron diferencias altamente significativas para todas las variables evaluadas en relación a genotipos, combinaciones y los loci *Glu-D1* y *Glu-A3*. En el caso de los loci *Glu-A1* y *Glu-B3*, se observaron diferencias significativas sólo para algunas variables. Para el locus *Glu-A1* no se encontraron diferencias significativas para volumen de sedimentación (SED) y tenacidad-extensibilidad (P/L) mientras que para el locus *Glu-B3* no hubo diferencias significativas en cuanto a volumen de sedimentación, tiempo de amasado (TA), fuerza general de la masa (W) y la relación tenacidad-extensibilidad. De manera general estos resultados indican que dentro de la cruce Rebeca F2000 × Verano S91, la progenie muestra un comportamiento diferencial en todas las variables relacionadas con la viscoelasticidad de la masa, lo cual se relaciona con las diferentes combinaciones de GAPM y BPM, con una influencia debida mayormente a las variaciones alélicas en los loci *Glu-D1* y *Glu-A3*.

Cuadro 3.4. Cuadrados medios del análisis de varianza por genotipos, combinación y por locus, con relación a las variables de calidad de líneas derivadas de Rebeca F2000 × Verano S91. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.

Fuente de Variación	GL	Variables						
		SED	IS	TA	EA	TSA	W	P/L
Genotipo	38	15.2**	0.09**	1.7**	1.9**	46.8**	24420.1**	0.14**
Combinación	9	38.3**	0.28**	4.7**	4.7**	89.2**	64942.1**	0.29**
<i>Glu-A1</i>	1	16.1ns	0.18*	21.3**	25.3**	294.2**	235470.4**	0.04ns
<i>Glu-D1</i>	1	220.2**	1.5**	34.6**	25.2**	654.9**	487470.9**	0.62**
<i>Glu-A3</i>	1	254.2**	2.13**	9.0**	9.3**	147.8**	104213.7**	0.08**
<i>Glu-B3</i>	1	6.0ns	0.26**	0.86ns	4.9**	83.0**	7651.1ns	0.2ns
Error [¶]	75	0.5	0.005	0.03	0.05	1.7	1884	0.02

*, **, Significativas con $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente; ns = no significativo; GL: grados libertad; [¶]error del análisis general; SED = Volumen de sedimentación, IS = Índice de sedimentación, TA = Tiempo de amasado, EA = Estabilidad al amasado, TSA = Tolerancia al sobre amasado, W = Fuerza general de la masa y P/L = Tenacidad-extensibilidad.

En el análisis comparativo de la influencia de las variaciones alélicas del locus *Glu-A1* sobre las variables de calidad, se observó que los alelos 1 y 2* no influenciaron diferencialmente las variables SED, IS y P/L (Cuadro 3.5). En contraste, el alelo 1 se asoció con valores más altos de TA, EA y W que el alelo 2*, mientras que lo contrario ocurrió en el caso de TSA (Cuadro 3.5). Lo anterior concuerda con los resultados de He *et al.* (2005) y Espitia *et al.* (2008) quienes reportaron que el alelo 1 favorece las propiedades viscoelásticas de la masa y contradice lo afirmado por Martínez *et al.* (2007a), quienes reportaron efectos similares de ambas subunidades. Una posible explicación a estas diferencias puede ser el uso de progenitores diferentes que dieron origen a los materiales evaluados. En el caso de las variaciones alélicas del locus *Glu-D1*, el alelo 5+10 se asoció consistentemente con valores más altos de fuerza de la masa que 2+12 (Cuadro 3.5). El grupo con el alelo 5+10 mostró un valor promedio de TSA menor al que mostró el grupo con 2+12 (Cuadro 3.5). Lo anterior concuerda con lo reportado por varios investigadores (Luo *et al.*, 2001; Peña *et al.*, 2004; He *et al.*, 2005; De la O *et al.*, 2006; Nishio *et al.*, 2007; Espitia *et al.*, 2008), quienes asociaron a las subunidades 5+10 y 2+12 con valores altos y bajos de fuerza del gluten, respectivamente.

Cuadro 3.5. Medias de líneas de alelos de GAPM de variables viscoelásticas de la masa derivadas de Rebeca F2000 × Verano S91. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.

Variable	Locus <i>Glu-A1</i>			Locus <i>Glu-D1</i>		
	Alelos		DSH	Alelos		DSH
	1	2*		5+10	2+12	
Volumen de sedimentación (mL)	13.9	13.1	0.84	14.3	11.1	0.78
Índice de sedimentación	1.2	1.2	0.07	1.3	1.0	0.06
Tiempo de amasado (min)	3.3	2.5	0.24	3.2	2.0	0.23
Estabilidad al amasado (min)	3.2	2.2	0.25	3.0	1.9	0.28
Tolerancia al sobre amasado (mm)	10.9	14.1	1.38	11.1	16.5	1.40
Fuerza de la masa (10^{-4} J)	345.4	255.3	31.7	337.9	189.8	30.2
Tenacidad-extensibilidad	0.7	0.7	0.94	0.7	0.6	0.10

DSH = Diferencia significativa honesta.

Al comparar las variantes alélicas del locus *Glu-A3*, se observó que el alelo *Glu-A3c* se asoció con valores más elevados de SED, IS, TA, EA y W que el alelo *Glu-A3e*. Adicionalmente, *Glu-A3c* mostró un valor promedio de TSA menor al mostrado por el alelo *Glu-A3e* (Cuadro 3.6). De aquí se infiere que los alelos *Glu-A3c* y *Glu-A3e* son típicos de trigos con gluten fuerte y medio fuerte, respectivamente, lo cual concuerda con lo reportado en la literatura para estos alelos (Branlard *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2005; Luo *et al.*, 2001; Flaete *et al.*, 2003; Wesley *et al.*, 1999). Ambas variantes alélicas, *Glu-A3c* y *Glu-A3e*, se relacionaron con masas extensibles, tal como lo indican sus valores promedio de P/L inferiores a la unidad (Cuadro 3.6). En el caso de las variantes encontradas en el locus *Glu-B3*, los alelos *Glu-B3g* y *Glu-B3h* se asociaron con trigos de gluten fuerte y extensible (Cuadro 3.6), lo cual concuerda con Wesley *et al.* (2001), Peña *et al.* (2004) y Meng *et al.* (2007) quienes recomendaron estos alelos como mejoradores de la fuerza de la masa.

Cuadro 3.6. Medias de líneas con alelos de GBPM de variables viscoelásticas de la masa derivadas de Rebeca F2000 × Verano S91. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.

Variable	Locus <i>Glu-A3</i>			Locus <i>Glu-B3</i>		
	Alelos		DSH	Alelos		DSH
	c	e		g	h	
Volumen de sedimentación (mL)	15.0	12.0	0.65	13.7	13.2	0.85
Índice de sedimentación	1.3	1.1	0.05	1.2	1.1	0.07
Tiempo de amasado (min)	3.2	2.6	0.27	3.0	2.8	0.28
Estabilidad al amasado (min)	3.0	2.4	0.28	2.9	2.5	0.29
Tolerancia al sobre amasado (mm)	11.4	13.6	1.45	11.7	13.4	1.47
Fuerza de la masa (10^{-4} J)	330.6	270.7	34.17	307.4	291.2	35.84
Tenacidad-extensibilidad	0.7	0.7	0.09	0.7	0.7	0.09

DSH = Diferencia significativa honesta.

Cruza Gálvez M87 × Bacanora T88

En el Cuadro 3.7 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza por genotipos, combinaciones de gluteninas APM y BPM y por locus (*Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-A3*, *Glu-B3* y *Glu-D3*), en relación con las variables de calidad de las líneas derivadas de la cruce Gálvez M87 × Bacanora T88. Se observaron diferencias altamente significativas para todas las variables estudiadas relacionadas con genotipos, combinaciones de gluteninas, y los loci *Glu-B1*, *Glu-A3*, *Glu-B3* y *Glu-D3*. En contraste con lo observado sobre la influencia de las variaciones alélicas asociadas con el locus *Glu-D3*, Meng *et al.* (2007) encontraron que los alelos *Glu-D3c* y *Glu-D3a* no correlacionaron significativamente con variables de calidad de la masa. No se encontraron diferencias significativas en las variables SED, IS, EA, y TSA y las variantes alélicas del locus *Glu-A1*; en cambio, se encontraron diferencias altamente significativas para TA, W, y P/L.

Cuadro 3.7. Cuadros medios del análisis de varianza por genotipos, combinaciones y por locus con relación a las variables de calidad de líneas derivadas de Gálvez M87 × Bacanora T88. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.

Factor de Variación	GL	Variables						
		SED	IS	TA	EA	TSA	W	P/L
Genotipo	48	18.5**	0.11**	1.4**	3.3**	25.7**	16658.6**	0.31**
Combinación	17	42.1**	0.26**	3.0**	7.6**	52.9**	37141.3**	0.65**
<i>Glu-A1</i>	1	23.2ns	0.10ns	7.1**	0.28ns	1.1ns	105903.7**	0.52*
<i>Glu-B1</i>	1	372.5**	2.3**	7.2**	30.4**	312.6**	218843.6**	2.1**
<i>Glu-A3</i>	1	14.0**	0.42**	7.5**	21.3**	76.5**	21263.1**	0.13**
<i>Glu-B3</i>	1	372.5**	2.3**	7.2**	30.4**	312.6**	218843.6**	2.1**
<i>Glu-D3</i>	1	103.6**	1.1**	20.9**	55.9**	313.0**	242848.0**	0.11**
Error [¶]	94	0.9	0.004	0.03	0.1	2.1	1220	0.03

*, **, Significativas con $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente; GL: grados libertad; [¶] Error del análisis general; SED = Volumen de sedimentación, IS = Índice de sedimentación, TA = Tiempo de amasado, EA = Estabilidad al amasado, TSA = Tolerancia al sobre amasado, W = Fuerza general de la masa y P/L = Tenacidad-extensibilidad.

Al agrupar las líneas de la cruce Gálvez M87 × Bacanora T88 por los alelos 1 y 2*, ambos grupos alélicos mostraron valores similares para todas las variables, los cuales corresponden a trigos que producen masas medio fuertes y extensibles (Cuadro 3.8); aunque, estadísticamente el grupo correspondiente al alelo 1 se relacionó con mayor fuerza (W) y extensibilidad (menor P/L) de gluten que el grupo representante del alelo 2*. El grupo de líneas representantes del alelo 17+18 mostró valores más altos de SED, IS, TA, EA, y W, así como un valor menor de P/L que el grupo representante de la variante 7+9, indicando que en esta población la presencia del alelo de GAPM 17+18 es más favorable que 7+9 en cuanto a fuerza y extensibilidad. Lo anterior está de acuerdo con lo señalado por Branlard *et al.* (2001) y Martínez *et al.* (2007b), quienes encontraron que el alelo 17+18 contribuye positivamente con la fuerza y extensibilidad del gluten.

Cuadro 3.8. Medias de líneas con alelos de GAPM de variables viscoelásticas de la masa derivadas de Gálvez M87 × Bacanora T88. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.

Variable	Locus <i>Glu-A1</i>			Locus <i>Glu-B1</i>		
	Alelos		DSH	Alelos		DSH
	1	2*		7+9	17+18	
Volumen de sedimentación (mL)	12.3	11.5	0.85	9.3	12.8	0.74
Índice de sedimentación	1.2	1.2	0.07	1.0	1.3	0.06
Tiempo de amasado (min)	3.4	2.9	0.22	2.8	3.3	0.24
Estabilidad al amasado (min)	4.2	4.1	0.37	3.4	4.4	0.37
Tolerancia al sobre amasado (mm)	7.5	7.7	1.05	9.9	6.6	1.02
Fuerza de la masa (10^{-4} J)	299.5	245.3	24.8	207.5	292.9	25.2
Tenacidad-extensibilidad	0.6	0.8	0.12	0.9	0.6	0.12

DSH = diferencia significativa honesta.

En el locus *Glu-A3*, ambas variantes alélicas, *Glu-A3b* y *Glu-A3c* mostraron valores similares para todas las variables evaluadas, correspondientes a gluten medio fuerte y extensible (Cuadro 3.9); sin embargo, el alelo *Glu-A3b* tuvo valores significativamente mayores que *Glu-A3c* para IS, TA, EA, y W. Lo anterior concuerda con lo encontrado por Branlard *et al.* (2001), quienes señalaron que ambos alelos contribuyen favorablemente a la calidad de la masa. En las variantes alélicas del locus *Glu-B3*, los genotipos agrupados por el alelo *Glu-B3h* mostraron valores más altos de fuerza y se asociaron con gluten de mejor extensibilidad que el grupo contrastante, *Glu-B3j* (Cuadro 3.9). El grupo correspondiente a *Glu-B3j* se asoció con valores bajos de fuerza de gluten, correspondientes a gluten medio débil y de extensibilidad limitada, lo cual concuerda con lo reportado por Peña *et al.* (2004), Liu *et al.* (2005), He *et al.* (2005) y Gobaa *et al.* (2008). En el caso de las variantes del locus *Glu-D3*, el alelo *Glu-D3c* se asoció a masas con gluten fuerte y extensible (Cuadro 3.9), lo cual es contrario a lo observado por Branlard *et al.* (2001) y Gobaa *et al.* (2008), quienes asociaron al alelo *Glu-D3b* con valores bajos de fuerza. El alelo *Glu-D3b* mostró valores característicos de gluten medio fuerte y extensible, lo que concuerda con Branlard *et al.* 2001, pero no con Gobaa *et al.* (2008) quienes asociaron a este alelo con gluten débil. Por otro lado, Luo *et al.* (2001) encontraron valores similares de tiempo de amasado; mientras que Meng *et al.* (2007) mencionaron que el alelo *Glu-D3c* no correlacionó significativamente con volumen de sedimentación, fuerza de la masa, tenacidad ni extensibilidad.

Cuadro 3.9. Medias de líneas con alelos de GBPM de variables viscoelásticas de la masa derivadas de Gálvez M87 × Bacanora T88. Roque, Guanajuato. México. Primavera-verano, 2008.

Variable/Alelos	Locus <i>Glu-A3</i>		Locus <i>Glu-B3</i>			Locus <i>Glu-D3</i>			
	Alelos		DSH	Alelos		DSH	Alelos		DSH
	b	c		h	j		b	c	
Volumen de sedimentación (mL)	12.1	11.5	0.85	12.8	9.3	0.74	11.0	12.7	0.81
Índice de sedimentación	1.3	1.2	0.06	1.3	1.0	0.05	1.1	1.3	0.06
Tiempo de amasado (min)	3.4	2.9	0.22	3.3	2.8	0.24	2.8	3.5	0.19
Estabilidad al amasado (min)	4.5	3.8	0.34	4.5	3.5	0.36	3.5	4.8	0.3
Tolerancia al sobre amasado (mm)	6.9	8.3	1.0	6.7	9.9	1.0	9.0	6.0	0.92
Fuerza de la masa (10^{-4} J)	280	256	25.8	292	207	25.0	228	310	22.3
Tenacidad-extensibilidad	0.7	0.7	0.12	0.6	0.9	0.12	0.7	0.7	0.12

DSH = diferencia significativa honesta.

3.6 Conclusiones

En las líneas obtenidas de Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora T88, se observó que los alelos 1 y 2* del locus *Glu-1A* consistentemente favorecieron la calidad de la masa. En la cruce Rebeca F2000 × Verano S91 se confirmó el efecto positivo del alelo 5+10 y desfavorable del 2+12 sobre las propiedades viscoelásticas del gluten. En esta misma cruce, tanto los alelos *Glu-A3c*, *Glu-A3e* como los alelos *Glu-D3g* y *Glu-D3h* afectaron positivamente la calidad del gluten. Dentro de la progenie de la cruce Gálvez M87 × Bacanora T88, el alelo *Glu-B1* 17+18 mostró valores superiores de fuerza y extensibilidad que los obtenidos en líneas con 7+9, subunidad relacionada en esta cruce con gluten medio débil y con extensibilidad limitada. Las variantes alélicas *Glu-A3b*, *Glu-B3h* y *Glu-D3c*, se asociaron con parámetros superiores de calidad respecto a su contraparte *Glu-A3c*, *Glu-B3j* y *Glu-D3b* presentes en los loci *Glu-A3*, *Glu-B3* y *Glu-D3*, respectivamente. De aquí se infiere que es necesario determinar el efecto sobre la calidad del gluten de las subunidades de gluteninas de APM y BPM por combinación y evaluar, en el caso de la cruce Gálvez M87 × Bacanora T88, la presencia desfavorable del alelo *Glu-B3j* asociado con la translocación 1B/1R, en fondos genéticos diversos que demeriten en menor grado la fuerza y extensibilidad de la masa.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CONACYT el financiamiento parcial (Proyecto: 067698) para la presente investigación.

3.7 Literatura Citada

- AACC, 2005. Approved Methods of the AACC. 9th edition. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
- Branlard, G., M. Dardevet, N. Amiour and G. Igrejas. 2003. Allelic diversity of HMW and LMW glutenin subunits and omega-gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Gen. Res. Crop Evol. 50: 669–679.
- Branlard, G., M. Dardevet, R. Saccomano, F. Lagoutte and J. Gourdon. 2001. Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. Euphytica 119: 59-67.
- De la O, O. M., E. Espitia R., J. D. Molina G., R. J. Peña B., A. Santacruz V. y H. E. Villaseñor M. 2006. Efecto de diferentes subunidades de gluteninas-APM sobre la calidad panadera en trigos harineros mexicanos. Revista Fitotecnia Mexicana 29: 291-297.
- Espitia R., E., E. Martínez C., R. J. Peña B., H. E. Villaseñor M. y J. Huerta E. 2008. Polimorfismo de gluteninas de alto peso molecular y su relación con trigos harineros para temporal. Agricultura Técnica en México 34: 57-67.
- Flaete, N. E. S. and A. K. Uhlen. 2003. Association between allelic at the combined *Gli-1*, *Glu-3* loci and protein quality in common wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Cereal Science 37: 129-137.
- Gobaa, S., C. Brabant, G. Kleijer, and P. Stamp. 2008. Effect of the 1BL.1RS translocation and of the *Glu-B3* variation on fifteen quality tests in a doubled haploid population of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Cereal Science 48: 598-603.

- He, Z. H., L. Liu, X. C. Xia, J. J. Liu and R. J. Peña. 2005. Composition of HMW and LMW glutenin subunits and their effects on dough properties, pan bread, and noodle quality of chinese bread wheats. *Cereal Chemistry* 82: 345–350.
- Jackson, E. A., M. H. Morel, T. Sontag-Strohm, G. Branlard, E. V. Metakovsky and R. Redaelli. 1996. Proposal for combining the classification systems of alleles of *Gli-1* and *Glu-3* loci in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Genet. Breed.* 50: 321-336.
- Liu, L., H. Z. He, Y. Yan, X. C. Xia and R. J. Peña. 2005. Allelic variations at the *Glu-1* and *Glu-3* loci, presence of the 1B.1R translocation, and their effects on mixographic properties in Chinese bread wheats. *Euphytica* 142: 197-204.
- Luo, C., W. B. Griffin, G. Branlard, D. L. McNeil. 2001. Comparison of low and high molecular weight wheat glutenin allele effects on flour quality. *Theor. Appl. Genet.* 102: 1088-1098.
- Martínez C., E., E. Espitia R., I. Benítez R., R. J. Peña B., A. Santacruz V. y H. E. Villaseñor M. 2007a. Efecto de gluteninas de alto peso molecular de los genomas A y B sobre propiedades reológicas y volumen de pan en trigos harineros. *Agrociencia* 41: 153-160.
- Martínez C., E., E. Espitia R., I. Benítez R., R. J. Peña B., A. Santacruz V. y H. E. Villaseñor M. 2007b. El complejo GLI-1/GLU-3 y las propiedades reológicas y volumen de pan de trigos harineros. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (2): 167-172.
- Meng, X. G., F. Xie, X. W. Shang and L. Z. An. 2007. Association between allelic variations at the *Glu-3* loci and wheat quality traits with lanzhou alkaline stretched noodles quality in northwest China spring wheats. *Cereal Res. Commun.* 35: 109-118.

- Nishio, Z., K. Takata, M. Ito, T. Tabiki, T. M. Ikeda, Y. Fujita, W. Maruyama-Funatsuki, N. Iriki and H. Yamauchi. 2007. Small-scale bread-quality-test performance heritability in bread wheat: influence of high molecular weight glutenin subunits and the 1BL.1RS translocation. *Crop Science* 47: 1451-1458.
- Payne, P. I. and G. J. Lawrence. 1983. Catalogue of alleles for the complex loci *Glu-A1*, *Glu-B1* and *Glu-D1*, which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. *Cereal Reser. Commun.* 11: 29-35.
- Peña R., J., A. Amaya, S. Rajaram and A. Mujeeb-Kazi. 1990. Variation in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *Journal of Cereal Science* 12: 105-112.
- Peña, R. J., H. González S., and F. Cervantes. 2004. Relationship between *Glu-D1/GluB-3* allelic combinations and breadmaking quality-related parameters commonly used in wheat breeding. *In: The Gluten Proteins*. Lafiandra, D., S. Masci and R. D'Ovidio (eds.). RSC Publishing, Cambridge.UK.pp:156–157
- SAS Institute. 2002. SAS/STAT User's Guide: GLM VARCOMP. 6.04. Fourth ed. Cary, NC, USA. p: 996.
- Singh, N. K., K. W. Shepherd and G. B. Cornish. 1991. A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin. *Journal Cereal Science* 14: 203-208.
- Wesley, A. S., O. M. Lukow, N. Ames, M. I. P. Kovacs, R. I. H. McKenzie and D. Brown 1999. Effect of single substitution of glutenin or gliadin proteins on flour quality of Alpha 16, a Canada prairie spring wheat breeders' line. *Cereal Chemistry* 76(5): 743-747.

Wesley, A. S., O. M. Lukow, R. I. H. McKenzie, N. Ames and D. Brown. 2001. Effect of multiple substitution of glutenin and gliadin proteins on flour quality of Canada prairie spring wheat. *Cereal Chemistry* 78(1): 69-73.

**IV. DIFERENCIAS EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LA MASA DE LINEAS
RECOMBINANTES DE TRIGO. II. RELACION CON COMBINACIONES DIVERSAS
DE LOS LOCI *Glu-1* y *Glu-3***

Artículo en revisión en la revista AGROCIENCIA.

4.1 Resumen

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de las combinaciones de gluteninas de alto peso molecular (GAPM) y bajo (GBPM) sobre la reología del gluten de los progenitores y de 98 líneas F₆, obtenidas de las cruzas Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora T88. Los genotipos se sembraron en Roque, Guanajuato en el ciclo Primavera-verano 2008. Los genotipos se analizaron en relación con variables asociadas con la fuerza y la extensibilidad de masa, utilizando la prueba de sedimentación (volumen e índice sedimentación), el Mixógrafo National (tiempo de amasado, estabilidad al amasado, tolerancia al sobre amasado) y el alveógrafo Chopin (fuerza general de la masa, W y la relación tenacidad-extensibilidad, P/L). Para efectuar el análisis, las progenies fueron agrupadas de acuerdo a combinaciones de GAPM y GBPM. En la craza Rebeca F2000 × Verano S91 la combinación *Glu-1*: 2*, 17 +18, 5+10 con *Glu-3*: c, h, b se caracterizó por gluten medio fuerte y extensible, lo cual también caracterizó a la combinación de Rebeca F2000 (1, 17+18, 5+10, c, g, b). Por otro lado, la combinación 2*, 17+18, 2+12, e, g, b de las líneas recombinantes similares a Verano S91 se agruparon como de gluten débil y extensible. De manera general las combinaciones recombinantes derivadas de la craza Gálvez M87 x Bacanora T88 se clasificaron como de gluten medio fuerte a fuerte y extensible por su W y P/L. La combinación 1, 17+18, 5+10 b, h, c, la cual corresponde a Gálvez M87, fue la de mayor fuerza de la masa. La combinación 1, 7+9, 5+10, c, j, c, mostró características favorables de gluten a pesar de tener la translocación 1B/1R, lo cual indica que a través del fitomejoramiento es posible aminorar su efecto negativo.

Palabras Clave: *Triticum aestivum* L., combinación alélica de gluteninas de alto y bajo peso molecular, propiedades reológicas de la masa.

4.2 Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of combinations of high (HMWG) and low (LMWG) molecular weight glutenins on the gluten rheology of 98 lines F₆, obtained from the crosses Rebeca F2000 × Verano S91 and Galvez M87 × Bacanora T88 and progenitors. Genotypes were grown at Roque, Guanajuato during the 2008 Spring-summer cycle. Genotypes was analyzed for variables associated with the strength and extensibility of dough, using the sedimentation test (volume and sedimentation rate), the National Mixograph (kneading time, knading stability, tolerance to over kneading) and Chopin Alveograph (general strength of the dough, W and tenacity-extensibility ratio, P/L). To perform the analysis progenies were grouped according to combinations of HMWG and LMWG. In the cross Rebeca F2000 × Verano S91 combination *Glu-1*: 2*, 17+18, 5+10 with *Glu-3*: c, h, b is characterized by medium strong and extensible gluten, as is the combination 1, 17+18, 5+10, c, g, b from Rebeca F2000. Furthermore, the combination 2 *, 17 +18, 2 +12, e, g, b from recombinant lines similar to Verano S91 were grouped as weak and extensible gluten. In general, recombinant combinations derived from the Galvez M87 × Bacanora T88 cross were classified as medium strong to strong and extensible gluten by their W and P/L. Combination 1, 17 +18, 5 +10, b, h, c, which corresponds to Galvez M87, resulted in the greatest strength of the dough. Combination 1, 7 +9, 5 +10, c, j, c, showed favorable characteristics of gluten despite of having the 1B/1R translocation, suggesting that such a negative effect could be lessen through plant breeding.

Key words: *Triticum aestivum* L., allelic glutenin combinations of high and low molecular weight, rheological properties of dough.

4.3 Introducción

De acuerdo a la clasificación de la calidad de la masa, en México principalmente se producen variedades de gluten fuerte y extensible (Grupo 1), gluten medio fuerte y extensible (Grupo 2), gluten débil y extensible (Grupo 3). En pocas ocasiones se podría producir trigo de gluten tenaz poco extensible (Grupo 4). Las propiedades reológicas (fuerza y extensibilidad) de la masa son altamente afectadas por las variantes alélicas de gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM) (He *et al.*, 2005). En algunas variedades mexicanas se han identificado los alelos de GAPM, así como su efecto en las características reológicas de la masa y en el volumen de pan (Martínez *et al.*, 2007a; Martínez *et al.*, 2007b). Martínez *et al.* (2007b) estudiaron líneas recombinantes derivadas de la cruce entre las variedades Rebeca F2000 x Baviacora M92 y Rebeca F2000 x Gálvez M87; encontrando una amplia variación de variables reológicas asociados a la presencia de ciertos alelos de GAPM y GBPM. Sin embargo, las propiedades viscoelásticas (reológicas) de las masas, relacionadas directamente con las propiedades del gluten, están determinadas por combinaciones diversas de GAPM, GBPM y gliadinas. Por lo tanto, es necesario conocer los efectos que las diferentes combinaciones de alelos de gluteninas y gliadinas ejercen sobre las propiedades del gluten, para entender mejor cuáles combinaciones de subunidades o variantes alélicas resultan en trigos de buenas propiedades reológicas y buena calidad de panificación.

De manera general el complejo *Glu-3* que codifica para las GBPM se asocia significativamente con la extensibilidad de la masa (Peña *et al.*, 2004); sin embargo, se desconoce el efecto de combinaciones específicas de GBPM y GAPM sobre las características de fuerza y extensibilidad de la masa, por lo que el objetivo de esta investigación fue analizar el efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre las propiedades de fuerza y extensibilidad de la masa de líneas F₆ derivadas de variedades pertenecientes a grupos contrastantes de calidad de gluten.

4.4 Materiales y Métodos

Material vegetal y su evaluación en campo

Se utilizaron 98 líneas F₆ derivadas por descendencia de una sola semilla, por cruza y sus progenitores, proveniente de Rebeca F2000 (Grupo 1) × Verano S91 (Grupo 3) y Gálvez M87 (Grupo 2) × Bacanora T88 (Grupo 4). Los materiales fueron sembrados en Roque Guanajuato en el ciclo primavera-verano 2008/2009. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con dos repeticiones y la unidad experimental consistió de cuatro surcos de 3 m largo con una separación de 30 cm entre surcos.

Análisis de laboratorio

El análisis electroforético de las GAPM y GBPM, la obtención de harina refinada, así como los análisis reológicos de la masa se realizaron en el Laboratorio de Calidad Industrial de Trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Las muestras de grano se molieron en un molino Brabender Quadramat Jr. (C.W. Brabender OHG, Germany); utilizando un cernido a través de dos mallas de diámetros 183 μ y 129 μ para la obtención de harina refinada. Se midió volumen de sedimentación en 1 g de harina refinada con el método de Peña *et al.* (1990) y se calculó el índice de sedimentación dividiendo el volumen de sedimentación entre el porcentaje de proteína en harina refinada, determinada en un equipo NIR Systems (FOSS-TECATOR, Suecia). Las variables de amasado o mezclado (tiempo de amasado, estabilidad al amasado y la tolerancia al sobre amasado) se determinaron en el mixógrafo de Swanson (National Mfg., EE.UU) en 35 g de harina refinada con el método 54-40A de la AACC (AACC, 2005). Valores altos en tiempo de amasado y estabilidad indican mayor fuerza, mientras que valores bajos en tolerancia al sobre amasado se asocian a fuerza mayor del gluten. Las propiedades de fuerza y extensibilidad de la masa se determinaron en un Alveógrafo de Chopin

(Trippette & Renaud, Francia), con el método 54-30A (AACC, 2005), a partir de 50 g de harina refinada. A partir del alveograma se calculó la fuerza general de la masa ($W \times 10^{-4}$ J) y la relación de tenacidad/extensibilidad (P/L), donde valores menores a la unidad significa mayor extensibilidad, iguales a 1.1 balanceado y superiores a 1.2 tenaz.

El análisis electroforético de GAPM y GBPM se realizó con el método de Peña *et al.* (2004). Las GAPM (loci *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1*) se identificaron con base en la nomenclatura propuesta por Payne y Lawrence (1983) y las GBPM, (loci *Glu-A3* y *Glu-B3*) de acuerdo con Singh *et al.* (1991), Jackson *et al.* (1996) y Branlard *et al.* (2003). Para el locus *Glu-D3* se usó la nomenclatura propuesta por Branlard *et al.* (2003).

Análisis de la información

Se realizó un análisis de varianza general para ambas cruzas (Rebeca F2000 \times Verano S91 y Gálvez M87 \times Bacanora T88) para las variables estudiadas. Posteriormente, para cada cruz, se realizó un análisis de varianza adicional para obtener los cuadrados medios respectivos por combinación; por último, se realizó la comparación de medias, utilizando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), mediante el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 2002) para mostrar las diferencias entre combinaciones.

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los Cuadros 4.1 y 4.2 se presentan las combinaciones de GAPM y GBPM en las que se agruparon las líneas derivadas de las cruzas Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora T88, respectivamente. En esta última se observan combinaciones que presentan la translocación 1B/1R, la cual se asocia con la presencia del alelo *Glu-B3j* (alelo nulo). En el Cuadro 4.3 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza general y por cruza. Entre las combinaciones hubo diferencias altamente significativas para la mayoría de las variables evaluadas (excepto para la relación tenacidad-extensibilidad (P/L). Dentro de ambas cruzas se observaron diferencias significativas para las todas las variables evaluadas, lo cual indica que las propiedades reológicas de la masa están altamente afectadas por la composición de GAPM y GBPM, lo cual concuerda con lo reportado por Tabiki *et al.* (2006) y Meng *et al.* (2007). Para el factor genotipos todas las variables de fuerza y extensibilidad de la masa presentaron diferencias altamente significativas; es decir, los progenitores usados en los cruzamientos son contrastantes en sus propiedades reológicas de la masa.

Cuadro 4.1. Combinaciones de gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM) de los progenitores y la progenie de Rebeca F2000 × Verano S91.

	GAPM			GBPM		
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>
Progenitores						
Rebeca F2000	1	17+18	5+10	c	g	b
Verano S91	2*	17+18	2+12	e	h	b
Combinaciones de la progenie						
1	2*	17+18	2+12	e	h	b
2	2*	17+18	2+12	e	g	b
3	2*	17+18	5+10	c	h	b
4	2*	17+18	5+10	c	g	b
5	1	17+18	5+10	e	h	b
6	1	17+18	5+10	e	g	b
7	1	17+18	5+10	c	h	b
8	1	17+18	5+10	c	g	b

Cuadro 4.2. Combinaciones de gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM) de los progenitores y la progenie de Gálvez M87 × Bacanora T88.

	GAPM			GBPM		
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>
Progenitores						
Gálvez M87	1	17+18	5+10	b	h	c
Bacanora T88	2*	7+9	5+10	c	j	b
Combinaciones de la progenie						
1	1	17+18	5+10	c	h	c
2	1	17+18	5+10	b	h	b
3	1	17+18	5+10	b	h	c
4	1	17+18	5+10	c	h	b
5	2*	17+18	5+10	c	h	b
6	2*	17+18	5+10	c	h	c
7	2*	17+18	5+10	b	h	b
8	2*	17+18	5+10	b	h	c
9	1	7+9	5+10	b	j	b
10	1	7+9	5+10	b	j	c
11	1	7+9	5+10	c	j	c
12	2*	7+9	5+10	b	j	c
13	2*	7+9	5+10	c	j	c
14	2*	7+9	5+10	c	j	b

Cuadro 4.3. Cuadrados medios de propiedades reológicas de la masa de trigos harineros. Roque, Guanajuato, Primavera-verano, 2008.

Factor de Variación	GL	SDS	IS	TMEZ	ESMEZ	TSMEZ	W	P/L
Genotipos	83	19.1 [¶]	0.098 [¶]	1.5 [¶]	4.3 [¶]	52.6 [¶]	20404.6 [¶]	0.17 [¶]
Genotipos(Cruzas)	82	17.2 [¶]	0.099 [¶]	1.4 [¶]	2.6 [¶]	34.6 [¶]	19809.1 [¶]	0.17 [¶]
Cruzas	1	176.8 [¶]	0.020 [†]	3.5 [¶]	141.7 [¶]	1524.7 [¶]	69236.7 [¶]	9.3x10 ⁻³ ns
Combinaciones	23	53.2 [¶]	0.28 [¶]	3.7 [¶]	13.4 [¶]	139.1 [¶]	52621.1 [¶]	0.32 [¶]
Rebeca F2000 x Verano S91								
Genotipos(Cruzas)	38	15.2 [¶]	0.093 [¶]	1.7 [¶]	1.9 [¶]	46.8 [¶]	24420.1 [¶]	0.14 [¶]
Combinaciones (Cruzas)	9	38.3 [¶]	0.28 [¶]	4.7 [¶]	4.7 [¶]	89.2 [¶]	64942.1 [¶]	0.29 [¶]
Gálvez M87 x Bacanora T88								
Genotipos (Cruzas)	48	18.5 [¶]	0.11 [¶]	1.4 [¶]	3.3 [¶]	25.7 [¶]	16658.6 [¶]	0.31 [¶]
Combinaciones (Cruzas)	16	44.1 [¶]	0.27 [¶]	3.1 [¶]	8.1 [¶]	56.2 [¶]	37927.1 [¶]	0.68 [¶]
Error [§]	166	0.72	4.8x10 ⁻³	0.03	0.10	1.8	1526.9	0.022

[†], [¶], Significativas con P≤0.05 y P≤0.01. [§] Error del análisis general. GL = grados de libertad.

SDS = volumen de sedimentación, IS = índice de sedimentación, TMEZ = tiempo de amasado, ESMEZ = estabilidad al amasado, TSMEZ = tolerancia al sobre amasado, W = fuerza general de la masa, P/L = tenacidad/extensibilidad.

Cruza Rebeca F2000 × Verano S91

Para tiempo de amasado y estabilidad al amasado se observa que las combinaciones de gluteninas similares a Verano S91 se asociaron con valores bajos (Figuras 4.1 y 4.2). Por otro lado, las combinaciones de gluteninas similares a las de Rebeca F2000 fueron superiores en cuanto a estas variables. Para tolerancia al sobre amasado, las combinaciones análogas a Rebeca F2000 mostraron los valores más bajos, los cuales son indicativos de mayor fuerza de la masa, mientras que los genotipos similares a Verano S91 presentaron valores más altos propios de gluten débil (Figura 4.3).

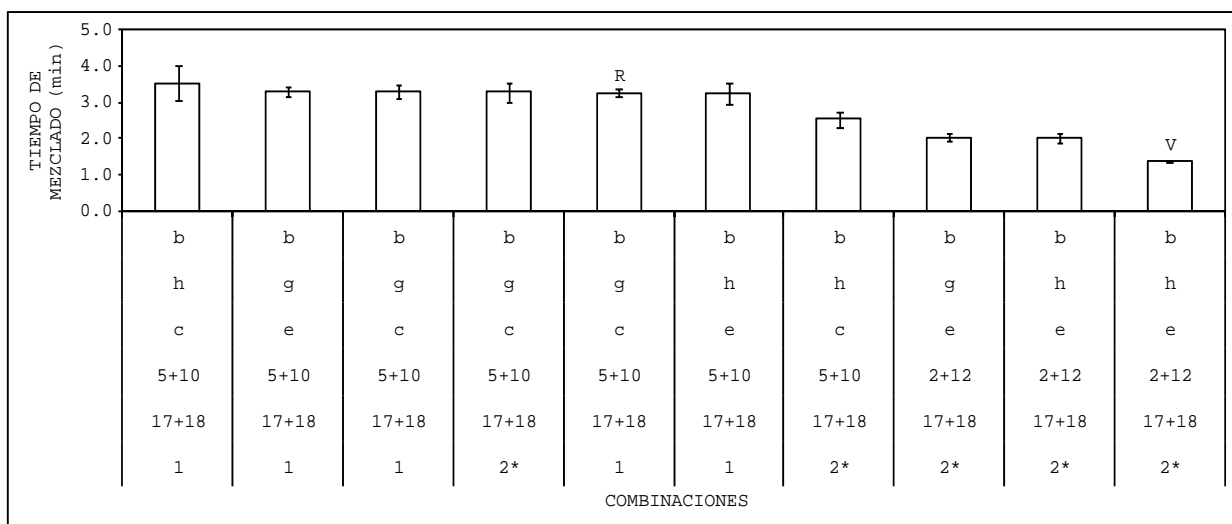


Figura 4.1. Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre el tiempo de amasado de los progenitores y las líneas derivadas de la cruz Rebeca F2000 (R) × Verano S91 (V) (las barras delgadas representan el error estándar de la media).

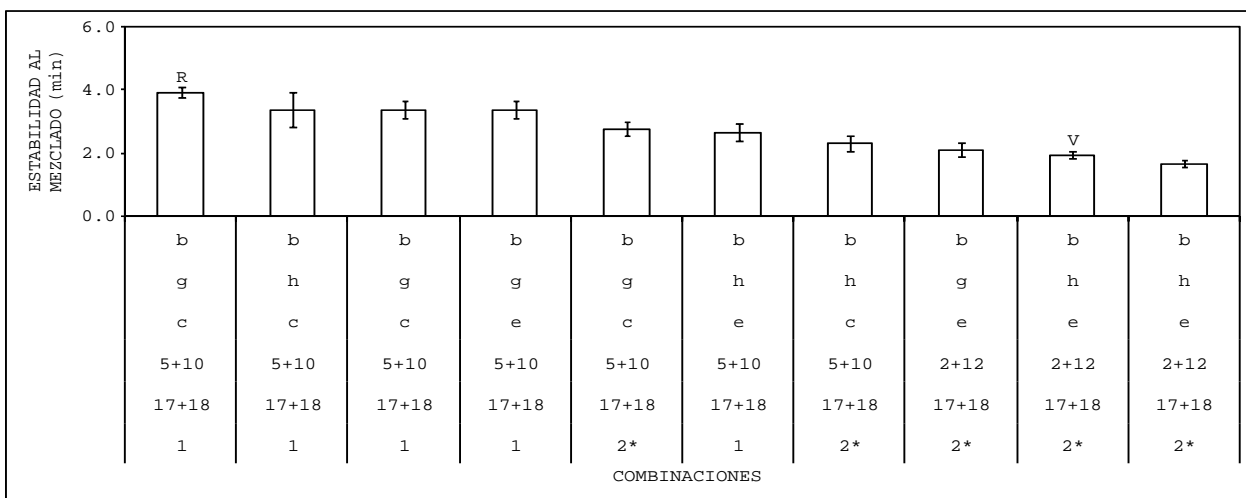


Figura 4.2. Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre la estabilidad al amasado de los progenitores y las líneas derivadas de la cruz Rebeca F2000 (R) × Verano S91 (V) (las barras delgadas representan el error estándar de la media).

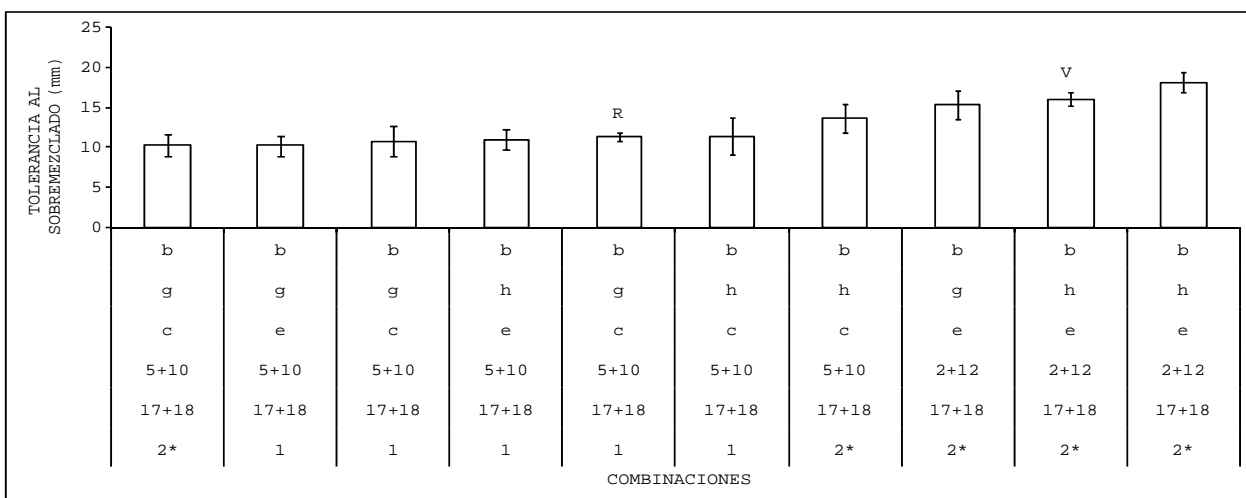


Figura 4.3. Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre la tolerancia al sobre amasado de los progenitores y las líneas derivadas de la cruz Rebeca F2000 (R) × Verano S91 (V) (las barras delgadas representan el error estándar de la media).

La combinación 2*, 17 +18, 5+10 c, h, b se clasificó como de gluten medio fuerte y extensible, debido a su W de 200 a 300 x 10⁻⁴ J y su P/L < 1 (Figuras 4.4 y 4.5), mientras que consistentemente el resto de las combinaciones similares a Rebeca F2000 (1, 17+18, 5+10, c, g, b) se clasificaron como de masas fuertes y extensibles por su W > 300 x 10⁻⁴ J y su P/L < 1. Estos resultado están de acuerdo con Wesley *et al.* (1999) quienes encontraron resultados similares en genotipos con los alelos 1, 17+18, 5+10 y c en *Glu-A3*. Las combinaciones 2*, 17+18, 2+12, e, g, b y 2*, 17+18, 2+12, e, h, b tanto de las líneas recombinantes como de las similares a Verano S91 se clasificaron como de gluten débil (< 200 x 10⁻⁴ J), esto concuerda con Peña *et al.* (2004) quienes encontraron que genotipos con los alelos 5+10 y *Glu-B3* g ó h se asocian con estas características. Todas las combinaciones de la progenie se caracterizaron como de gluten extensible (P/L < 1), mientras que los progenitores mostraron masas balanceadas (P/L = 1.1).

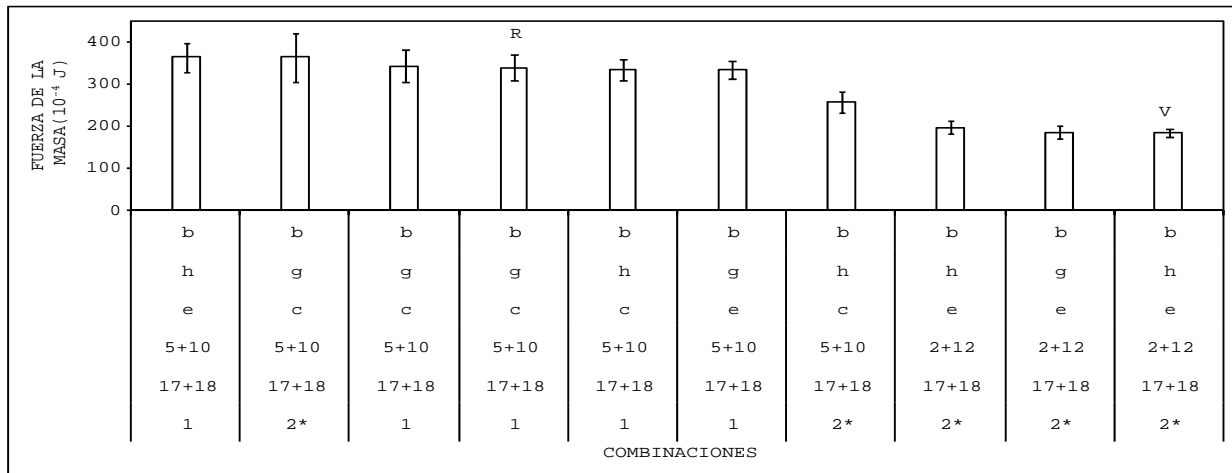


Figura 4.4. Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre W (fuerza de la masa) de los progenitores y las líneas derivadas de la cruce Rebeca F2000 (R) × Verano S91 (V) (las barras delgadas representan el error estándar de la media).

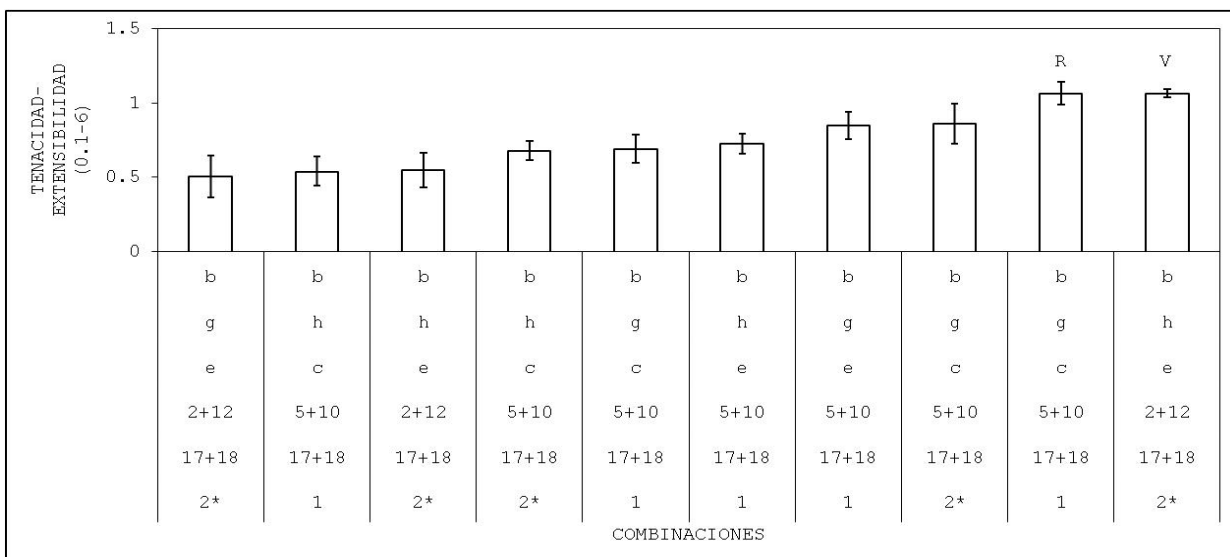


Figura 4.5. Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre P/L (relación tenacidad-extensibilidad) de los progenitores y las líneas derivadas de la cruce Rebeca F2000 (R) × Verano S91 (V) (las barras delgadas representan el error estándar de la media).

Cruza Gálvez M87 × Bacanora T88

Las combinaciones derivadas de Gálvez M87 × Bacanora T88 que tendieron a elevar el tiempo de amasado (Figura 4.6), estabilidad al amasado (Figura 4.7) y disminuir los valores de tolerancia al sobre amasado (Figura 4.8) fueron 1, 17 +18, 5+10, b, h, c y 1, 7+9, 5+10, b, j, c relacionadas con mayor fuerza de la masa; esta ultima combinación, a pesar de la presencia de la translocación 1B/1R asociada al detrimento de fuerza. Lo anterior no sucedió con la mayoría de las combinaciones translocadas, las cuales mostraron tiempos cortos de amasado y estabilidad, así como valores altos de tolerancia al sobre amasado, todas estas, características propias de masas débiles, Figuras 4.6, 4.7 y 4.8.

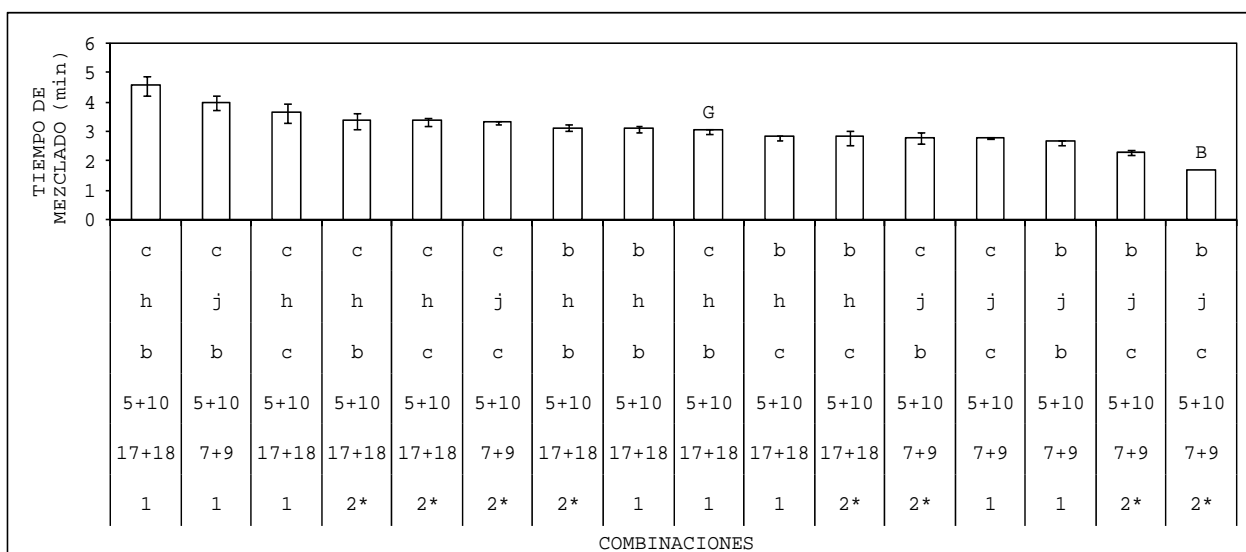


Figura 4.6. Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre el tiempo de amasado de los progenitores y las líneas derivadas de la cruce Gálvez M87 (G) × Bacanora T88 (B) (las barras delgadas representan el error estándar de la media).

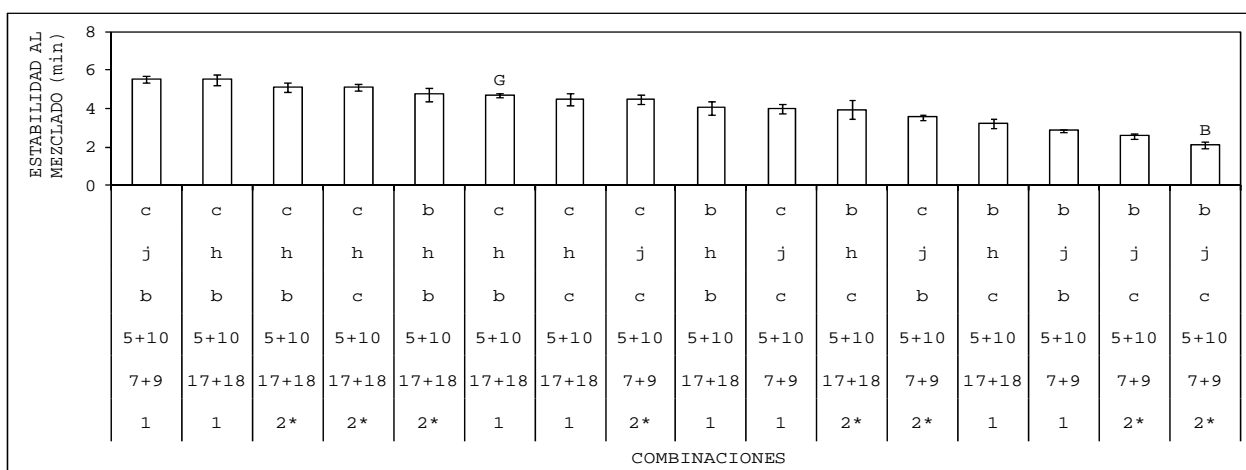


Figura 4.7. Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre la estabilidad al amasado de los progenitores y las líneas derivadas de la cruce Gálvez M87 (G) × Bacanora T88 (B) (las barras delgadas representan el error estándar de la media).

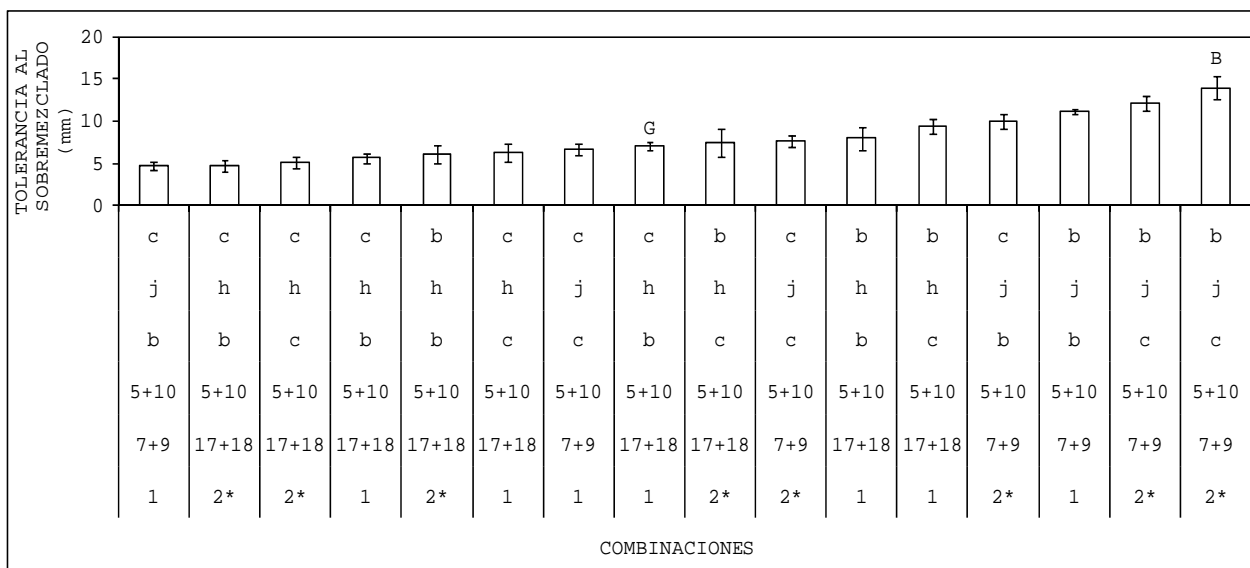


Figura 4.8. Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre la tolerancia al sobre amasado de los progenitores y las líneas derivadas de la cruce Gálvez M87 (G) × Bacanora T88 (B) (las barras delgadas representan el error estándar de la media).

La mayoría de las combinaciones derivadas de la cruce Gálvez M87 × Bacanora T88 se clasificaron como de gluten medio fuerte a fuerte y extensible por su W y P/L, (Figuras 4.9 y 4.10), siendo la combinación 1, 17+18, 5+10 b, h, c la de mayor fuerza de la masa, correspondiente al progenitor Gálvez M87. La mayoría de las combinaciones translocadas se clasificaron como de gluten débil; sin embargo, hubo combinaciones que mostraron gluten medio fuerte, tal como la combinación 1, 7+9, 5+10, c, j, c, este resultado concuerda con los resultados de Lelley *et al.* (2004) y Nishio *et al.* (2007), quienes reportaron que el detrimento de la translocación depende del fondo genético presente; es decir, de la acumulación de alelos favorables de GAPM, como lo son 1 ó 2* en *Glu-A1*, 17+18 en *Glu-B1* y 5+10 en *Glu-D1* (Martin *et al.*, 2001; Pingping *et al.*, 2007) así como de GBPM en los loci *Glu-A3* y *Glu-D3* (Gobaa *et al.*, 2008). La combinación recombinante 2*, 7+9, 5+10, c, j, b idéntica a la del progenitor Bacanora T88 presentó valores de P/L menores de 1, lo cual posiblemente es un efecto

de las gliadinas α , β y γ sobre la extensibilidad. De aquí se infiere que por medio del fitomejoramiento es posible aminorar el efecto detrimental de la translocación. Lo anterior se corrobora con el hecho que el progenitor Bacanora T88 mostró el valor más alto de tenacidad, P/L = 2. (Figura 4.10), lo cual resulta en masas impropias para la industria de la panificación.

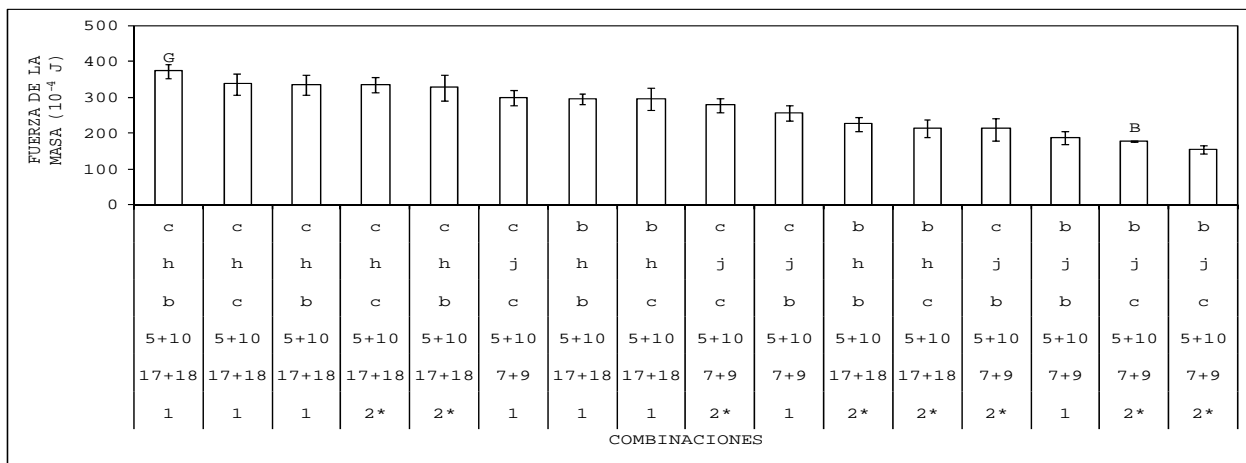


Figura 4.9. Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre W (fuerza de la masa) de los progenitores y las líneas derivadas de la cruz Gálvez M87 (G) × Bacanora T88 (B) (las barras delgadas representan el error estándar de la media).

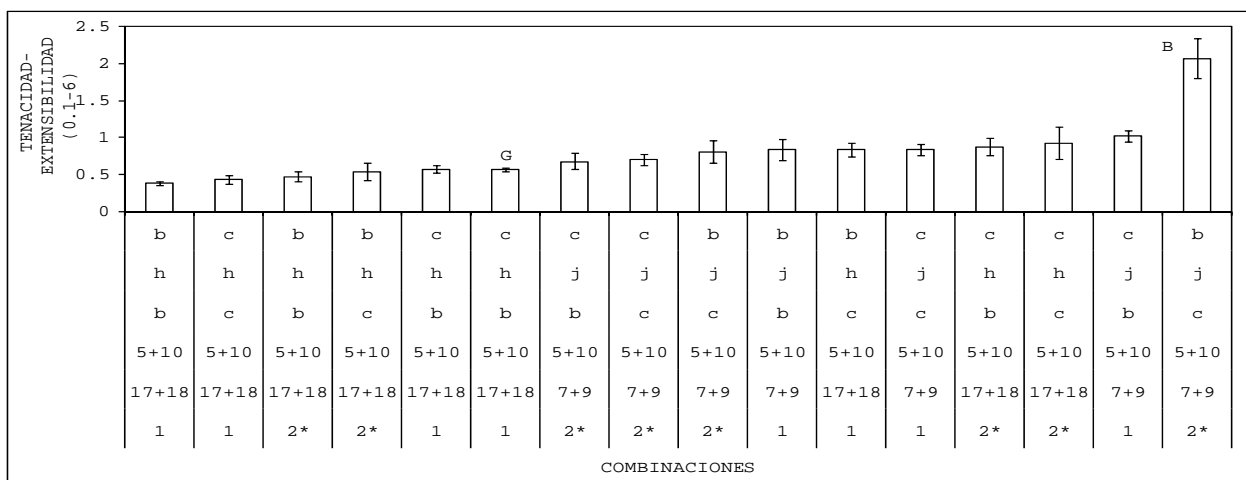


Figura 4.10. Efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre P/L (relación tenacidad-extensibilidad) de los progenitores y las líneas derivadas de la cruz Gálvez M87 (G) × Bacanora T88 (B) (las barras delgadas representan el error estándar de la media).

4.6 Conclusiones

La combinación 1, 17+18, 5+10 b, h, c perteneciente a Gálvez M87 fue la que produjo mayor fuerza de la masa en ambas cruzas. La combinación 2*, 17+18, 2+12, e, g, b se asoció con masas de gluten débil y extensible. En ambas cruzas se obtuvieron combinaciones que favorecieron la extensibilidad de la masa, a pesar del carácter tenaz de Verano S91 y Bacanora T88. La combinación 1, 7+9, 5+10, c, j, c asociada a la translocación 1B/1R mostró características de gluten medio fuerte y extensible, lo cual comprueba que el efecto de la translocación depende del fondo genético en la cual se evalúa. Los resultados indican que por medio de la recombinación es posible obtener líneas de calidad industrial específica.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CONACYT el financiamiento parcial (Proyecto: 067698) para la presenta investigación.

4.7 Literatura Citada

- AACC. 2005. Approved Methods of the AACC. 9th ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
- Branlard, G., M. Dardevet, N. Amiour and G. Igrejas. 2003. Allelic diversity of HMW and LMW glutenin subunits and omega-gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Gen. Res. Crop Evol. 50: 669–679.
- Gobaa, S., C. Brabant, G. Kleijer and P. Stamp. 2008. Effect of the 1BL.1RS translocation and of the *Glu-B3* variation on fifteen quality tests in a doubled haploid population of wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Cereal Sci. 48: 598-603.
- He, Z. H., L. Liu, X.C. Xia, J. J. Liu and R. J. Peña. 2005. Composition of HMW and LMW glutenin subunits and their effects on dough properties, pan bread, and noodle quality of chinese bread wheats. Cereal Chem. 82: 345–350.
- Jackson, E. A., M. H. Morel, T. Sontag-Strohm, G. Branlard, E. V. Metakovsky and R. Redaelli. 1996. Proposal for combining the classification systems of alleles of *Gli-1* and *Glu-3* loci in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Genet. Breed. 50: 321-336.
- Lelley, T., C. Eder, and H. Grausgruben. 2004. Influence of 1BL.1RS wheat-rye chromosome translocation on genotype by environment interaction. J. Cereal Sci. 39: 313-320.
- Martin P., M. Gómez and J. M. Carrillo. 2001. Interaction between allelic variation at the *Glu-D1* locus and 1BL.1RS translocation on flour quality in bread wheat. Crop Sci. 41: 1080-1084.

- Martínez, C. E., E. Espitia R., I. Benítez R., R. J. Peña B., A. Santacruz, V. y H. E. Villaseñor M. 2007a. Efecto de gluteninas de alto peso molecular de los genomas A y B sobre propiedades reológicas y volumen de pan en trigos harineros. *Agrociencia* 41:153-160.
- Martínez, C. E., E. Espitia R., I. Benítez R., R. J. Peña B., A. Santacruz, V. y H. E. Villaseñor M. 2007b. El complejo Gli-1/Glu-3 y las propiedades reológicas y volumen de pan de trigos harineros. *Rev. Fitotec. Mex.* 30 (2): 167-172.
- Meng X. G., F. Xie, X. W. Shang and L. Z. An. 2007. Association between allelic variations at the Glu-3 loci and wheat quality traits with Lanzhou alkaline stretched noodles quality in northwest China spring wheats. *Cereal Res. Commun.* 35: 109-118.
- Nishio Z., K. Takata, M. Ito, T. Tabiki, T. M. Ikeda, Y. Fujita, W. Maruyama-Funatsuki, N. Iriki, and H. Yamauchi. 2007. Small-scale bread-quality-test performance heritability in bread wheat: influence of high molecular weight glutenin subunits and the 1BL.1RS translocation. *Crop Sci.* 47: 1451-1458.
- Payne, P. I. and G. J. Lawrence. 1983. Catalogue of alleles for the complex loci *Glu-A1*, *Glu-B1* and *Glu-D1*, which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. *Cereal Res. Commun.* 11: 29-35.
- Peña, R. J., A. Amaya, S. Rajaram, and A. Mujeeb-Kazi. 1990. Variation in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *J. Cereal Sci.* 12: 105-112.

- Peña, R. J., H. González S., and F. Cervantes. 2004. Relationship between *Glu-D1/GluB-3* allelic combinations and breadmaking quality-related parameters commonly used in wheat breeding. *In: The Gluten Proteins*. Lafiandra, D., S. Masci and R. D'Ovidio (eds.). RSC Publishing, Cambridge.U. K. pp: 156–157
- Pingping Z., Z. He, D. Chen, Y. Zhang, O. R. Larroque and X. Xia. 2007. Contribution of common wheat fractions to dough properties and quality of northern-style Chinese steamed bread. *J. Cereal Sci.* 46: 1-10.
- SAS Institute. 2002. SAS/STAT User's Guide: GLM VARCOMP. 6.04. Fourth ed. Cary, NC, USA. p: 996.
- Singh, N. K., K. W. Shepherd and G. B. Cornish. 1991. A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin. *J. Cereal Sci.* 14: 203-208.
- Tabiki, T., S. Ikeguchi and T. M. Ikeda. 2006. Effects of high-molecular weight and low molecular weight glutenin subunit alleles on common wheat flour quality. *Breeding Sci.* 56 (2): 131-136.
- Wesley, A. S., O. M. Lukow, N. Ames, M. I. P. Kovacs, R. I. H. McKenzie and D. Brown. 1999. Effect of single substitution of glutenin or gliadin proteins on flour quality of Alpha 16, a Canada prairie spring wheat breeders' line. *Cereal Chem.* 76(5): 743-747.

V. DISCUSIÓN GENERAL

En el grupo de genotipos usados como progenitores en el programa de trigo del CEVAMEX-INIFAP se identificaron 10 alelos que codifican para GAPM: 2 en *Glu-A1*, 6 en *Glu-B1* y 2 en *Glu-D1*; mientras que para las GBPM, se identificaron 14 alelos, 4 en *Glu-A3*, 7 en *Glu-B3* y 3 en *Glu-D3*. Los alelos más comunes dentro de cada locus fueron el 1 (*Glu-A1*, 56.3%), 17+18 (*Glu-B1*, 60.4%), 5+10 (*Glu-D1*, 97.9%), c (*Glu-A3*, 54.2%), h (*Glu-B3*, 43.8%) y b (*Glu-D3*, 64.6%). Los loci con mayor variación en cuanto a número de alelos fueron *Glu-B3* (h, g, c', b, i, j, d) y *Glu-B1* (17+18, 7+9, 7+8, 6+19?, 7, 13+16). Dicha diversidad alélica es comparable a la encontrada en trigos franceses, chinos y trigos de invierno de los EE. UU., donde se encontraron 16 (Branlard *et al.*, 2003), 12 (He *et al.*, 2005) y 14 (Shan *et al.*, 2007) alelos que codifican para GAPM. Para GBPM se reportaron 19 alelos en trigos franceses y de los EE. UU. (Branlard *et al.*, 2003; Shan *et al.*, 2007). Las líneas recombinantes F₆ derivadas de los grupos contrastantes en calidad se agruparon por combinación de GAPM y GBPM. En la cruz Gálvez M87 × Bacanora T88 se encontraron 19 combinaciones de GAPM y GBPM debido a la presencia de diferentes alelos en cada locus, excepto para el *Glu-D1*. En las cruzas Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 x Verano S91 se encontraron 16 y 14 combinaciones. En las cruzas Salamanca S76 × Verano S91, Salamanca S76 × Bacanora T88 y Rebeca F2000 × Bacanora T88, se encontraron 8, 7 y 6 combinaciones, respectivamente. En los cruzamientos donde participó Bacanora T88 se detectaron diferentes combinaciones con la translocación 1BL/1RS, lo cual permitió evaluar su comportamiento reológico en fondos genéticos distintos y seleccionar líneas que desfavorezcan en menor grado la calidad del gluten asociadas a mejor adaptabilidad y rendimiento.

El alelo 1 se asoció a valores altos de tiempo de amasado, estabilidad al amasado y fuerza de la masa y además a valores bajos de tolerancia al sobre amasado. Estos resultados concuerda

con los resultados de He *et al.* (2005) y Espitia *et al.* (2008) quienes reportaron que el alelo 1 favorece las propiedades viscoelásticas de la masa y contradice lo afirmado por Martínez *et al.* (2007a) quienes reportaron efectos similares de ambos alelos. La explicación a estas diferencias podría atribuirse a los progenitores que dieron origen a los materiales evaluados y sus distintos fondos genéticos. El alelo 5+10 se asoció constantemente a variables que describen mayor fuerza de la masa, como son valores altos de volumen e índice de sedimentación, tiempo y estabilidad de amasado y fuerza de la masa; además valores bajos de tolerancia al sobre amasado; mientras que el alelo 2+12 se caracterizó por presentar valores bajos de propiedades viscoelásticas propias de masas débiles. Lo anterior concuerda con lo reportado por Luo *et al.* (2001), Peña *et al.* (2004), He *et al.* (2005), De la O *et al.* (2006), Nishio *et al.* (2007) y Espitia *et al.* (2008) quienes asociaron a los alelos 5+10 y 2+12 con valores altos y bajos de fuerza del gluten, respectivamente. El alelo c se asoció consistentemente con valores elevados de volumen e índice sedimentación, tiempo y estabilidad al amasado así como de fuerza de la masa; adicionalmente se relacionó con valores bajos de tolerancia al sobre amasado, por lo que puede afirmarse que c es característico de masas de gluten fuerte (Wesley *et al.*, 1999). Por otro lado, el alelo e ejerció un efecto intermedio sobre las variables evaluadas, clasificándose por su fuerza de masa, como de gluten medio fuerte lo cual está de acuerdo con Liu *et al.* (2005) quienes asociaron a este alelo con valores bajos de volumen de sedimentación y tiempos cortos de amasado; por otro lado, Branlard *et al.* (2001), Luo *et al.* (2001) y Flaete *et al.* (2003) ubicaron al alelo e con efecto intermedio sobre la calidad. Ambas variantes alélicas, c y e del locus *Glu-A3*, se relacionan con masas extensibles por su relación tenacidad-extensibilidad menor a la unidad. En el locus *Glu-B3* los alelos g y h se asociaron a masas clasificadas como de gluten fuerte y extensible, siendo el efecto positivo de ambos, sobre la calidad de la masa, tal como lo reportan también Wesley *et al.*

(2001), Peña *et al.* (2004) y Meng *et al.* (2007) quienes señalan a estos alelos como mejoradores de la fuerza de la masa.

Al agruparse las líneas, de la cruce Gálvez M87 × Bacanora T88, por los alelos 1 y 2*, ambas variantes se caracterizaron por presentar masas medio fuertes y extensibles; sin embargo, estadísticamente el alelo 1 tuvo el mayor valor de fuerza y mostró mayor extensibilidad de gluten. El alelo 17+18 se asoció con características favorables de fuerza y extensibilidad, mientras que el alelo 7+9 mostró valores más bajos de calidad del gluten y por su relación tenacidad-extensibilidad cercana a la unidad, tendió a comportarse de manera tenaz, lo anterior está de acuerdo con lo señalado por Branlard *et al.* (2001) y Martínez *et al.* (2007b) quienes encontraron que el alelo 17+18 se caracterizó por ejercer el valor más alto de fuerza y valores extensibles del gluten. En el *locus Glu-A3* los alelos b y c mostraron propiedades de gluten medio fuerte y extensible; el alelo b tendió ligeramente a ser superior en las variables tiempo y estabilidad de amasado, así como tolerancia al sobre amasado. Lo anterior concuerda con lo encontrado con Branlard *et al.* (2001) quienes señalaron que ambos alelos contribuyen favorablemente a la calidad de la masa. En las variantes alélicas del *locus Glu-B3*, los genotipos agrupados con el alelo h mostraron valores más altos de fuerza y se asociaron a gluten extensible; mientras que el alelo j se asoció con valores más bajos de fuerza de gluten cercanos a gluten débil y tenaces (por su relación tenacidad-extensibilidad cercano a uno), lo cual concuerda con lo reportado por Peña *et al.* (2004), Liu *et al.* (2005), He *et al.* (2005) y Gobaa *et al.* (2008). Para el *locus Glu-D3* el alelo c se asoció con masas fuertes y extensibles, a diferencia de Branlard *et al.* (2001) y Gobaa *et al.* (2008) quienes asociaron a este alelo con valores de fuerza menores; mientras que el alelo b mostró valores característicos de gluten medio fuerte y extensible. Lo anterior concuerda con Branlard *et al.* 2001, pero no con Gobaa *et al.* (2008) quien asoció a este alelo a gluten débil. Por otro lado, Luo *et al.* (2001) encontró valores similares de tiempo de

amasado; mientras que Meng *et al.* 2007 mencionaron que el alelo c no correlacionó significativamente con volumen de sedimentación, fuerza de la masa y con la relación tenacidad-extensibilidad.

En la cruce Rebeca F2000 × Verano S91, la combinación 2*, 17+18, 5+10 c, h, b se clasificó como de gluten medio fuerte y extensible, debido a su W de 200 a 300 x 10⁻⁴ J y su P/L < 1; mientras que consistentemente el resto de las combinaciones similares a Rebeca F2000 (1, 17+18, 5+10, c, g, b) se clasificaron como de masas fuertes y extensibles por su W > 300 x 10⁻⁴ J y su P/L < 1, concordando con Wesley *et al.* (1999) quienes obtuvieron resultados similares en genotipos que presentan los alelos 1, 17+18, 5+10 y c en *Glu-A3*. Las combinaciones, 2*, 17+18, 2+12, e, g, b y 2*, 17+18, 2+12, e, h, b, similares a Verano S91 se clasificaron como de gluten débil (< 200 x 10⁻⁴ J), lo que concuerda con Peña *et al.* (2004) quienes reportaron que genotipos agrupados con los alelos 2+12 y *Glu-B3* g ó h se asocian con estas características. La mayoría de las combinaciones derivadas de la cruce Gálvez M87 × Bacanora T88 se clasificaron como de gluten medio fuerte a fuerte y extensible por su W y P/L, siendo la combinación 1, 17+18, 5+10 b, h, c la de mayor fuerza de la masa, correspondiente al progenitor Gálvez M87. La mayoría de las combinaciones translocadas se clasificaron como de gluten débil; sin embargo, hubo combinaciones que mostraron gluten medio fuerte, como la combinación 1, 7+9, 5+10, c, j, c, lo cual concuerda con Lelley *et al.* (2004) y Nishio *et al.* (2007), quienes indicaron que el detrimento de la translocación 1B/1R depende del fondo genético presente; es decir, de la acumulación de alelos favorables de GAPM, como lo son 1 ó 2* en *Glu-A1*, 17+18 en *Glu-B1* y 5+10 en *Glu-D1* (Martin *et al.*, 2001; Pingping *et al.*, 2007) así como de GBPM en los loci *Glu-A3* y *Glu-D3* (Gobaa *et al.*, 2008), por lo que por medio del fitomejoramiento es posible aminorar este efecto detrimental.

VI. CONCLUSIONES GENERALES

La caracterización de GAPM y GBPM de progenitores del programa de trigo harinero del INIFAP mostró una variabilidad comparable a la de los trigos franceses, chinos y trigos de invierno de los EE. UU.

En la cruce Rebeca F2000 × Verano S91 los alelos 1 y 2* del *locus Glu-1A* favorecieron la calidad de la masa, además se reafirmó el efecto positivo del alelo 5+10 y desfavorable del alelo 2+12, adicionalmente se encontró que los alelos c y e (*Glu-A3*) afectaron positivamente la calidad del gluten al igual que las variantes g y h (*Glu-D3*).

En la cruce Gálvez M87 × Bacanora T88 el alelo 17+18 se asoció con valores superiores de fuerza y extensibilidad respecto a 7+9, así como las variantes alélicas b, h y c se asociaron con parámetros superiores de calidad respecto a su contraparte c, j y b presentes en los loci *Glu-A3*, *Glu-B3* y *Glu-D3*, respectivamente.

La combinación 1, 17+18, 5+10 b, h, c de mayor fuerza y buena extensibilidad de la masa, correspondió al progenitor Gálvez M87; mientras que la combinación 2*, 17+18, 2+12, e, g, b se asoció a masas de gluten débil y extensible.

La combinación 1, 7+9, 5+10, c, j, c asociada a la translocación 1BL/1RS mostró características de gluten medio fuerte y extensible, lo cual comprueba que el efecto de la translocación depende del fondo genético en el cual se evalúa.

En ambas cruces, Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora T88, se obtuvieron combinaciones que favorecieron la extensibilidad de la masa, a pesar del carácter tenaz de Verano S91 y Bacanora T88.

VII. LITERATURA CITADA GENERAL

- Amiour, N., J. Jahier, A. M. Tanguy, H. Chiron and G. Branlard. 2002. Effect of 1R (1A), 1R (1B) and 1R (1D) substitution on technological value of bread wheat. *Journal of Cereal Science* 35: 149-160.
- Branlard, G., M. Dardevet, N. Amiour, and G. Igrejas. 2003. Allelic diversity of HMW and LMW glutenin subunits and omega-gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Gen. Res. Crop Evol.* 50: 669–679.
- Branlard, G, M. Dardevet, R. Saccomano, F. Lagoutte and J Gourdon. 2001. Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. *Euphytica* 119: 59-67.
- Bullrich, L., G. Tranquilli, L. A. Pfluger, E. Y. Suárez and A. J. Barneix. 1998. Bread-making quality and yield performance of 1BL/1RS wheat isogenic lines. *Plant Breeding* 117: 119-122.
- Cassidy, B. G., J. Dvorak and O. D. Anderson. 1998. The wheat low-molecular-weight glutenin genes: characterization of six genes and progress in understanding gene family structure. *Theor. Appl. Genet.* 96: 743–750.
- De la O, O, M., E. Espitia R., J. D. Molina G., R. J. Peña B., A. Santacruz V. y H. E. Villaseñor M. 2006. Efecto de diferentes subunidades de gluteninas-APM sobre la calidad panadera en trigos harineros mexicanos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 291-297.
- Espitia, R. E., E. Martínez C., R. J. Peña B., H. E. Villaseñor M. y J. Huerta E. 2008. Polimorfismo de gluteninas de alto peso molecular y su relación con trigos harineros para temporal. *Agricultura Técnica en México* 34: 57-67.

- Flaete, N. E. S. and A. K. Uhlen. 2003. Association between allelic variation at the combined *Gli-1*, *Glu-3* loci and protein quality in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science* 37: 129-137.
- Gobaa, S., C. Brabant, G. Kleijer and P. Stamp. 2008. Effect of the 1BL.1RS translocation and of the *Glu-B3* variation on fifteen quality tests in a doubled haploid population of wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Cereal Sci.* 48: 598-603.
- Gras, P. W., R. S. Andersen, M. Keentok F. Békés and R. Appels. 2001. Gluten proteins functionality in wheat flour processing: a review. *Aust. J. Agric. Res.* 52: 1311-1323.
- Graybosch, R. A. 2001. Uneasy unions: quality effects of rye chromatin transfers to wheat. *Journal of Cereal Science* 33: 3-16.
- Gupta, R. B., N. K. Singh and K. W. Shepherd. 1989. The cumulative effect of allelic variation in LMW and HMW glutenin subunits on dough properties in the progeny of two bread wheats. *Theor. Appl. Genet.* 77: 57-64.
- Gupta, R. B. and K. W. Shepherd. 1990. Two-step one-dimensional SDS-PAGE analysis of LMW subunits of glutenin. I. Variation and genetic control of the subunits in hexaploid wheats. *Theor Appl Genet.* 80: 65-74.
- Gupta, R. B. and F. MacRitchie. 1994. Allelic variation at glutenin subunit and gliadin loci, *Glu-1*, *Glu-3* and *Gli-1* of common wheats. II. Biochemical basis of the allelic effects on dough properties. *Journal of Cereal Science* 19: 19-24.
- He, Z. H., L. Liu, X.C. Xia, J. J. Liu and R. J. Peña. 2005. Composition of HMW and LMW glutenin subunits and their effects on dough properties, pan bread, and noodle quality of chinese bread wheats. *Cereal Chem.* 82: 345–350.

- Igrejas, G., H. Guedes-Pinto, V Camide and G. Branlard. 1999. The high and low molecular weight glutenin subunits and ω -gliadin composition of bread and durum wheats commonly grown in Portugal. *Plant Breeding* 118: 297-302.
- Jackson, E. A., M. H. Morel, T. Sontag-Strohm, G. Branlard, E. V. Metakovsky and R. Redaelli. 1996. Proposal for combining the classification systems of alleles of *Gli-1* and *Glu-3* loci in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Genet. Breed.* 50: 321-336.
- Khatkar, S. B., R. J. Fido, A. S. Tatham and J. D. Schofield. 2002. Functional properties of wheat gliadins. I. Effects on mixing characteristics and bread making quality. *Journal of Cereal Science* 35: 299-306.
- Khelifi, D. and G. Branlard. 1992. The effect of HMW and LMW subunits of glutenin and of gliadins on the technological quality of progeny from four crosses between poor breadmaking quality and strong wheat cultivars. *Journal of Cereal Science* 16: 195-209.
- Kim, W., J. W. Johnson, P. S. Baenziger, A. J. Lukaszewski and C. S. Gaines. 2005. Quality effect of wheat-rye (1R) translocation in 'Pavon 76'. *Plant Breeding* 124: 334-337.
- Kumlay, A. M., P. S. Baenziger, K. S. Gill, D. R. Shelton, R. A. Graybosch, A. J. Lukaszewski, and D. M. Wesenberg. 2003. Understanding the effect of rye chromatin in bread wheat. *Crop Science* 43: 1643-1651.
- Lelley, T., C. Eder, and H. Grausgruben. 2004. Influence of 1BL.1RS wheat-rye chromosome translocation on genotype by environment interaction. *J. Cereal Sci.* 39: 313-320.
- Liu, L, H. Z. He, Y. Yan, X. C. Xia and R. J. Peña. 2005. Allelic variations at the *Glu-1* and *Glu-3* loci, presence of the 1B.1R translocation, and their effects on mixographic properties in Chinese bread wheats. *Euphytica* 142: 197-204.

- Luo, C., W. B. Griffin, G. Branlard and D. L. McNeil. 2001. Comparison of low and high molecular weight wheat glutenin allele effects on flour quality. *Theor. Appl. Genet.* 102:1088-1098.
- Martin, P., M. Gómez and J. M. Carrillo. 2001. Interaction between allelic variation at the *Glu-D1* locus and 1BL.1RS translocation on flour quality in bread wheat. *Crop. Sci.* 41: 1080-1084.
- Martínez, C. E., E. Espitia R., I. Benítez R., R. J. Peña B., A. Santacruz V. y H. E. Villaseñor M. 2007a. Efecto de gluteninas de alto peso molecular de los genomas A y B sobre propiedades reológicas y volumen de pan en trigos harineros. *Agrociencia* 41: 153-160.
- Martínez, C. E., E. Espitia R., I. Benítez R., R. J. Peña B., A. Santacruz V. y H. E. Villaseñor M. 2007b. El complejo GLI-1/GLU-3 y las propiedades reológicas y volumen de pan de trigos harineros. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (2): 167-172.
- Meng, X. G., F. Xie, X. W. Shang and L. Z. An. 2007. Association between allelic variations at the *Glu-3* loci and wheat quality traits with lanzhou alkaline stretched noodles quality in northwest China spring wheats. *Cereal Res. Commun.* 35: 109-118.
- Muhammad, A. F., M. R. Khan, A. Din, M. Saeed, I. Pasha and M. U. Arshad. 2007. Wheat gluten: high molecular weight glutenin subunits-structure, genetics, and relation to dough elasticity. *Journal of Food Science* 72 (3): 56-63.
- Nieto-Taladriz, T. M., M. R. Perretant and M. Rousset. 1994. Effect of gliadins and HMW and LMW subunits of glutenin on dough properties in the F₆ recombinant inbred lines from a bread wheat cross. *Theor. Appl. Genet.* 88: 81-88.

- Nishio Z., K. Takata, M. Ito, T. Tabiki, T. M. Ikeda, Y. Fujita, W. Maruyama-Funatsuki, N. Iriki, and H. Yamauchi. 2007. Small-scale bread-quality-test performance heritability in bread wheat: influence of high molecular weight glutenin subunits and the 1BL.1RS translocation. *Crop Sci.* 47: 1451-1458.
- 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 genetic linkage? *J. Cereal Sci.* 2: 73-81.
- Payne, P. I., and G. J. Lawrence. 1983. Catalogue of alleles for the complex loci *Glu-A1*, *Glu-B1* and *Glu-D1*, which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. *Cereal Res. Commun.* 11:29-35.
- 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.
- Peña, R. J., H. González S., and F. Cervantes. 2004. Relationship between *Glu-D1/GluB-3* allelic combinations and breadmaking quality-related parameters commonly used in wheat breeding. *In: The Gluten Proteins*. Lafiandra, D., S. Masci and R. D'Ovidio (eds.). RSC Publishing, Cambridge. U. K. pp: 156–157.
- Pingping Z., Z. He, D. Chen, Y. Zhang, O. R. Larroque, X. Xia. 2007. Contribution of common wheat fractions to dough properties and quality of northern-style Chinese steamed bread. *J. Cereal Sci.* 46: 1-10.
- Ram, S. 2003. High molecular weight glutenin subunit composition of indian wheats and their relationships with dough strength. *J. Plant Biochemistry & Biotechnology* 12: 151-155.

- Redaelli R., P. K. W. Ng and N. E. Pogna. 1997. Allelic variation at the storage protein loci of 55 US-grown white wheats. *Plant Breeding* 116: 429-436.
- Rodriguez-Quijano M. and J. M. Carrillo. 1996. Relationship between allelic variation of *Glu-1* and *Gli-1/Glu-3* prolamin loci and gluten strength in hexaploid wheat. *Euphytica* 91: 141-148.
- Shan, X., S. R. Clayshulte, S. D. Haley, and P. F. Byrne. 2007. Variation for glutenin and waxy alleles in the US hard winter wheat germplasm. *J. Cereal Sci.* 45: 199–208.
- Shewry, R. P., N. G. Halford, P. S. Belton and A. S. Tatham. 2002. The structure and properties of gluten: an elastic protein from wheat grain. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 357: 133-142.
- Singh M. A., J. J. Deveshwar, A.K. Ahlawat and B.B. Singh. 2007. Identification of novel variants of high molecular weight glutenin subunits in Indian bread wheat landraces. *Cereal Research Communications* 35(1): 99–108.
- Singh, N. K., K. W. Shepherd and G. B. Cornish. 1991. A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin. *J. Cereal Sci.* 14: 203-208.
- Takata K., H. Yamauchi, Z. Nishio and T. Kuwabara. 2001. Bread-making quality of a near-isogenic line with specific low molecular weight glutenin components. *Breeding Science* 51: 143-146.
- Tanaka H., S. Toyoda and H. Tsujimoto. 2005. Diversity of low-molecular-weight glutenin subunit genes in Asian common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Breeding Science* 55: 349-354.
- Tohver, M. 2007. High molecular weight (HMW) glutenin subunit composition of some Nordic and Middle European wheats. *Genetic Resources and Crop Evolution* 54: 67–81.

- Vaccino, P., R. Redaelli, E. V. Metakovsky, B. Borghi, M. Corbellini, N. E. Pogna. 2002. Identification of novel low M_r glutenin subunits in the high quality bread wheat cv Salmone and their effects on gluten quality. *Theor. Appl. Genet.* 105: 43-49.
- Weegels, P. L., R. J. Hamer and J. D. Schofield. 1996. Critical review: functional properties of wheat glutenin. *J. Cereal Sci.* 23: 1-18.
- Wesley A. S., O. M. Lukow, N. Ames, M. I. P. Kovacs, R. I. H. McKenzie and D. Brown. 1999. Effect of single substitution of glutenin or gliadin proteins on flour quality of Alpha 16, a Canada prairie spring wheat breeders' line. *Cereal Chem.* 76(5): 743-747.
- Wesley, A. S., O. M. Lukow, R. I. H. McKenzie, N. Ames and D. Brown. 2001. Effect of multiple substitution of glutenin and gliadin proteins on flour quality of Canada prairie spring wheat. *Cereal Chem.* 78(1): 69-73.