

# EFFECTO DE DIVERSAS COMBINACIONES ALÉLICAS (*GLU-1* Y *GLU-3*) SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE GLIADINAS Y GLUTENINAS, Y LA ESTABILIDAD DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL TRIGO

MICAELA DE LA O OLÁN, EDUARDO ESPITIA RANGEL, HÉCTOR E. VILLASEÑOR MIR, JOSÉ D. MOLINA GALÁN, HIGINIO LÓPEZ SÁNCHEZ, AMALIO SANTACRUZ VARELA Y ROBERTO J. PEÑA BAUTISTA

## RESUMEN

Los cambios en estabilidad de la calidad del trigo en respuesta a variaciones agro-ambientales afectan una eficiente selección en un programa de fitomejoramiento. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de combinaciones alélicas de gluteninas de alto (*G-APM*) y de bajo peso molecular (*G-BPM*) sobre la distribución de fracciones ricas en gliadina y glutenina, y la estabilidad en características de calidad industrial de un grupo de 26 líneas de trigos harineros de temporal. El cultivo se desarrolló en cinco condiciones agro-ambientales generadas por manejo agronómico, en el ciclo otoño-invierno 2006-2007, en Celaya, Guanajuato, México. Se efectuó un fraccionamiento de proteínas de la harina por solubilidad en 50% propanol para obtener la fracción rica en proteína monomérica o gliadina (*50PS*) y la rica en proteína polimérica o glutenina

(*50PI*), determinándose la relación *50PS/50PI*. La cuantificación de las proteínas se hizo por espectrofotometría a 280nm. Se evaluaron el tiempo de amasado (*TMA*), fuerza (*ALVW*) y extensibilidad (*AL-VPL*) de la masa. La mayoría de los caracteres de calidad mostraron una tendencia lineal a través de ambientes, obteniéndose calidad similar en las diferentes condiciones agroambientales. La combinación más estable para *50PS* y *50PI* fue 2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e,Glu-B3h,Glu-D3b*. La combinación 2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e,Glu-B3g,Glu-D3b* presentó mayor cantidad de proteína y una relación *50PS/50PI* más alta en ambientes restrictivos. La variedad ideal es aquella con valor medio óptimo y baja variación en los parámetros de calidad en un amplio espectro de ambientes. Es difícil encontrar genotipos con buena calidad y gran estabilidad en todos los ambientes.

La calidad del trigo harinero es un carácter muy complejo que depende de factores genéticos y ambien-

tales. Dos factores determinantes de la calidad son la cantidad total de proteína del grano, altamente influenciada por factores ambientales, y la calidad

de dicha proteína, la cual también es influenciada tanto por factores genéticos como ambientales (Espitia *et al.*, 2003). El aumento en la calidad de ha-

**PALABRAS CLAVE / Características Reológicas / Condiciones Agroambientales / Estabilidad en Calidad / Trigo / *Triticum aestivum* L. /**

Recibido: 20/09/2010. Modificado: 07/11/2011. Aceptado: 08/11/2011.

**Micaela de la O Olán.** Ingeniera Agrónoma Fitotecnista, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Chapingo, México. Maestra y Doctora en Ciencias en Genética, Colegio de Postgraduados (COLPOS), Montecillo, México. Investigadora, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México. e-mail: micad@colpos.mx

**Eduardo Espitia Rangel.** Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), México. Ph.D., University of Nebraska-Lincoln, EEUU. Investigador, INIFAP, México. Dirección: INIFAP, km 13.5 Carretera Los Reyes-Texcoco Apartado Postal 10 y 307, Coatlinchán, Estado de México, México. e-mail: espitia.eduardo@inifap.gob.mx

**Héctor Eduardo Villaseñor Mir.** Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, UACH, México. Maestro en Ciencias y Doctor en Genética, COLPOS, Montecillo, México. Investigador, INIFAP, México. e-mail: hevimir3@yahoo.com.mx

**José D. Molina Galán.** Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México. Maestro en Ciencias en Genética, COLPOS, Montecillo, México. Ph.D., North Carolina State University, EEUU. Profesor Investigador, COLPOS, Montecillo, México. e-mail: jmolina@colpos.mx

**Higinio López Sánchez.** Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, UACH, México. Maestría en Producción de Semillas, COLPOS, México. Ph.D., Iowa State University, EEUU. Profesor Investigador, del COLPOS, Puebla, México. e-mail: higinio@colpos.mx.

**Amalio Santacruz Varela.** Ingeniero Agrónomo, UACH, México. Maestro en Ciencias en Genética, COLPOS, Montecillo, México. Ph.D. in Plant Breeding, Iowa State University, EEUU. e-mail: asvarela@colpos.mx

**Roberto Javier Peña Bautista.** Químico Fármaco-Biólogo, Universidad Nacional Autónoma de México, México. M.S. en Bioquímica de Cereales, Kansas State University, EEUU. Ph.D. en Química y Bioquímica de Cereales, University of Manitoba, Canadá. Investigador, CIMMYT, México. e-mail: j.pena@cgiar.org

rina se puede deber tanto a un aumento de la cantidad de proteína del grano como a un cambio en la composición cualitativa de la misma. En la fracción proteica del grano se encuentran dos grandes grupos de proteínas: el de proteínas metabólicas conformado por albúminas y globulinas, y el de proteínas de reserva, conformado por gliadinas y gluteninas. La composición de los alelos de glutenina de alto (G-APM) y de bajo (G-BPM) peso molecular no es influenciada por el ambiente, ni por el contenido proteico, y ha sido asociada con propiedades de la masa (Hoseney, 1991). Las subunidades de G-APM son codificadas por genes en tres loci diferentes, *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1*, localizados en los cromosomas 1A, 1B y 1D, respectivamente (Southan y MacRitchie, 1999). Entre los alelos de gluteninas que tienen un efecto conocido sobre las características de la fuerza del gluten se encuentran 1, 2\*, 7+8, 7+9, 13+16, 17+18 y 5+10 con efecto positivo; los alelos 7+9 y 2+12 con efecto intermedio; y 0, 7, 20, 13+19, 3+12 y 4+12 con efecto negativo (Pogna *et al.*, 1992). Por otro lado, el complejo *Glu-3*, al cual conforman los loci *Glu-A3*, *Glu-B3* y *Glu-D3*, afecta de manera general la extensibilidad del gluten (Liu *et al.*, 2005). El efecto individual de los alelos de G-APM sobre las propiedades reológicas ha sido estudiado extensivamente; en cambio, debido a su alta complejidad, el efecto individual de los alelos del complejo *Glu-3* y el producto de combinaciones alélicas *Glu-1/Glu-3* en las propiedades del gluten y la distribución de las fracciones ricas en gliadinas y gluteninas no han sido estudiadas a profundidad (Peña *et al.*, 2002; Martínez-Cruz *et al.*, 2007).

Los objetivos de la producción de trigo en México han cambiado significativamente en los últimos años, ya que a la exigencia de altos rendimientos se ha sumado la necesidad de producir trigos con calidades diferenciadas para atender demandas del mercado interno y externo. Estos requerimientos deberían, además, estar acompañados por adaptabilidad y estabilidad para esos caracteres a través de ambientes y prácticas de manejo contrastantes (Miranda *et al.*, 1998). En tal sentido, son numerosas las contribuciones que consideran la relación genotipo-ambiente, en particular la de caracteres cuantitativos como rendimiento y la calidad, fuertemente influenciados por condiciones ambientales (Finlay y Wilkinson, 1963). Para el productor, el rendimiento de grano es

sinónimo de calidad; para el sector molinero es importante el peso por hectolitro y el contenido de proteína, ya que inciden sobre el precio del producto. Por su parte, el sector panadero considera que la fuerza (W) y la relación entre tenacidad y elasticidad (P/L) de la masa son los parámetros que más inciden en la calidad (Peña *et al.*, 2002). Peterson *et al.* (1992) mencionan que el concepto de genotipo óptimo de la estabilidad y la respuesta de los parámetros de calidad diferente se utilizan convencionalmente para describir la estabilidad del rendimiento.

Bucio-Alanis (1966) desarrolló un modelo para medir el componente de interacción genotipo-ambiente en *Nicotiana rustica*, usando una ecuación de regresión lineal, determinando que una variedad interactúa menos con el ambiente cuando la pendiente tiende a 0, sea ésta positiva o negativa (Molina, 1992). Eberhart y Russell (1966) introdujeron el concepto de estabilidad de una variedad en diferentes ambientes, sólo que para estos investigadores la estabilidad se da cuando la pendiente de regresión es cercana a 1 a través de un índice o gradiente ambiental. Márquez (1976) discute las dos metodologías y concluye que ambos procedimientos miden el mismo componente de interacción, pero en escalas diferentes. La definición convencional de estabilidad implica que el valor genotípico cambia igualmente con el ambiente (Rodríguez *et al.*, 2002). Para el mejorador, el concepto de estabilidad en la calidad o respuesta al ambiente representa los cambios fenotípicos del genotipo a través de ambientes diferentes que afectan la eficiencia de la selección (Peña *et al.*, 2002). Para los molineros y panaderos la consistencia en la calidad de las variedades es muy importante, ya que con una buena estabilidad en la calidad de la harina no requiere de cambios en los procesos (Peña *et al.*, 2002). De cualquier modo, la definición convencional de estabilidad no es la adecuada para caracteres de calidad industrial, donde la expresión óptima de un carácter representa un intervalo pequeño con respecto a la expresión máxima o mínima de la característica. En este caso, de acuerdo con Espitia *et al.* (1999), lo más deseable es el concepto de estabilidad absoluta ( $b_i = 0$ ) descrita por Finlay y Wilkinson (1963); por lo tanto, la estabilidad de un genotipo óptimo en la calidad debe tener pequeñas desviaciones de regresión (iguales o cercanos a 0), un coeficiente de regresión que se aproxime a 0 tanto

como sea posible, y la expresión del carácter debe estar en el intervalo óptimo.

Durante el desarrollo del cultivo y el llenado del grano las temperaturas, la distribución de las precipitaciones, las heladas tardías y la duración del llenado del grano son factores ambientales que tienen influencia significativa en la variación de la calidad. El genotipo ideal sería aquel con un valor medio óptimo, con muy baja variación en los parámetros de calidad cuando se evalúa a través de diferentes ambientes. La región triguera de temporal en México representa una amplia gama de condiciones ambientales diferentes. Por todo lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar las combinaciones alélicas de G-APM y G-BPM que influyen en la calidad de la harina, y estudiar la estabilidad que confieren dichas combinaciones con fines de calidad industrial en genotipos de trigo harinero de temporal.

## Materiales y Métodos

Se utilizaron 24 líneas desarrolladas por descendencia de una sola semilla de F<sub>2</sub> a F<sub>7</sub> a partir del cruce entre las variedades Rebeca F2000×Verano S91. La variedad Rebeca F2000 posee los alelos de gluteninas de alto peso molecular en *Glu-A1* 1, *Glu-B1* 17+18 y *Glu-D1* 5+10, y de bajo peso molecular en *Glu-A3c*, *Glu-B3g* y *Glu-D3b*; mientras que Verano S91 posee los alelos de gluteninas de alto peso molecular en *Glu-A1* 2\*, *Glu-B1* 17+18 y *Glu-D1* 2+12, y las de bajo peso molecular *Glu-A3e*, *Glu-B3h* y *Glu-D3b*. Con la cruce de los dos progenitores se obtuvieron siete combinaciones diferentes de G-APM y G-BPM. Las 26 líneas fueron sembradas en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Roque, Guanajuato, en el ciclo otoño-invierno/2006-2007. El cultivo se desarrolló en cinco ambientes generados mediante manejo agronómico (Tabla I).

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones. La unidad experimental consistió de cuatro surcos de 1m de longitud con una separación de 30cm entre ellos. Las siembras y conducción del cultivo se realizaron de acuerdo con las recomendaciones del INIFAP en la región.

Los análisis de calidad se efectuaron en el Laboratorio de Calidad de Trigo del Centro Internacional

de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Se utilizó un molino Brabender Quadrumat Jr., para obtener harina refinada en un cernidor 8xx (partícula  $\leq 183\mu$ ). Se realizaron pruebas reológicas tales como tiempo de amasado en el mixógrafo de Swanson (National Mfg Co., EEUU), fuerza (W) y extensibilidad de masa (P/L) en el alveógrafo de Chopin (Trippette & Renaud, Francia), utilizando métodos oficiales de la AACC (1995). En el mixógrafo se usó absorción variable para determinar tiempo de amasado, y en el alveógrafo se empleó absorción variable (50-55%), con base en la dureza del grano (Peña *et al.*, 2004) para determinar fuerza de masa W (ALVW) y la relación tenacidad/extensibilidad P/L (ALVPL). La dureza de grano y contenido de proteína fueron determinadas por medio de espectroscopia en el infrarrojo cercano (NIRS, por sus siglas en inglés), utilizando un equipo NIRSystems 6500 (FOSS-Tecator).

Las proteínas del gluten fueron fraccionadas con base en su solubilidad en propanol 50% en gliadinas y en gluteninas, seguidas de separación por electroforesis (SDS-PAGE) en subunidades de gliadinas y de gluteninas, utilizando el procedimiento de Peña *et al.* (2004). Las subunidades de glutenina de alto peso molecular (G-APM) se identificaron con base en la nomenclatura propuesta por Payne *et al.* (1987) y las de bajo peso molecular (G-BPM) de acuerdo con Singh *et al.* (1991), Jackson *et al.* (1996) y Branlard *et al.* (2003). En el locus *Glu-D3* se usó la nomenclatura de Branlard *et al.* (2003).

El fraccionamiento y cuantificación de las proteínas se llevó a cabo por espectrofotometría de acuerdo con el protocolo de Suchy *et al.* (2007). Se colocaron 10mg de harina refinada (humedad base de 140g·kg<sup>-1</sup>) en un tubo Eppendorf de 2ml; las muestras fueron extraídas con 1,8ml de 2-propanol al 50% (v/v) durante 30min con agitación vigorosa en un Thermomixer (Eppendorf-Netheler, Hamburg, Alemania) a 1100rpm y 25°C. Después de la extracción, las muestras se centrifugaron a 12000rpm por 5min. Los sobrenadantes fueron transferidos a tubos de 5ml en duplicados, los cuales fueron colocados en un espectrofotómetro Beckman a 280nm. Esta fracción, que contiene las proteínas monoméricas (rica en gliadinas), fue llamada 50PS (Proteína Soluble en propanol). Para el caso de la fracción de proteína soluble total (PST), la cual contiene 90-95% de las proteínas pre-

TABLE I  
TRATAMIENTOS AMBIENTALES DE LA CALIDAD DE TRIGOS HARINEROS  
(CRUCE REBECA F2000×VERANO S91)

Tratamiento	Riegos	Fertilización	Aplicación de azufre	Fecha de siembra
1 Riego limitado	3	300-60-00	No	07-12-06
2 Azufre	5	300-60-00	Si	07-12-06
3 Nitrogeno	5	120-60-00	No	07-12-06
4 Control	5	300-60-00	No	07-12-06
5 Calor	5	300-60-00	No	05-01-07

sentes en la harina, se procedió de la misma manera que para 50PS, excepto que para la extracción en este caso, además del 2-propanol, se utilizaron 1,8ml de ditiotreitól (DTT) y la incubación se realizó a 55°C. El contenido de proteína insoluble en alcohol (50PI) rica en glutenina G-APM y G-BPM, o proteína polimérica en la harina, fue calculada por la diferencia entre el contenido de PST y 50PS. Las fracciones 50PS y 50PI se calcularon como proporciones, expresadas en porcentajes con respecto a PST. Adicionalmente, se calculó la relación entre las fracciones rica en gliadina/rica en glutenina (50PI/50PS).

Se realizó un análisis de varianza general para las variables estudiadas con las medias de cada una de las siete combinaciones en cada uno de los ambientes para obtener los cuadrados medios respectivos. La comparación de medias por ambiente y combinaciones obtenidas del cruce Rebeca F2000×Verano S91 se realizó utilizando la prueba de Tukey ( $P\leq 0,05$ ) con el procedimiento GLM (SAS, 1997). Los parámetros de estabilidad ( $b_i$  y  $S^2_{di}$ ) de Eberhart y Russell, (1966) fueron estimados por regresión de las medias de las siete combinaciones de G-APM y G-BPM sobre los índices ambientales. El índice ambiental se calculó sustrayendo la media general a la media de todos los genotipos en cada una de las combinaciones en un ambiente específico. El análisis de varianza, los índices ambientales, y los parámetros de estabilidad se hicieron con el paquete estadístico PARAM (Ortega y Magaña, 1998). Una combinación fue considerada como estable si  $b_i\leq 1,0$ . Adicionalmente, se calculó el análisis de regresión lineal simple para todos los ambientes en cada una de las variables bajo estudio.

## Resultados y Discusión

En la Tabla II se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza para la estimación de parámetros de estabilidad de las varia-

bles de calidad industrial. Se observan valores cercanos o iguales a 0 en el alveograma-P/L y la relación 50PS/50PI (fracción rica en gliadinas/fracción rica en gluteninas). Las combinaciones de G-APM y G-BPM difirieron significativamente para tiempo de amasado, fuerza y extensibilidad de la masa, fracción rica en gliadinas (50PS), fracción rica en glutenina (50PI) y relación 50PS/50PI. Las diferencias entre las combinaciones evaluadas evidenciaron la existencia de variabilidad genética para todos los caracteres de calidad industrial. La interacción combinaciones × ambiente fue significativa sólo para tiempo de amasado, indicando que al menos una característica de calidad industrial va cambiar a través de los ambientes para las diferentes combinaciones de gluteninas (Sahagún, 1992; Rodríguez *et al.*, 2002). El alto grado de complejidad observado en este estudio y con anterioridad (Márquez, 1992; Sahagún, 1992) impide identificar genotipos superiores, haciendo necesario el uso de técnicas más complejas para caracterizar genotipos por calidad y su estabilidad.

Del cruce Rebeca F2000×Verano S91 se obtuvieron líneas que se pueden agrupar en siete combinaciones alélicas de gluteninas: 1) 2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b* (gluten débil); 2) 2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b* (gluten medio fuerte); 3) 2\*,17+18,5+10/*Glu-A3c*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b* (gluten fuerte); 4) 1,17+18,5+10/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b* (gluten fuerte); 5) 1,17+18,5+10/*Glu-A3e*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b* (gluten fuerte); 6) 1,17+18,5+10/*Glu-A3c*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b* (gluten fuerte); y 7) 1,17+18,5+10/*Glu-A3c*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b* (gluten fuerte).

En las medias observadas en la Tabla III las variaciones alélicas en *Glu-D1* tuvieron un efecto marcado principalmente en la fuerza de la masa; las combinaciones con 2+12 tuvieron la menor fuerza de gluten aparentemente asociados a los menores niveles de 50PI. Dentro de las combinaciones con el alelo 5+10 en

TABLA II  
CUADRADOS MEDIOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS  
DE ESTABILIDAD DE LAS VARIABLES DE CALIDAD INDUSTRIAL,  
FRACCIONES DE PROTEÍNAS Y PROPORCIONES DE PROTEÍNAS  
EN SIETE COMBINACIONES DE G-APM Y G-BPM DE TRIGOS HARINEROS  
SEMBRADOS EN CINCO AMBIENTES

Fuente de variación	gl	MTA	ALVW	ALVPL	50PS	50PI	50PS/50PI
Combinaciones	6	1,51**	27796,5**	0,33**	8,39**	8,38**	0,06**
Ambientes	28						
Ambientes (lineal)	1						
Comb x Amb (lineal)	6	0,07*	818,83	0,01	3,0	3,0	0,03
Desviaciones Conjuntas	21	0,02	878,6	0,01	3,6	3,5	0,02
Combinación 1	3	0,05	113,7	0,01	5,9	5,9	0,03
Combinación 2	3	0,02	255,4	0,03	2,9	2,9	0,03
Combinación 3	3	0,01	2856,8	0,01	4,4	4,4	0,03
Combinación 4	3	0	537,9	0,01	0,1	0,09	0
Combinación 5	3	0,02	249,4	0,02	1,4	1,46	0,01
Combinación 6	3	0,04	690,3	0,01	8,3	8,2	0,05
Combinación 7	3	0,01	1446,3	0,01	2,2	2,0	0,02
Error conjunto	198	0,38	5536,9	0,12	8,6	8,6	0,08

gl: grados de libertad, MTA: tiempo de amasado (min), ALVW: fuerza de la masa ( $10^{-4}$  J), ALVPL: extensibilidad de la masa, 50PS: fracción rica en gliadina, 50PI: fracción rica en glutenina; 50PS/50PI: relación fracción rica en gliadina/fracción rica en glutenina.

*Glu-D1*: La combinación 3 con 2\* en *Glu-A1* mostró menor extensibilidad y menor 50PS, así como mayor 50PI y mayor 50PS/50PI que la combinación 7, que difiere de la 3 con 1 en *Glu-A1*. El resultado indica que 2\* contribuye con mayor contenido de PI lo cual contribuye a menor extensibilidad. La combinación 4, con *Glu-B3g*, mostró menor extensibilidad, así como menor 50PS; 50PS/50PI y mayor 50PI que la combinación 5, la cual difiere sólo en *Glu-B3h*. El resultado indica que *Glu-B3g* contribuye con mayor contenido de PI, lo cual contribuye a menor extensibilidad.

En general se observó que para obtener genotipos con características de fuerza y extensibilidad adecuada es necesario que exista un balance. Dentro del locus *Glu-1*, el alelo de 5+10 contribuye contundentemente a la fuerza de gluten, mientras que la presencia del 2+12, parece contribuir substancialmente a una buena extensibilidad. Estos efectos generales tienen una base cuantitativa: 2+12 contribuye con mayor proporción de 50PS y una mayor relación PS/PI. Los efectos de los loci *Glu-3* son más modulados y su contribución a la fuerza y extensibilidad dependen substancialmente de la definición de *Glu-D1*.

Hubo pocos casos de desviaciones de regresión

significativas, lo que indica que la mayoría de los caracteres mostraron una tendencia lineal a través de los ambientes (Tabla III). En la interpretación se toma en cuenta el concepto de estabilidad absoluta propuesto por Finlay y Wilkinson (1963), es decir, la mejor combinación de G-APM y G-BPM es la que no cambia a través de los am-

bientes, cuando  $b_i = 0$  y son consistentes las desviaciones de regresión (Espitia *et al.*, 1999).

Para el mejorador, de acuerdo con los resultados obtenidos, el concepto de estabilidad de la calidad en respuesta al ambiente representa la respuesta del genotipo a los diferentes ambientes, la cual afectará la eficiencia a la selección. Para los molineros y panaderos la consistencia en la calidad de las variedades es muy importante, ya que la uniformidad en la calidad del trigo evita cambios costosos en los procesos de industrialización. La variedad ideal sería aquella que tuviera un valor medio óptimo con baja variación en los parámetros de calidad cuando se evalúa a través de diferentes ambientes. En este contexto, para tiempo de amasado la combinación 4 y 6: 1, 17+18, 5+10/ *Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b* y 1,17+18,5+10/ *Glu-A3c*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b* serían las más estables con un valor  $b_i$  menos alejado de 0 ( $b_i = 0,61$  y  $0,62$  respectivamente) y una media aceptable para dicho carácter desde la perspectiva de la industria de la panificación. Algunos autores han observado que el tiempo de amasado decrece en relación con un incremento en las temperaturas durante las dos últimas semanas de llenado de grano (Letta *et al.*, 2008); la combinación 4 (1,17+18,5+10/*Glu-A3e*,

TABLA III  
PARÁMETROS DE ESTABILIDAD Y MEDIAS DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS DE SIETE COMBINACIONES ALÉLICAS DE GLUTENINAS DE TRIGOS HARINEROS

Variable		Combinaciones						
		1	2	3	4	5	6	7
Tiempo de amasado (min)	$\mu_i$	2,27	2,2	3,5	2,86	3,12	3,5	3,33
	$b_i$	1,18	0,86	1,27	0,61*	0,99	0,62	1,48*
	$S^2_{di}$	-0,33	-0,36	-0,37	-0,38	-0,36	-0,34	-0,37
Alveograma-W ( $10^{-4}$ J)	$\mu_i$	197,3	212,3	355,9	374,3	328,3	346,0	367,1
	$b_i$	1,6	0,2	-0,25	1,34	1,77	1,6	0,73
	$S^2_{di}$	-5423,1	-5281,4	-2680,0	-4998,9	-5287,4	-4846,5	-4090,5
Alveograma P/L (0.1-6)	$\mu_i$	0,6	0,85	1,39	0,9	1,09	0,75	0,98
	$b_i$	0,97	0,9	1,71	0,86	0,91	0,68	0,96
	$S^2_{di}$	-0,11	-0,09	-0,11	-0,11	-0,1	-0,11	-0,11
50PS (%)	$\mu_i$	66,38	66,45	62,97	64,79	63,57	64,82	64,83
	$b_i$	0,67	1,40	0,85	0,90	0,87	1,10	1,2
	$S^2_{di}$	-2,68	-5,69	-4,19	-8,49	-7,16	-0,22	-6,37
50PI (%)	$\mu_i$	33,62	33,54	37,03	35,2	36,42	35,17	35,18
	$b_i$	0,67	1,40	0,85	0,90	0,87	1,11	1,19
	$S^2_{di}$	-2,66	-5,69	-4,14	-8,51	-7,14	-0,38	-6,55
50PS/50PI	$\mu_i$	2,01	2,06	1,74	1,88	1,79	1,92	1,9
	$b_i$	0,79	1,48	0,67	0,91	0,82	1,18	1,14
	$S^2_{di}$	-0,05	-0,05	-0,05	-0,08	-0,07	-0,03	-0,06

Significativamente diferente de uno para  $b_i$  y de 0 para  $S^2_{di}$ .  
Combinaciones: 1) 2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*; 2) 2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*; 3) 2\*,17+18,5+10/*Glu-A3c*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*; 4) 1,17+18,5+10/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*; 5) 1,17+18,5+10/*Glu-A3e*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*; 6) 1,17+18,5+10/*Glu-A3c*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*; y 7) 1,17+18,5+10/*Glu-A3c*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*.  
50PS: fracción rica en gliadina (%); 50PI: fracción rica en glutenina (%); 50PS/50PI: relación fracción rica en gliadina/fracción rica en glutenina.

*GluB3h*, *Glu-D3b*) y la 7 (1-17+18-5+10-c-g-b) no satisfacen los requisitos de estables porque poseen un  $b_i \neq 0$ , aunque de acuerdo con las desviaciones de regresión todas las combinaciones pueden considerarse como estables (estadísticamente  $S^2_{di} = 0$ ). En el caso del alveograma-W el mayor valor correspondió a la combinación 4 (1,17+18,5+10/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*), pero en virtud de que el  $b_i$  es muy alto, se le considera no estable. El valor ideal para fuerza de la masa es el que presenta la combinación 2 (2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*) pero de gluten medio fuerte tendiendo a débil.

Por lo anteriormente mencionado, la estabilidad en la calidad de las variedades es de gran importancia. Actualmente la fuerza panadera (alveograma-W) es una variable muy usada en mejoramiento genético, en la industria y en la exportación, siendo un referente en la diferenciación de calidad por variedad o grupo de variedades (Letta *et al.*, 2008). Para el alveograma-P/L, el menor valor corresponde a genotipos con buena extensibilidad de la masa (Robert y Denis, 1996); en este estudio la combinación 6 (1,17+18,5+10/*Glu-A3c*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*) es ideal para dicho carácter (en las líneas de gluten fuerte), pues tiene el valor  $b_i$  más cercano a 0. En la fracción rica en gliadina el mayor valor se obtuvo con la combinación 2 (2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*). En cuanto a las desviaciones de regresión, todas las combinaciones se consideran estables; el coeficiente de regresión más bajo fue observado en la combinación 1 (2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*). En la fracción rica en glutenina no se encontró mucha variación, correspondiendo la mayor cantidad a las combinaciones 2 (2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*) y 1 (2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*), y la más estable a los genotipos con esta última combinación, con  $b_i = 0,67$ .

Es difícil encontrar en la gama de variedades de trigo algún genotipo que satisfaga una calidad adecuada y estable. En la relación 50PS/50PI los valores más altos correspondieron a las combinaciones 2 (2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*) y 1 (2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*), mientras que los valores más estables a la combinación 3 (2\*,17+18,5+10/*Glu-A3c*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*). De lo anterior se desprende que la estabilidad de un ca-

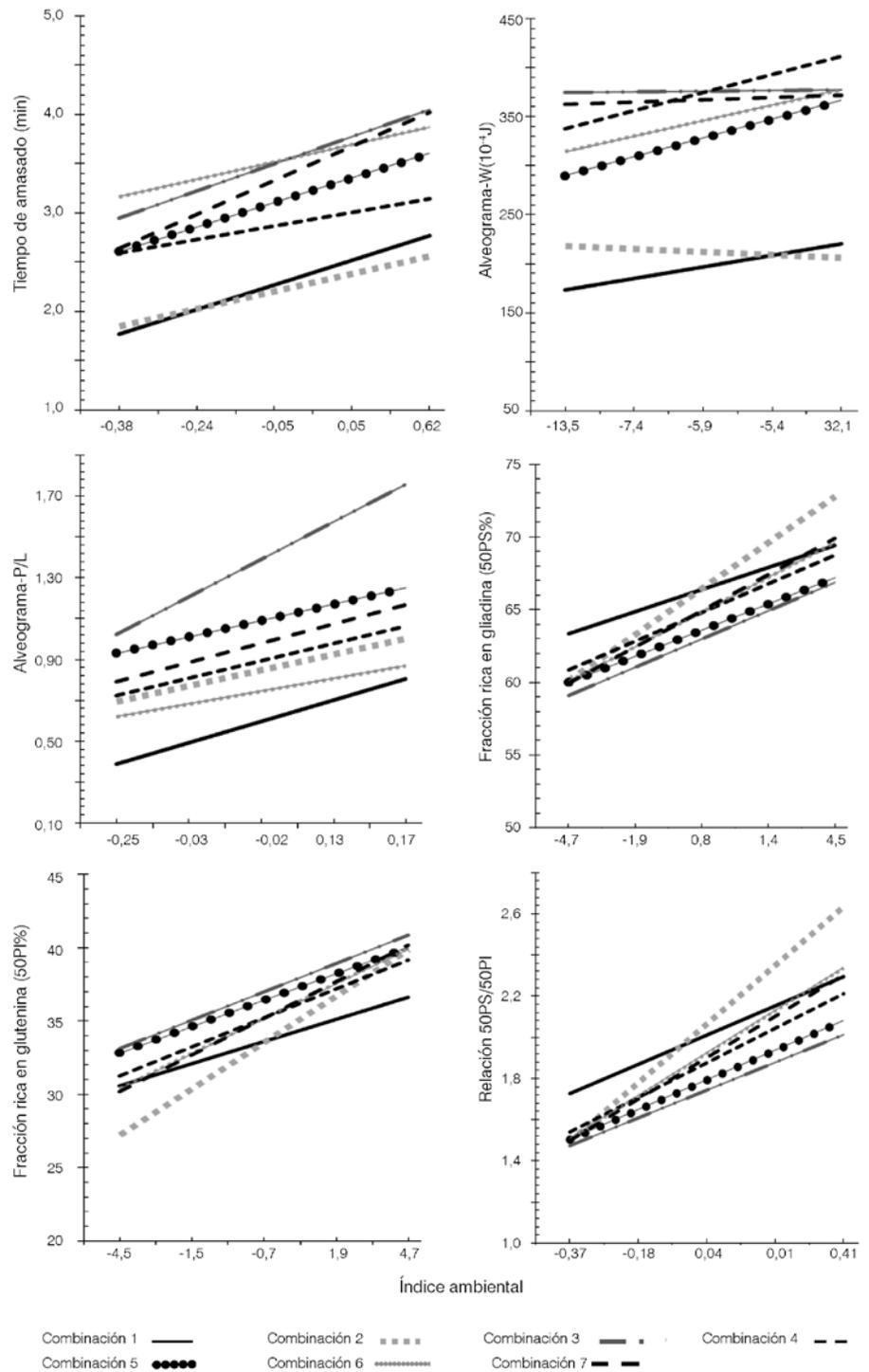


Figura 1. Respuesta de la calidad industrial y parámetros de estabilidad de siete combinaciones de alelos de gluteninas de alto y bajo peso molecular, de trigos harineros, Roque, Gto, O-I/2006-2007.

rácter debe ser estudiado de manera separada, de acuerdo con los objetivos del mejorador.

En la Figura 1 se presentan las líneas de tendencia de cada una de las combinaciones en los diferentes índices ambientales en todos los parámetros de calidad evaluados.

Se aprecia que todas las combinaciones mejoraron en tiempo de amasado conforme mejoran las condiciones ambientales, lo que sería ideal bajo el concepto de estabilidad convencional (Rodríguez *et al.*, 2002). En relación con la estabilidad de calidad el comportamiento más estable lo proporcio-

nó las combinaciones 4 (1,17+18,5+10/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*) y 6 (1,17+18,5+10/*Glu-A3c*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*) porque son constantes en todos los ambientes, favorables o no favorables. En el alveograma-W se observa un patrón diferente; conforme mejoraron las condiciones ambientales no mejoró la fuerza de la masa; las combinaciones 2 (2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*), 3 (2\*,17+18,5+10/*Glu-A3c*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*) y 7 (1,17+18,5+10/*Glu-A3c*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*) presentaron un coeficiente de regresión cercano a 0, pero en la media de la fuerza de la masa la mejor combinación fue la 4 (1,17+18,5+10/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*). En extensibilidad de la masa (alveograma-P/L) es mejor tener valores más bajos para contar con mayor extensibilidad, observándose, para todas las combinaciones, que no se mejoró la extensibilidad conforme mejoraron las condiciones ambientales; la más estable resultó ser la combinación 6 (1,17+18,5+10/*Glu-A3c*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*) y con una mayor extensibilidad la combinación 1 (2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*).

Para la fracción rica en gliadina se observa claramente que la combinación 2 (2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*) presentó la mayor cantidad, pero gráficamente fue de mayor estabilidad la combinación 1 (2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*) en todos los ambientes (índices ambientales negativos y positivos). En la fracción rica en glutenina el comportamiento fue similar en la mayoría de las combinaciones, siendo la de mayor estabilidad la combinación 1 (2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*). En las líneas de tendencia se puede observar que dicha combinación 1 fue la que presentó la relación 50PS/50PI más alta en ambientes restrictivos (índices ambientales negativos), pero en ambientes favorables la situación cambió ya que finalizó por debajo de la combinación 2 (2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3g*, *Glu-D3b*) aunque tuvo el mejor promedio.

## Conclusiones

La mayoría de los caracteres de calidad mostraron una tendencia lineal a través de los ambientes. Para cada variable de calidad existe una combinación ideal de gluteninas de alto y bajo peso molecular, ya sea para estabilidad o para aumentar la calidad, dependiendo del propósito de cada mejorador.

De acuerdo con los parámetros de estabilidad estudiados, de las siete combinaciones de G-APM y G-BPM obtenidas en líneas de la cruz Rebeca F2000×Verano S91, la combinación más estable para la fracción rica en gliadina y la fracción rica en glutenina fue 2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b*, con el valor más cercano a  $b_1 = 0$ , con un comportamiento similar en todos los ambientes. La combinación 2\*,17+18,2+12/*Glu-A3e*, *Glu-B3h*, *Glu-D3b* fue la que presentó la relación 50PS/50PI más alta en ambientes restrictivos (índices ambientales negativos). Es muy difícil encontrar un genotipo que satisfaga una buena calidad y con una gran estabilidad en todos los ambientes.

Las combinaciones de G-APM y G-BPM difieren significativamente para tiempo de amasado, fuerza y extensibilidad de la masa, fracción rica en gliadinas, fracción rica en gluteninas y la relación 50PS/50PI. Es necesario continuar los estudios sobre la estabilidad de las combinaciones de G-APM y G-BPM, así como su función en las fracciones proteicas que confieren las propiedades ideales al gluten.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) el financiamiento otorgado para la realización del presente trabajo.

## REFERENCIAS

- AACC (2000) *Approved Methods of the AACC*. 9ª ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, EEUU. 1268 pp.
- Branlard G, Dardevet M, Amiour N, Igrejas G (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.
- Bucio-Alanis L (1966) Environmental and genotype-environmental components of variability. I. Inbred lines. *Heredity* 21: 387-397.
- Eberhart SA, Russell WA (1966) Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.
- Espitia RE, Baengizer PSE, Graybosch ARD, Shelton R, Moreno-Sevilla B, Peterson CJ (1999) Agronomic performance and stability of 1AL.1RS genotypes derived from winter wheat "Nekota". *Crop Sci.* 39: 649-654.
- Espitia RE, Peña BRJ, Villaseñor MHE, Huerta EJ, Limón OA (2003) Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. I. Comparación de variedades y causas de la variación. *Rev. Fitoec. Mex.* 26: 249-256.
- Finlay KW, Wilkinson GN (1963) The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Australian J. Agric. Res.* 14: 342-754.
- Hoseney RC (1991) *Principios de Ciencia y Tecnología de Cereales*. Acribia. Zaragoza, España. 334 pp.
- Jackson EA, Morel MH, Sontag-Strohm T, Branlard G, Metakovsky EV, Redaelli R (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.
- Letta T, D'Egidio MG, Abinasa M (2008) Stability analysis for quality traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf) varieties under South Eastern Ethiopian conditions. *World J. Agric. Sci.* 4: 53-57.
- Liu L, He HZ, Yan Y, Xia XC, Peña BRJ (2005) Allelic variations at the *Glu-1* and *Glu-3* loci, presence of the 1B.1R translocation, and their effects on micrographic properties in Chinese bread wheats. *Euphytica* 142: 197-204.
- Márquez SF (1976) *El Problema de la Interacción Genotipo-Ambiental en Genotecnía Vegetal*. PATENA. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 113 pp.
- Márquez SF (1992) La interacción genético-ambiental en genotecnía vegetal. En Sánchez GJ, Ron PJ, Márquez SF (Eds.) *Mem. Simp. Interacción Genético-Ambiental en Genotecnía Vegetal*. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Guadalajara, México. pp: 1-27.
- Martínez-Cruz E, Espitia-Rangel E, Benítez-Riquelme I, Peña-Bautista RJ, Santacruz-Varela A, Villaseñor-Mir HE (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.
- Miranda R, Salomón N, Poverene M (1998) Adaptabilidad y estabilidad de la calidad industrial de trigo. *IV Congreso Nacional de Trigo*. Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. (11-13/11/1998). pp. 1-16.
- Molina GJD (1992) *Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa (Algunas Implicaciones en Genotecnía)*. AGT. México. 370 pp.
- Ortega AJ, Magaña TO (1998) *Sistema de Análisis de Parámetros de Estabilidad (PARAM). Programa de análisis, Manual de Usuario*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 16 pp.
- Payne P I, Seekings JA, Worland AJ, Jarvis MG, Holt LM (1987) Allelic variations of glutenin subunits and gliadins and its effect on breadmaking quality in wheat: analysis of F<sub>3</sub> progeny from Chinese Spring × Chinese Spring (Hope 1A). *J. Cereal Sci.* 6: 103-118.
- Peña BRJ, Trethowan R, Pfeiffer WH, Van Ginkel M (2002) Quality (end-use) improvement in wheat: compositional, genetic, and environmental factors. En Basra AS, Randhawa LS (Eds.) *Quality Improvement in Field Crops*. Haworth Press. Binghamton, NY, EEUU. pp: 1-37.

- Peña BRJ, González SH, Cervantes F (2004) *Proceedings of the Gluten Workshop*. En Masci S, Lafiandra D (eds.). Bitervo, Italy, pp 156-157.
- Peterson CJ, Graybosch PS, Baenziger PS, Grombacher AW (1992) Genotype and environment effects on quality characteristics of hard red winter wheat. *Crop Sci.* 32: 98-103.
- Pogna NE, Rdaelli R, Dackevitch T, Curioni A, Dal Belin Perufo A (1992) Benefits from genetics and molecular biology to improve the end use properties of cereals. En Feillet P (Ed.) *Cereal Chemistry and Technology: A Long Past and a Bright Future*. INRA. Montpellier, Francia. pp: 83-93.
- Robert N, Denis JB (1996) Stability of baking quality in bread wheat using several statistical parameters. *Theor. Appl. Genet.* 93: 172-178.
- Rodríguez PJE, Sahagún CJ, Villaseñor MHE, Molina GJD, Martínez GA (2002) Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 143-151.
- Sahagún CJ (1992) El ambiente, el genotipo y su interacción. *Rev. Chapingo* 79-80: 5-12.
- SAS (1997) *SAS/STAT Software: Changes and Enhancements through Release 6.12*. SAS Institute. Cary, NC, EEUU. 5123 pp.
- Singh NK, Shepherd KW, Cornish GB (1991) A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin. *J. Cereal Sci.* 14: 203-208.
- Southan M, MacRitchie F (1999) Molecular weight distribution of wheat proteins. *Cereal Chem.* 76: 827-836.
- Suchy J, Lukow OM, Brown D, DePauw R, Fox S, Humphreys S (2007) Rapid assessment of glutenin and gliadin in wheat by UV spectrophotometer. *Crop Sci.* 47: 91-99.

## EFFECTS OF DIVERSE ALLELIK (*GLU-1* AND *GLU-3*) COMBINATIONS ON THE DISTRIBUTION OF GLIADINS AND GLUTENINS, AND THE STABILITY OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WHEAT

Micaela de la O Olán, Eduardo Espitia Rangel, Héctor E. Villaseñor Mir, José D. Molina Galán, Higinio López Sánchez, Amalio Santacruz Varela and Roberto J. Peña Bautista

### SUMMARY

The changes in the stability of wheat quality in response to agro-environmental variations affect the efficient selection in breeding programs. The aim of this study was to determine the effects of allele combinations of glutenins of high (*G-BPM*) and low (*G-BPM*) molecular weight upon the distribution of gliadin- and glutenin-rich fractions, and the stability of industrial quality characteristics of flour from a group of 26 lines of seasonal wheat. Five agro-environmental conditions were generated for cultivation by agronomical management, in the autumn-winter 2006-2007 cycle, in Celaya, Guanajuato, Mexico. Flour protein fractionation in 50% propanol was performed to obtain fractions rich in monomeric protein or gliadin (50PS) or rich in polymeric protein or glutenin (50PI), determining the 50PS/50PI ratio.

Protein quantification was performed spectrophotometrically at 280nm. Mixograph mixing time (TMA), dough strength (ALVW) and stretchability (ALVPL) were evaluated. Most quality characteristics showed a lineal tendency through the environments, yielding a similar quality in the different agro-environmental conditions. The most stable combination for 50PS and 50PI was 2\*,17+18,2+12/Glu-A3e,Glu-B3h,Glu-D3b. The combination 2\*,17+18,2+12/Glu-A3e,Glu-B3g,Glu-D3b yielded a higher protein amount and a higher 50PS/50PI relation in restrictive environments. The ideal variety is that with an optimal value and a low variation in quality parameters along an ample environmental quality spectrum. It is difficult to find genotypes with good quality and great stability in all of the environments.

## EFEITO DE DIVERSAS COMBINAÇÕES ALÉLICAS (*GLU-1* Y *GLU-3*) SOBRE A DISTRIBUIÇÃO DE GLIADINA E GLUTENINA, E A ESTABILIDADE DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DO TRIGO

Micaela De La O Olán, Eduardo Espitia Rangel, Héctor E. Villaseñor Mir, José D. Molina Galán, Higinio López Sánchez, Amalio Santacruz Varela e Roberto J. Peña Bautista

### RESUMO

As mudanças em estabilidade da qualidade do trigo em resposta a variações agroambientais afetam uma eficiente seleção em um programa de fito melhoramento. O objetivo do presente estudo foi determinar o efeito de combinações alélicas de gluteninas de alto (*G-APM*) e de baixo peso molecular (*G-BPM*) sobre a distribuição de frações ricas em gliadina e glutenina, e a estabilidade em características de qualidade industrial de um grupo de 26 linhas de trigos farinheiros de sequeira. O cultivo se desenvolveu em cinco condições agroambientais geradas pelo manejo agrônomo, no ciclo outono-inverno 2006-2007, em Celaya, Guanajuato, México. Foi efetuado um fracionamento de proteínas da farinha por solubilidade em 50% propanol para obter a fração rica em proteína monomérica ou gliadina (50PS) e a rica em proteína polimérica ou glutenina (50PI), de-

terminando-se a relação 50PS/50PI. A quantificação das proteínas se fez por espectrofotometria a 280nm. Avaliaram-se o tempo de amassado (TMA), força (ALVW) e extensibilidade (ALVPL) da massa. A maioria dos caracteres de qualidade mostrou uma tendência linear a través de ambientes, obtendo-se qualidade similar nas diferentes condições agroambientais. A combinação mais estável para 50PS e 50PI foi 2\*,17+18,2+12/Glu-A3e,Glu-B3h,Glu-D3b. A combinação 2\*,17+18,2+12/Glu-A3e,Glu-B3g,Glu-D3b apresentou maior quantidade de proteína e uma relação 50PS/50PI mais alta em ambientes restritivos. A variedade ideal é aquela com valor médio ótimo e baixa variação nos parâmetros de qualidade em um amplo espectro de ambientes. É difícil encontrar genótipos com boa qualidade e grande estabilidade em todos os ambientes.