

CALIDAD INDUSTRIAL DE TRIGOS HARINEROS MEXICANOS PARA TEMPORAL. II. VARIABILIDAD GENÉTICA Y CRITERIOS DE SELECCIÓN

END-USE QUALITY OF MEXICAN BREAD WHEAT FOR RAINFED AREAS. II. GENETIC VARIABILITY AND SELECTION CRITERIA

Eduardo Espitia Rangel^{1*}, H. Eduardo Villaseñor Mir¹, Roberto J. Peña Bautista², Julio Huerta Espino¹ y Agustín Limón Ortega¹

¹ Programa de Trigo, Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apdo. Postal 10, C.P. 56230 Chapingo, Edo. de México. Tel. 01 (595) 954-2477. Fax: 01 (595) 954-6528. Correo electrónico: espitia.eduardo@inifap.gob.mx ² Programa de Trigo, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Apdo Postal 6-641. C.P. 06600 México, D.F.

* Autor responsable

RESUMEN

La variabilidad genética, heredabilidad y correlaciones entre variables de calidad, se determinaron para establecer criterios de selección útiles en el mejoramiento genético de la calidad industrial de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos para temporal o seco, en 15 genotipos que representan amplia diversidad en calidad de panificación. La evaluación se hizo en 11 localidades que representan la variabilidad ambiental bajo la cual se cultiva el trigo de temporal. Se detectó baja variabilidad genética para peso hectolítrico, proteína en grano y en harina, volumen de pan, textura de grano, rendimiento de grano y fuerza general de gluten (volumen de sedimentación). Extensibilidad de gluten (alveogramas-P/G y P/L) y actividad enzimática (asociada con germinación en espiga), mostraron niveles de variabilidad genética intermedios. La variabilidad genética más alta se registró en fuerza de gluten (alveograma-W) y tiempo de amasado. Las variables alveograma-W, tiempo de amasado, volumen de sedimentación y textura de grano presentaron los valores más altos de heredabilidad. Las variables alveograma-W, tiempo de amasado, volumen de sedimentación, proteína en grano y en harina y alveogramas-P/G y P/L presentaron asociación positiva y significativa con volumen de pan, que aunado a sus valores de variabilidad genética y heredabilidad, las hacen variables adecuadas para la selección indirecta en el mejoramiento de la calidad panadera del trigo.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., varianza genética, heredabilidad, coeficiente de variación genética, correlaciones, calidad panadera, fuerza de gluten.

SUMMARY

The genetic variability and heritability of quality-related parameters and the selection criteria for bread making quality useful for breeding of mexican rainfed bread wheat (*Triticum aestivum* L.), were determined in a set of 15 genotypes representing diverse bread-making quality. The evaluation was done in 11 locations which represent the environmental variability of rainfed wheat-producing area of Mexican highlands. It was found that quality traits: test weight, grain and flour protein, bread loaf volume, kernel texture, and sedimentation volume (gluten strength-related parameter), showed a very low genetic variability. Gluten extensibility (alveographs-P/L and P/G) and enzymatic activity associated with grain preharvest germination, showed intermediate genetic variability. Gluten strength (Al-

veograph-W) and dough mixing time showed the highest levels of genetic variability. Alveograph-W, mixing time, sedimentation volume and kernel texture showed the highest heritability values. Alveograph-W, mixing time, sedimentation volume, alveograph-P/L and alveograph-P/G, showed a positive and significant association with bread volume. Considering genetic variability and heritability, the former variables are adequate for indirect selection for improving bread-making quality.

Index words: *Triticum aestivum* L., genetic variance, heritability, genetic variation coefficient, Pearson's correlations, bread making quality, gluten strength.

INTRODUCCIÓN

La superficie de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) de riego en México se ha reducido drásticamente debido principalmente a la escasez de agua y a la reconversión hacia cultivos más rentables y de exportación. Esto ha contribuido a que la industria recurra a la importación de trigo para suplir la demanda nacional. La siembra de trigo de temporal o de seco en México es una posibilidad para reducir el déficit que actualmente tiene el país, ya que hay alrededor de un millón de hectáreas de temporal donde el trigo es una opción viable. Un factor que ha impedido incrementar las siembras de trigo en temporal, es que los productores frecuentemente enfrentan problemas para comercializar el grano, porque la industria molinera prefiere importar trigo del mercado internacional, con el argumento de que los trigos mexicanos no poseen la calidad de panificación requerida (Villaseñor *et al.*, 2000).

La calidad industrial del trigo se caracteriza mediante el análisis de parámetros físicos, químicos y reológicos relacionados con la calidad molinera y de panificación. El análisis físico incluye rendimiento harinero, textura de grano y peso hectolítrico; el análisis químico incluye al contenido de proteína en grano y harina, volumen de

sedimentación y actividad enzimática (alfa-amilasa) asociada con germinación en la espiga, las cuales están relacionadas directamente con la calidad panadera (Finney *et al.*, 1987; Seleny, 1988; Peña *et al.*, 2002; Souza *et al.*, 2002). El análisis reológico de la masa incluye características como fuerza de gluten (alveograma-W), extensibilidad de gluten (alveogramas-P/L y P/G), propiedades de amasado (tiempo de amasado y tolerancia al amasado en el mixógrafo), entre otras, porque están relacionadas con las propiedades viscoelásticas de la masa que determinan las propiedades de panificación de la misma (Chen y D'Appolonia, 1985; Finney, 1989; Wooding y Walker, 1992; Peña *et al.*, 2002; Souza *et al.*, 2002). En la prueba de panificación se miden aspectos como volumen de pan y estructura y apariencia de la miga, variables importantes en la caracterización de la calidad panadera de un trigo (Hoseney, 1994; Qarooni, 1996).

El conocimiento de la variabilidad genética utilizada en programas de fitomejoramiento, es de primordial importancia para el establecimiento de estrategias de selección. Dicha variabilidad se expresa con varianzas fenotípica y genotípica; sin embargo, el coeficiente de variación genética es el mejor parámetro para tal propósito (Ehdaie y Waines, 1989). Peterson *et al.* (1992) registraron valores de varianzas genéticas de: 998 para proteína en la harina, de 2.2 para tiempo de amasado, 24.3 para volumen de sedimentación y 0.11 para dureza de grano. Por su parte, Graybosch *et al.* (1996) encontraron varianzas de 2107 para proteína en la harina y 275 para volumen de sedimentación, mientras que Espitia-Rangel *et al.* (1999a, b) reportan varianzas de 0.01 a 0.02 para peso hectolítrico, de 1.2 a 5.1 para proteína en la harina y de 0.003 a 0.008 para tiempo de amasado.

La heredabilidad es un parámetro genético que determina si las diferencias entre individuos se deben a diferencias genéticas entre éstos ó a diferentes respuestas a los factores ambientales. Los valores de heredabilidad varían ampliamente para proteína en harina, proteína en grano, peso hectolítrico y volumen de sedimentación (0.30 a 0.40, 0.30 a 0.60, 0.12 a 0.44 y 0.19 a 0.56, respectivamente), pero son altos y consistentes (0.75 a 0.83) para textura de grano (Löffler *et al.*, 1983; O'Brien *et al.*, 1989; Fenn *et al.*, 1994; Peterson *et al.*, 1998).

Las relaciones existentes entre parámetros de calidad son relevantes para el fitomejoramiento, sobre todo cuando la selección está dirigida al mejoramiento simultáneo de varios factores, o al manejo de caracteres de difícil cuantificación o de baja heredabilidad. Por ejemplo, se han detectado asociaciones entre volumen de pan y proteína en el grano, proteína en harina, volumen de sedimentación, tiempo de amasado y alveograma-W (Trethowan *et al.*,

2001); entre el peso hectolítrico y alveograma-P/L, alveograma-W y volumen de sedimentación (Gupta *et al.*, 1992; Peterson *et al.*, 1992; Graybosch *et al.*, 1996); y entre la textura del grano y peso hectolítrico, alveograma-P/L, alveograma-W y volumen de sedimentación. De igual forma, las características reológicas como alveograma-P/L han resultado asociadas positivamente con tiempo de amasado, alveograma-W y volumen de sedimentación (Peterson *et al.*, 1992; Graybosch *et al.*, 1996).

Con respecto a las características físicas, químicas, reológicas y de calidad panadera de trigos harineros mexicanos para temporal, poco se conoce de los efectos genéticos y ambientales sobre la variabilidad en caracteres de calidad, así como de las asociaciones entre parámetros de calidad bajo condiciones ambientales diversas. Con el propósito de generar el conocimiento necesario para hacer más eficiente el mejoramiento de la calidad de trigo en el Altiplano Central de México, el presente trabajo tiene como objetivo determinar la variabilidad genética, la heredabilidad, la asociación entre caracteres y los criterios de selección para diferentes parámetros de calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Germoplasma y ambientes de prueba

Loss 15 genotipos de trigo de temporal usados representan la diversidad genética del germoplasma utilizado en la región objetivo, e incluyeron cuatro variedades recientemente liberadas: Juchi F2000, Náhuatl F2000, Tlaxcala F2000 y Rebeca F2000; cuatro variedades testigo Gálvez M87, Temporalera M87, Batán F96 y Romoga F96; cuatro líneas avanzadas del programa de trigo de temporal; y las variedades Zacatecas VT74, Arandas F90 y Pavón F76 que han sido utilizadas ampliamente para siembras de temporal. Se sembraron en el ciclo primavera-verano de 1999 en once localidades de temporal: Juchitepec, Tecamac y Coatepec en el estado de México; Nanacamilapa y Apizaco en Tlaxcala; Santiago Tillo en Oaxaca; Jesús María en Jalisco; Cuyuaco en Puebla; Roque en Guanajuato; Buenavista en Morelos y Amealco en Querétaro. Este conjunto de localidades representa la diversidad ambiental de las regiones mexicanas de trigo de temporal.

Condiciones experimentales y análisis de laboratorio

Los genotipos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones. La parcela experimental consistió de cuatro surcos de 4 m de largo separados a 30 cm. Las siembras se realizaron de acuerdo con las recomendaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias para cada región. Las

parcelas experimentales fueron cosechadas para determinar el rendimiento, en kg ha⁻¹. Los análisis de calidad fueron realizados en el Laboratorio de Calidad de Trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

El análisis físico del grano consistió en la evaluación de peso hectolítrico (kg HL⁻¹) determinado en una muestra de 500 mL con una balanza volumétrica (Seedburo Equipment Co., Chicago IL.), y la textura del grano (índice de dureza, %) determinada con un analizador por reflectancia en el espectro infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) Infralyzer 300 (Technicon, N. Y.) calibrado (método 39-70A; AACC, 1995) con base en el índice de tamaño de partícula (método 55-30; AACC, 1995), en el cual una mayor proporción (%) de partículas finas presentes en una muestra de harina integral indica mayor suavidad del grano.

La harina refinada se obtuvo de muestras de grano acondicionado a 14 % de humedad, con reposo de 24 a 36 h previo a la molienda, la cual fue efectuada en un molino Brabender Quadrumat Sr. (Brabender, Alemania)

El análisis químico consistió en la determinación del contenido de proteína en el grano y en la harina, del volumen de sedimentación (parámetro relacionado con la fuerza de gluten) y la actividad enzimática (alfa-amilasa) asociada con la germinación en espiga. El contenido de proteína (g kg⁻¹) en grano y en harina se midió con el analizador NIR Infralyzer 300 (método 39-10; AACC, 1995). La actividad enzimática se determinó indirectamente por el método viscosimétrico de índice de caída (FN, por sus siglas en inglés) con un aparato Falling Number AB 1400 (Falling Number, Suecia) en una muestra de 7 g de harina con 14 % de humedad (método 56-81B; AACC, 1995). El volumen de sedimentación (mL) se determinó en una muestra de 1 g de harina a la que se agregó dodecil sulfato de sodio (SDS, por sus siglas en inglés) de acuerdo con el procedimiento descrito por Peña *et al.* (1990), en el que a mayor volumen mayor es la fuerza de gluten.

El análisis reológico consistió en la determinación de variables de fuerza de gluten (alveograma-W), extensibilidad de gluten (alveogramas-P/L y P/G) y tiempo de amasado en el mixógrafo. Las variables alveográficas W, P/L y P/G se obtuvieron con un Alveógrafo de Chopin (Tripette & Renaud, Paris, Francia) en una muestra de 50 g de harina, de acuerdo con el método 54-30 de la AACC (AACC, 1995), utilizando el criterio de consistencia constante (absorción variable, 50-57.5 %) y ajustando el tiempo de mezclado (7-9 min) hasta obtener una masa tersa. El alveograma-W es una medida de la fuerza de la masa (10⁻⁴ J) en el que a mayor valor de W, mayor es la fuerza

de gluten. Los alveogramas-P/L y P/G son la relación entre la altura y longitud del alveograma y entre la altura y el índice de expansión, respectivamente, e indican la extensibilidad del gluten. A menores valores de P/L y P/G, mayor extensibilidad del gluten. El tiempo de desarrollo de la masa (Tiempo de amasado, min) se determinó en un mixógrafo (National Manufacturing Co., Lincoln, NE.), en una muestra de 35 g de harina a 14 % de humedad, y absorción de agua variable, de acuerdo con el contenido de proteína en la harina (método 54-40; AACC, 1995), de modo de que a mayor tiempo de amasado mayor es la fuerza de gluten. La calidad panadera (representada por el volumen de pan, mL) se evaluó en 100 g de harina a 14 % de humedad, mediante el método de panificación de masa directa (método 10-09; AACC, 1995); el volumen de pan se determinó por desplazamiento de semilla de colza (*Brassica* sp.).

Análisis estadístico

Previo al análisis estadístico de los datos porcentuales de textura de grano, se realizó una transformación logarítmica. Ambientes y genotipos se consideraron como factores aleatorios. Los componentes de varianza para cada una de las fuentes de variación se estimaron mediante el procedimiento VARCOMP del SAS (SAS, 1994). En el Cuadro 1 se presenta la estructura del análisis de varianza y esperanzas de cuadrados medios.

Cuadro 1. Estructura del análisis de varianza combinado y esperanzas de cuadrados medios de 15 genotipos de trigo en 11 ambientes de temporal. Primavera-Verano 1999.

	G L	SC	CM	ECM
FV				
Ambiente (A) (a-1)		SCa		
Rep(A) a(r-1)		SCr(a)		
Genotipo (G) (g-1)		SCg	CMg	$\sigma^2_c + r \sigma^2_{ag} + r a \sigma^2_g$
G x A (g-1)(r-1)		SCag	CMag	$\sigma^2_c + r \sigma^2_{ag}$
Error a(g-1)(r-1)		SCe	CMe	σ^2_c
Total	arg-1			

FV, G L, SC, CM y ECM, son fuentes de variación, grados de libertad, suma de cuadrados, cuadrados medios y esperanzas de cuadrados medios, respectivamente

σ^2_g , σ^2_{ga} y σ^2_c , son componentes de varianza de genotipos, genotipos por ambientes y error, respectivamente

Los componentes de varianza se calcularon al igualar la esperanza matemática de los cuadrados medios con los estimadores de éstos en el análisis de varianza. El coeficiente de variación genética (CVG) de todas las variables, se calculó al dividir la desviación estándar genética entre la media (CVG < 20 = variabilidad genética alta; CVG=12 a 20 = variabilidad genética intermedia; CVG > 10 = variabilidad genética baja). La heredabilidad se estimó al dividir la varianza genética entre la

varianza fenotípica. Las correlaciones de Pearson se obtuvieron con el procedimiento CORR del SAS (SAS, 1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variabilidad genética

La varianza entre genotipos fue la principal fuente de variación para peso hectolítrico, textura de grano, proteína en la harina, volumen de sedimentación, alveograma-W, tiempo de amasado y volumen de pan mientras que los efectos de interacción genotipo x ambiente fueron los más importantes para actividad enzimática, alveogramas-P/G y P/L (Cuadro 2). Los efectos de localidades, genotipos y su interacción fueron significativos para todas las variables estudiadas (datos no mostrados). En actividad enzimática, alveogramas-P/G y P/L y rendimiento de grano, el efecto genético fue similar al efecto de la interacción genotipo x ambiente. En la textura de grano, volumen de sedimentación, alveograma-W y tiempo de amasado, la varianza genética correspondió a más de 54 % del valor de la varianza fenotípica, lo que muestra que los efectos genéticos son importantes en estas variables.

Cuadro 2. Componentes de varianza estimados para 11 variables de calidad y rendimiento de 15 genotipos de trigo en once ambientes de temporal. Primavera-Verano 1999.

Variable	σ^2_P	σ^2_G	σ^2_{ga}	σ^2_e
Peso hectolítrico	5.26	2.42	1.44	1.40
Textura de grano	23.50	12.71	2.93	7.86
Actividad enzimática	18227.98	5896.41	6198.13	6133.44
Proteína en grano	0.51	0.15	0.09	0.27
Proteína en harina	0.39	0.18	0.07	0.14
Volumen de sedimentación	6.83	3.72	1.21	1.90
Alveograma-W	16132.13	11309.13	2592.35	2230.65
Alveograma-P/G	0.78	0.28	0.30	0.21
Alveograma-P/L	0.05	0.01	0.02	0.02
Tiempo de amasado	0.54	0.35	0.11	0.08
Volumen de pan	7804.53	2693.50	2441.01	2670.02
Rendimiento de grano	420667.45	83834.85	73159.93	263672.67

σ^2_P , σ^2_G , σ^2_{ga} y σ^2_e , son varianzas fenotípica, genética (de genotipos), genotipos por ambientes y error, respectivamente

Los coeficientes de variación genética más altos correspondieron a las variables reológicas alveograma-W y tiempo de amasado (Cuadro 3), las cuales presentaron una amplitud de 763×10^{-4} J y de 4.5 min, respectivamente. La amplitud de la variación del tiempo de amasado fue mayor a la observada (2.5 min) por Peterson *et al.* (1992) para trigo rojo de invierno cultivado en condiciones de temporal errático. Esto sugiere que es necesario aplicar

selección para reducir la amplia variabilidad en tiempo de amasado que ocurre en condiciones de temporal. Los coeficientes de variación genética para alveogramas-P/G y P/L y actividad enzimática fueron intermedios (Cuadro 3), pero todavía permiten efectuar selección. La amplitud de la variación para alveograma-P/G (1.4 a 8.2) y alveograma-P/L (0.3 a 2.2) y sus medias de 3.8 y 0.8, respectivamente, indican que los trigos mexicanos para temporal presentan buena extensibilidad para panificación, comparable a la de trigos duros de primavera cultivados en condiciones variables de temporal (Addo *et al.*, 1990).

Cuadro 3. Parámetros genéticos estimados para variables de calidad industrial y rendimiento de grano para 15 genotipos de trigo en 11 ambientes de temporal. Primavera-Verano 1999.

Variable	CVG	Media	Mínimo	Máximo	h ²
Peso hectolítrico (kg HL ⁻¹)	2.0	76.3	63.8	81.1	0.46
Textura de grano (%)	7.3	49.0	32.0	69.0	0.54
Actividad enzimática (s)	13.7	559.6	72.0	700.0	0.32
Proteína en grano (g kg ⁻¹)	3.1	12.6	9.7	16.1	0.29
Proteína en harina (g kg ⁻¹)	3.8	11.1	8.2	14.7	0.45
Volumen de sedimentación (mL)	10.7	18.1	5.0	24.0	0.54
Alveograma-W (10 ⁻⁴ J)	29.6	359.2	86.0	849.0	0.70
Alveograma-P/G (1.5-14)	13.8	3.8	1.4	8.2	0.35
Alveograma-P/L (0.1-6)	12.6	0.8	0.3	2.2	0.19
Tiempo de amasado (min)	22.7	2.6	1.0	5.5	0.64
Volumen de pan (mL)	6.3	821.3	400.0	1025.0	0.35
Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)	9.4	3073.2	1126.0	5678.0	0.20

CVG y h²: coeficiente de variación genética y heredabilidad, respectivamente.

La actividad enzimática varió de 72 a 700 s, con una media de 560 s, valores que indican que los trigos mexicanos de temporal presentan buena tolerancia a la germinación en espiga. Los coeficientes de variación genética más bajos (2 a 10.7) correspondieron a volumen de sedimentación, rendimiento de grano, textura de grano, volumen de pan, proteína en grano y en harina y peso hectolítrico; es decir, estos trigos mexicanos de temporal poseen una reducida variación genética para rendimiento de grano, acumulación de proteína y textura de grano.

Las heredabilidades más altas correspondieron a alveograma-W (0.70), tiempo de amasado (0.64), textura de grano (0.54) y volumen de sedimentación (0.54) (Cuadro 3), lo cual sugiere que estos caracteres pueden ser mejorados más fácilmente porque la variación observada en estas variables se debe principalmente a efectos genéticos. En contraste, rendimiento de grano, peso hectolítrico, actividad enzimática, proteína en grano y harina, alveogramas-P/G y P/L y volumen de pan, tuvieron heredabilidades bajas (< 0.50), que indican una mayor dificultad de su mejoramiento al tener influencia considerable de la interacción genotipo x ambiente. Los valores de heredabilidad encontrados en este estudio concuerdan con los reportados anteriormente para caracteres de calidad de trigos rojos de invierno (Löffler *et al.*, 1983) y trigos australianos de primavera (O'Brien *et al.*, 1989).

Correlaciones entre variables

El volumen de pan presentó las correlaciones más altas con proteína en grano y en harina, y con los alveogramas-W y P/L (Cuadro 4), similar a lo observado por Tretlowan *et al.* (2001) en trigos cultivados con riego. Esto indica que tanto en condiciones de temporal como en riego, la calidad panadera está determinada principalmente por la cantidad y la calidad de la proteína del gluten. Aunque significativa, la relación entre volumen de pan y tiempo de amasado fue baja. Por otro lado, el tiempo de amasado tuvo una correlación relativamente alta con alveograma-W, pero baja con los alveogramas-P/G y P/L (Cuadro 4); por tanto, el tiempo de amasado está influenciado principalmente por la fuerza del gluten y no por su extensibilidad. Entonces, el tiempo de amasado por sí solo no es una variable suficientemente efectiva para seleccionar por calidad panadera.

Alveograma-W presentó la correlación más alta con el volumen de pan, y también presentó asociación positiva con tiempo de amasado, proteína en grano y en harina, volumen de sedimentación, alveograma-P/G y actividad amilásica. Esto confirma los resultados reportados por Bettge *et al.* (1989) y Addo *et al.* (1990). El volumen de sedimentación presentó asociación positiva con proteína en grano y harina, mientras que su asociación con los alveogramas-P/G y P/L fue negativa. Resultados similares han sido reportados anteriormente (Peterson *et al.*, 1992; Graybosch *et al.*, 1996). El tiempo de amasado presentó una relación positiva con alveograma-W, mientras que su asociación con los alveogramas-P/G y P/L y con volumen de pan su asociación fue relativamente baja, lo cual coincide con resultados reportados anteriormente (Bettge *et al.*, 1989; Addo *et al.*, 1990; Peterson *et al.*, 1992).

Las variables alveograma-P/L y P/G, que expresan la extensibilidad de una masa, estuvieron asociadas negativamente con volumen de pan, con proteína en grano y harina, y con volumen de sedimentación.

La proteína en grano y harina presentaron una relación positiva con volumen de pan, volumen de sedimentación y alveograma-W. Peso hectolítrico, textura de grano y actividad enzimática no mostraron asociación significativa con el volumen de pan como era de esperarse pues estas variables están relacionadas más bien con la calidad molinera del trigo. Estos resultados confirman lo encontrado anteriormente (Bettge *et al.*, 1989; Addo *et al.*, 1990; Peterson *et al.*, 1992).

Criterios de selección para calidad

La respuesta a la selección dependerá de la variabilidad genética, la heredabilidad y a la asociación del carácter de interés con otras variables. Si se quiere mejorar la calidad molinera (rendimiento harinero) de los trigos mexicanos cultivados en temporal, se tendrá que seleccionar hacia valores más altos de peso hectolítrico, el cual depende de la forma, tamaño y llenado del grano (Seleny, 1988). Pero la reducida variabilidad genética detectada para peso hectolítrico en los trigos mexicanos de temporal sugiere la necesidad de introducir germoplasma que permita mejorar este parámetro de calidad. Es necesario seleccionar trigos con tolerancia a la germinación en espiga, sobre todo en regiones temporales (de secano) donde las lluvias coinciden con la madurez del grano. Es importante también seleccionar para obtener grano de endospermo duro a semiduro, ya que mayor dureza resulta en niveles relativamente altos de almidón dañado durante la molienda, lo cual incrementa la absorción de agua de la harina. La proteína en el grano es frecuentemente considerada en la comercialización de trigo; los trigos mexicanos de temporal incluidos en este estudio mostraron poca variabilidad y una baja heredabilidad para este carácter, por lo que se deberá introducir germoplasma que posea, además de las características ya mencionadas, mayor eficiencia en la utilización de nitrógeno disponible y mayor habilidad para acumular proteína en el grano.

En los trigos mexicanos cultivados en temporal, la variabilidad genética y la heredabilidad para volumen de pan, presentaron valores bajos por lo que se deberá introducir variabilidad para este carácter. En cambio, los caracteres como proteína en grano, proteína en harina, alveogramas-P/L y W, volumen de sedimentación, alveograma-P/G y tiempo de amasado, además de estar asociadas con volumen de pan, presentaron mayor variabilidad genética y heredabilidad que el volumen del pan, por lo que es posible utilizar tales caracteres como criterios para la selección indirecta del mismo.

Cuadro 4. Correlaciones de Pearson entre variables de calidad de 15 genotipos de trigo en 11 ambientes de temporal. Primavera-Verano 1999.

VARIABLES	TEG	ACE	PGR	PHA	VOS	ALVW	ALPG	ALPL	TAM	VOP
Peso hectolítrico	-0.40**	0.16**	0.05	0.24**	0.07	0.06	-0.06	-0.07	0.05	0.20**
Textura de grano (TEG)		-0.26**	-0.02	-0.13*	-0.10	0.08	-0.05	-0.06	0.16**	0.04
Actividad enzimática (ACE)			0.01	0.12*	0.10	0.12*	0.15**	0.10	0.08	-0.06
Proteína en grano (PGR)				0.86**	0.53**	0.30**	-0.49**	-0.56**	-0.20**	0.61**
Proteína en la harina (PHA)					0.61**	0.38**	-0.42**	-0.52**	-0.16**	0.58**
Volumen de sedimentación (PHA)						0.56**	-0.12*	-0.30**	-0.03	0.39**
Alveograma-W (ALVW)							0.20**	-0.03	0.60**	0.47**
Alveograma-P/G (ALPG)								0.95**	0.28**	-0.38**
Alveograma-P/L (ALPL)									0.17**	-0.50**
Tiempo de amasado (TAM)										0.22**

*, ** significativo al 0.05 de probabilidad y significativo al 0.01 de probabilidad, respectivamente

VOP= Volumen de pan.

CONCLUSIONES

La variabilidad genética de los trigos temporales mexicanos es baja para las variables de calidad como peso hectolítrico, proteína en grano, proteína en la harina, volumen de pan, textura de grano, rendimiento de grano y volumen de sedimentación. En variables como alveograma-P/L, actividad enzimática (tolerancia a la germinación en la espiga) y alveograma-P/G, la variabilidad genética es baja pero aceptable; mientras que para alveograma-W y tiempo de amasado la variabilidad genética es alta. Las variables alveograma-W, tiempo de amasado, volumen de sedimentación y textura de grano presentaron los valores más altos de heredabilidad. Las variables alveograma-W, tiempo de amasado, volumen de sedimentación, proteína en grano, proteína en la harina y alveograma-P/G presentaron asociación positiva y significativa con volumen de pan, lo que aunado con sus altos valores de variabilidad genética y heredabilidad, las hace las variables más adecuadas para la selección indirecta del volumen de pan.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONACYT (Proyectos: I29928B y 34718-B) y Alianza para el Campo del estado de México (Proyecto: 3553) el financiamiento otorgado para la realización de la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Addo K, D R Coahran, Y Pomeranz (1990) A new parameter related to loaf volume on the first derivative of the Alveograph curve. *Cer. Chem.* 67(1): 64-69.
- American Association of Cereal Chemists (1995) Approved methods of the AACC, 9th ed. AACC, St. Paul, MN, USA. 1268 p.
- Bettge A, G L Rubenthaler, Y Pomeranz (1989) Alveograph algorithms to predict functional properties of wheat in bread and cookie baking. *Cer. Chem.* 66(2):81-86.
- Chen J, B L D'Appolonia (1985) Alveograph studies on hard red spring wheat flour. *Cer. Foods World* 30(12):862-867.
- Ehdaie B, J G Waines (1989) Genetic variation, heritability and path-analysis in landraces of bread wheat from southwestern Iran. *Euphytica* 41:183-190.
- Espitia-Rangel E, P S Baenziger, R A Graybosch, D R Shelton, B Moreno-Sevilla, C J Peterson (1999a) Agronomic performance and stability of 1A vs 1AL.1RS genotypes derived from the winter wheat "Nekota". *Crop Sci.* 39(3):643-648.
- Espitia-Rangel E, P S Baenziger, D R Shelton, R A Graybosch, B Moreno-Sevilla, C J Peterson (1999b) End-use quality performance and stability of 1A vs 1AL.1RS genotypes derived from the winter wheat "Nekota". *Crop Sci.* 39(3):649-654.
- Fenn D, O M Lukow, W Bushuk, R M Depaw (1994) Milling and baking quality of 1BL.1RS translocation wheats. I. Effect of genotype and environment. *Cer. Chem.* 71:189-195.
- Finney K F, W T Yamazaki, V L Young, G L Rubenthaler (1987) Quality of hard, soft and durum wheats. In: *Wheat and Wheat Improvement*. E G Heyne (ed) Agronomy 13. Sec. Ed. Madison Wi. pp: 677-748.
- Finney K F (1989) A five gram mixograph to determine and predict functional properties of wheat flours. *Cer. Chem.* 66(6): 527-530.
- Graybosch R B, C J Peterson, D R Shelton, P S Baenziger (1996) Genotypic and environmental modification of wheat flour protein composition in relation to end-use quality. *Crop Sci.* 36(2):296-300.
- Gupta R B, I L Batey, F MacRitchie (1992) Relationships between protein composition and functional properties of wheat flours. *Cer. Chem.* 69(2): 125-131.
- Hoseney R C (1994) Principles of Cereal Science and Technology. 2nd Ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. S. Paul Min. 378 p.
- Loffler C M, R H Busch J V Wiersma (1983) Recurrent selection for grain protein percentage in hard red winter wheat. *Crop Sci.* 23: 1097-1101.
- O'Brien L, J F Panozzo, J A Ronalds (1989) F3 response to F2 selection for quality and its effect on F3 yield distribution. *Aust. J. Agric. Sci.* 40:33-42.
- Peña R J, A Amaya, S Rajaram, A Mujeeb-Kazi (1990) Variation in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *J. Cer. Sci.* 12:105-112.
- Peña R J, R Trethowan, W H Pfeiffer, M van Ginkel (2002) Quality (end-use) improvement in wheat: compositional, genetic, and environmental factors. In: *Quality Improvement in Field Crops*. AS Basra, LS Randhawa (eds). J. Crop Prod. 5:1-37.
- Peterson J C, R A Graybosch, P S Baenziger, A W Grombacher (1992) Genotype and environment effects on quality characteristics of hard red winter wheat. *Crop Sci.* 32 (1):98-103.

- Peterson J C, R A Graybosch, D R Shelton, P S Baenziger (1998)** Baking quality of hard winter wheat: Response of cultivar to environment in the Great Plains. *Euphytica* 100:157-162.
- Qarooni J (1996)** Characteristics for flat breads: Hard or Soft, White or Red? *Cer. Foods World* 41(5): 391-395.
- Seleny L (1988)** Criteria of wheat quality. In: Wheat Chemistry and Technology. Y Pomeranz (eds). American Association of Cereal Chemists. St. Paul MN; USA. pp:1-18.
- Souza E J, R A Graybosch, M J Gutieri (2002)** Breeding wheat for improved milling and baking quality. *In*: Quality Improvement in Field Crops, AS Basra, LS Randhawa (eds). J. Crop Prod. 5:39-74.
- Statistical Analysis System (1994)** SAS/STAT User's guide: GLM-VARCOMP. 6.04 Fourth Ed. Cary NC. pp:891-996.
- Trethowan R M, R J Peña, M van Ginkel (2001)** The effect of indirect tests for grain quality on the grain yield and industrial quality of bread wheat. *Plant Breed.* 120: 509-512.
- Villaseñor M E, D M J Sangermán, E R Espitia (2000)** La problemática del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en México y su inserción en el tratado de libre comercio. *In*: J S D Barrales, S D Sánchez (eds) Problemática de los Cultivos Básicos y su Perspectiva Frente al Tratado de Libre Comercio. Memoria Simposio Nacional, 10 de Nov. 2000. Chapingo, Méx. pp: 7-17.
- Wooding A R, C E Walker (1992)** Comparison of alternative recording mechanisms (Mobile vs Fixed-bowl) for the 35-and 10-gram mixographs. *Cer. Chem.* 69(3): 249-253.