

CALIDAD INDUSTRIAL DE TRIGOS HARINEROS MEXICANOS PARA TEMPORAL. I. COMPARACIÓN DE VARIEDADES Y CAUSAS DE LA VARIACIÓN

END-USE QUALITY OF MEXICAN BREAD WHEAT VARIETIES FOR RAINFED AREAS. I. CULTIVAR COMPARISON AND VARIATION CAUSES

Eduardo Espitia Rangel^{1*}, Roberto J. Peña Bautista², H. Eduardo Villaseñor Mir¹, 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: eespitiar@hotmail.com. ²Programa de Trigo, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Apdo Postal 6-641. C.P. 06600. México, D. F.

* Autor responsable

RESUMEN

Para determinar el efecto de localidades, genotipos y su interacción, sobre la calidad industrial y el rendimiento de los trigos (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal o de secano, 15 genotipos de trigo harinero representativos de la variabilidad genética utilizada por el Programa de Mejoramiento de Trigo de Temporal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INI-FAP) fueron evaluados en 11 ambientes representativos de la variabilidad ambiental de temporal en que se produce este cereal. Los resultados mostraron que el ambiente fue el factor de variación más importante para proteína en el grano y en la harina, extensibilidad, volumen de pan, volumen de sedimentación, peso hectolítrico, actividad enzimática y rendimiento de grano. Los genotipos fueron la principal fuente de variación para textura de grano y fuerza de gluten; su mayor efecto ocurrió en el tiempo de amasado y en la actividad enzimática. Se observó una fuerte interacción genotipo x localidad en la extensibilidad de gluten y la actividad enzimática, donde el efecto de la interacción sobre el volumen de pan y rendimiento de grano fue similar al efecto de los genotipos a través de ambientes. En general, las variedades nuevas superaron a las variedades testigo antiguas, tanto en rendimiento de grano como en todas las variables de calidad, excepto en extensibilidad de gluten, la cual fue ligeramente mayor en las variedades testigo. Juchi F2000 y Nahuatl F2000, variedades recientemente liberadas, fueron las de mejor calidad industrial. El programa mexicano de mejoramiento de trigo para temporal ha producido nuevas variedades con rendimiento satisfactorio para el agricultor y con mejor calidad para la industria panadera.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., calidad de panificación, proteína, parámetros alveográficos, mixograma-tiempo de amasado, rendimiento de grano.

SUMMARY

In order to determine the influence of locations, genotypes and their interaction on the bread making quality and grain yield of Mexican rainfed bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars, and to compare the end-use quality characteristics of recently released with old cultivars, 15 genotypes were evaluated in 11 environments. Genotypes and locations represent the genetic variability and environmental variation of the rainfed wheat production area of México. The results showed that location effects were the main source of variation

for grain and flour protein, gluten extensibility, bread loaf volume, sedimentation volume, test weight, enzymatic activity, and grain yield. Genotype was the main source of variation for grain texture and gluten strength; however, its effect on mixograph-mixing time and falling number was of considerable magnitude. The effect of the genotype x location interaction on gluten extensibility and enzymatic activity was higher than the effect of genotype, while the effect on the variation of loaf volume and grain yield was similar to genotypic effect. Recently released cultivars showed better grain yield, grain hardness, gluten strength, bread making performance, and slightly inferior gluten extensibility than the old cultivars. Juchi F2000 and Nahuatl F2000, recently released cultivars, showed the best overall bread making quality characteristics. The Mexican rainfed wheat-breeding program has produced new wheat cultivars with satisfactory grain yield for farmers and improved quality for the bread making industry.

Index words: *Triticum aestivum* L., bread making quality, protein, alveograph parameters, mixograph-mixing time, grain yield.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años México se ha convertido en un país importador de trigo (*Triticum aestivum* L.). Después de que alcanzó la autosuficiencia en 1957, llegó a exportar a mediados de los años ochenta cuando se obtuvieron producciones récord de alrededor de cinco millones de toneladas (Rodríguez, 1992). La dependencia en el abasto de este grano se debe fundamentalmente a la reducción de la producción de trigo de riego en el Noroeste y El Bajío. Por ejemplo, Sonora en 1985 produjo cerca de 1.6 millones de toneladas (Contreras *et al.*, 1993), mientras que en 1996 se produjeron alrededor de 700 mil toneladas. Sinaloa ha dejado de producir cerca de un millón de toneladas, debido a que cultivos más rentables como maíz (*Zea mays* L.) y hortalizas han desplazado al trigo; en la región de El Bajío la reducción en la superficie se ha debido a la escasez de agua para la siembra; así por ejemplo, en el ciclo otoño-invierno 2001-02 la superficie sembrada se redujo a

40 mil hectáreas de las 150 a 200 mil que se sembraban tradicionalmente.

Las siembras de trigo de temporal o seco en México se vislumbran como una posibilidad para producir el grano necesario para cubrir el déficit que actualmente tiene el país, debido a los incrementos en la superficie cultivada de aproximadamente 110 mil a 260 mil hectáreas en los últimos 15 años, y porque hay estudios que indican que este cereal tiene un potencial productivo más alto en una superficie potencial de hasta un millón de hectáreas en tierras de seco, en donde el maíz y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) no son las mejores alternativas (Villaseñor y Espitia, 1994).

En el contexto de un mercado globalizado, el trigo mexicano debe competir no sólo en precio sino también en calidad industrial con los trigos importados. El trigo importado por México proviene principalmente de Estados Unidos y Canadá. El trigo de los Estados Unidos de la clase duro-rojo de invierno presenta contenidos de proteína de 12.5 %, pesos hectolítricos mayores a 80 kg hL⁻¹, tiempos de amasado de 4.1 min y volúmenes de pan de 971 cm³ (Peterson *et al.*, 1992; Souza *et al.*, 1993). El trigo rojo de primavera canadiense se caracteriza por pesos hectolítricos superiores a 80 kg hL⁻¹, contenidos de proteína frecuentemente mayores de 13.5 %, actividad enzimática de 380 s, alveograma-W arriba de 400 x 10⁻⁴ J y un volumen de pan por encima de 1000 cm³ (Canadian Wheat Board, 2001).

El trigo mexicano de temporal enfrenta frecuentemente problemas de comercialización, debido a su calidad de industrialización variable, la cual resulta de ser cultivado, a diferencia del trigo de riego, en condiciones ambientales muy variables. Por ello es de suma importancia conocer el efecto del ambiente sobre la calidad industrial del trigo de temporal. A este respecto se ha observado que las variaciones en características de calidad como contenido de proteína, textura de grano, peso hectolítrico y actividad enzimática se deben principalmente a condiciones ambientales variables, mientras que la variación en tiempo de amasado se debe fundamentalmente a diferencias genotípicas. Se ha observado que el efecto de la interacción del genotipo por el ambiente es relativamente pequeño en todas las variables de calidad examinadas (Peterson *et al.*, 1992; Graybosch *et al.*, 1996; Bergman *et al.*, 1998; Espitia-Rangel *et al.*, 1999a y 1999b). Algunas evidencias son contrarias a las anteriores; por ejemplo, Pomeranz *et al.* (1985) encontraron que la variación de la textura de grano estuvo controlada principalmente por los efectos de las variedades; Bergman *et al.* (1998) encontraron que la variación en tiempo de amasado se debió principalmente a diferencias genotípicas.

El conocimiento de la influencia de las localidades, los genotipos y su interacción sobre las diferentes variables de calidad es fundamental para el establecimiento de estrategias de mejoramiento, producción y comercialización de los trigos harineros mexicanos de temporal. Los objetivos del presente estudio fueron: a) Determinar la proporción de la variación total en diferentes variables de calidad industrial debida a la localidad (ambiente), al genotipo y a su interacción; b) Caracterizar los trigos harineros mexicanos de temporal de acuerdo con su calidad industrial; y c) Comparar la calidad de las variedades serie F2000 con las variedades anteriores a esta serie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Se seleccionaron 15 genotipos que representan la variabilidad genética del germoplasma de trigo utilizado en las áreas de temporal o seco del centro, altiplano y sur del país; éstos fueron las cuatro variedades de reciente liberación: Juchi F2000, Náhuatl F2000, Tlaxcala F2000 y Rebeca F2000; cuatro variedades testigo para temporal: Gálvez M87, Temporalera M87, Batán F96 y Romoga F96; cuatro líneas avanzadas del Programa de Trigo de Temporal; y las variedades comerciales Zacatecas VT74, Arandas F90 y Pavón F76 que han sido sembradas en temporal.

Localidades de prueba

Los genotipos se sembraron en once localidades de temporal en el ciclo primavera-verano de 1999. Los ambientes de prueba fueron: 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. Con estas localidades se pretendió representar la diversidad ambiental donde se cultiva el trigo de temporal en México.

Condiciones experimentales

Los genotipos fueron distribuidos en un diseño en bloques completos al azar con dos repeticiones, en cada localidad. La parcela experimental consistió en cuatro surcos de 4 m de largo y a una separación de 30 cm. Las siembras se realizaron de acuerdo con las recomendaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para cada región. La fertilización en todos los ambientes fue de 40N-40P-00K a la siembra y 40N-00P-00K al amacollamiento. Se evaluó rendimiento de grano en kg ha⁻¹ y éste se utilizó para los análisis de laboratorio.

Análisis de laboratorio

Los análisis para las variables de calidad se realizaron en el laboratorio de calidad de trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Estas variables se agruparon en análisis físico, químico, reológico y de panificación. El primero comprendió: peso hectolítrico y textura de grano. En el análisis químico se consideraron características de calidad como proteína en el grano y en la harina, volumen de sedimentación (relacionado con fuerza de gluten) y actividad enzimática (alfa-amilasa) asociada con la germinación en espiga, que puede ser provocada por condiciones de alta humedad durante la maduración del grano.

En el análisis reológico se incluyeron cuatro variables: alveograma-W (fuerza del gluten), alveograma-P/L, alveograma-P/G (extensibilidad de gluten) y tiempo de amasado en el mixógrafo. En la prueba de panificación se consideraron el volumen de pan y la estructura y apariencia de la miga. El peso hectolítrico (kg hL^{-1}) de una muestra de 500 mL se determinó con una balanza volumétrica (Seedburo Equipment Co., Chicago, IL, EE UU). La textura del grano (%) fue determinada en un instrumento de análisis por reflectancia en el espectro infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) Infralyzer 300 (Technicon, N Y, EE UU) calibrado (Método 39-70A; AACC, 1995) con base en el índice de tamaño de partícula (Método 55-30; AACC, 1995), en el cual a mayor proporción de partículas finas (mayor índice de dureza, %), mayor suavidad del grano. El contenido de proteína (g kg^{-1}) en el grano y en la harina fue determinado en una muestra con el analizador NIR Infralyzer 300 (Método 39-10; AACC, 1995). El volumen de sedimentación (mL) fue determinado en una muestra de 1 g de harina mediante dodecil sulfato de sodio (Peña *et al.*, 1990), que indica la capacidad de hidratación y expansión de la proteína del gluten en un medio ligeramente ácido y mide la fuerza general de la masa; a mayor volumen mayor fuerza. La actividad enzimática fue medida indirectamente por el método viscosimétrico de índice de caída (FN, por sus siglas en inglés) con el equipo Falling Number AB 1400 (Falling Number, Suecia) en una muestra de 7 g de harina con 14 % de humedad (método 56-81B; AACC, 1995).

Las variables alveográficas W, P/L y P/G fueron determinadas en un alveógrafo de Chopin (Trippette & Renaud, Paris, Francia) en una muestra de 50 g de harina, de acuerdo con el método 54-30 de la AACC (AACC, 1995), pero con el criterio de consistencia constante (absorción variable, 50-57.5 %) y con ajuste del tiempo de mezclado (7-9 min) hasta obtener una masa tersa. La variable alveograma-W es una medida de la fuerza de la masa (10^4 J); a mayores valores, mayor fuerza: valores menores a 200 ca-

racterizan a trigos de gluten débil, valores entre 200 y 300 corresponden a trigos de gluten medio fuerte, y valores mayores a 300 caracterizan a trigos de gluten fuerte.

La variable alveograma-P/L, que es la relación entre la altura y longitud del alveograma, se determinó mediante una escala adimensional de 0.1 a 6, donde la mayor extensibilidad corresponde a valores menores. La variable alveograma-P/G es una relación entre la altura y el índice de expansión (tenacidad / extensibilidad), se midió sobre la base de la escala adimensional de 1.5 a 14, donde la mayor extensibilidad corresponde a valores menores. La variable mixograma-tiempo de amasado (min) fue determinada en un mixógrafo (National Manufacturing Co., Lincoln, NE, EE UU), en 35 g de harina (a 14 % de humedad), que utilizan la absorción de agua de acuerdo con el contenido de proteína (Método 54-40; AACC, 1995). A mayor tiempo de amasado mayor fuerza de gluten y viceversa.

El volumen de pan (cm^3) se determinó en una hogaza obtenida a partir de 100 g de harina (a 14 % de humedad), con el método de masa directa (Método 10-09; AACC, 1995). El volumen se determinó por desplazamiento de semilla de colza (*Brassica sp.*). La estructura y apariencia de la miga se definió con base en el color y suavidad, y en la distribución y tamaño de los poros de la miga; se utilizó una escala de literales de la manera siguiente: MB = muy buena, B = buena, R = regular, P = pobre y MP = muy pobre.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza conjunto para las 11 localidades en todas las variables estudiadas, excepto estructura y apariencia de la miga. Previo al análisis de varianza de textura de grano se realizó una transformación logarítmica de los datos porcentuales. Los ambientes y genotipos se consideraron como factores de efectos aleatorios; el análisis de varianza se realizó mediante el procedimiento GLM del SAS (SAS, 1994). Se comparó el grupo de variedades nuevas contra el grupo de variedades testigo, en este caso "grupos" se consideró como factor de efectos fijos. Se estimaron las varianzas para cada una de las fuentes de variación mediante el procedimiento VARCOMP del SAS; las varianzas fueron expresadas en porcentajes de la variación total ($\sigma^2_L + \sigma^2_{R(L)} + \sigma^2_G + \sigma^2_{L \times G} + \sigma^2_E = 100 \%$), y graficadas. Por último, las medias para ambientes, genotipos y grupos fueron comparadas mediante la diferencia mínima significativa honesta (DMSH) a una probabilidad de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Causas de la variación

Los efectos de localidades, genotipos y su interacción produjeron variación altamente significativa en cada caso (Cuadro 1). La contribución relativa a la variación total de cada una de las fuentes de variación se presenta en la Figura 1. Excepto para textura de grano y fuerza del gluten, la variación ambiental fue la más importante en las variables estudiadas. La variación de los contenidos de proteína en el grano y en la harina fue principalmente debida al efecto de la localidad (72 y 68 %, respectivamente). Para las variables alveograma-P/L y rendimiento de grano la varia-

ción total fue explicada en 52 % por las localidades, mientras que en variables como volumen de pan, volumen de sedimentación, tiempo de amasado y alveograma-P/G, 40 y 50 % de la variación total fue debida a las localidades de prueba. La variación total del peso hectolítrico y de la textura de grano fue debida a las localidades en el intervalo de 30 a 40 %. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Peterson *et al.* (1992), Graybosch *et al.* (1996), Bergman *et al.* (1998) y Espitia-Rangel *et al.* (1999a, 1999b), en los que los ambientes fueron la principal fuente de variación en caracteres de calidad industrial como la proteína en la harina, proteína en el grano, alveograma-P/L, volumen de pan y volumen de sedimentación.

Cuadro 1. Cuadros medios del análisis de varianza para variables de calidad y rendimiento de 15 genotipos de trigo (variedades nuevas y testigo) en once localidades de temporal. P-V 1999.

Variable	Localidad	Rep (Loc)	Variedad	VN vs VT	Var x Loc	Error
Peso hectolítrico	117.12**	6.08	57.59**	229.09**	4.27**	1.39
Textura del grano	0.18**	0.01	0.10**	0.12**	0.01**	0.003
Actividad enzimática	243486.53**	18529.70	14825080.00**	505147.90**	18529.70**	6133.44
Proteína en grano	34.79**	0.76	3.73**	0.003ns	0.45**	0.27
Proteína en harina	30.87**	0.29	4.15**	4.81**	0.28**	0.14
Volumen de sedimentación	200.24**	3.18	86.15**	119.46**	4.13**	1.89
Alveograma-W	122638.89**	6124.44	256216.19**	992251.30**	7415.35**	2230.66
Alveograma-G	20.91**	0.58	6.89**	19.51**	0.81**	6.21
Alveograma-P/L	1.91**	0.06	0.27**	0.48**	0.07**	0.02
Tiempo de amasado	13.65**	0.09	8.00**	33.33**	0.31**	0.08
Rendimiento de grano	14728252.10**	405371.99	2254359.20**	12265968.00**	409992.50**	263672.70
Volumen de pan	233722.71**	4208.33	66809.06**	73227.84**	7552.05**	2670.02

*, **, ns Diferencias significativas, altamente significativas y no significativas, respectivamente. VN=Variedades nuevas Juchi F2000, Náhuatl F2000, Tlaxcala F2000 y Rebeca F2000); VT= Variedades testigo: Gálvez M87, Temporalera M87, Batán F96 y Romoga F96.

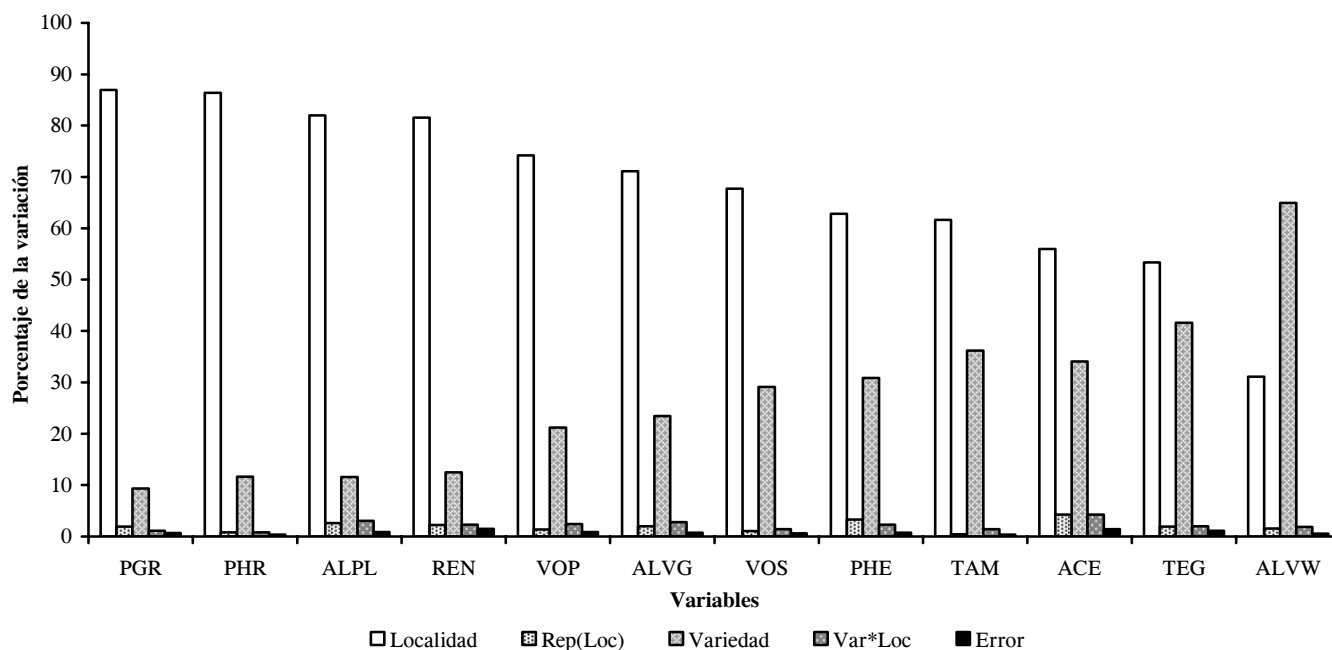


Figura 1. Proporción de la variación debida a las diferentes fuentes de variación de once variables de calidad y rendimiento de grano de 15 genotipos de trigo evaluados en once ambientes de temporal. PGR = Proteína en grano; PHA = Proteína en la harina; ALPL = Alveograma-P/L; REN = Rendimiento de grano; VOP = Volumen de pan; ALPG = Alveograma-P/G; VOS = Volumen de sedimentación; PHE = Peso hectolítrico; TAM = Tiempo de amasado; ACE = Actividad enzimática; TEG = Textura de grano; ALVW = Alveograma-W.

La variación entre los efectos de los genotipos fue más importante que la variación de efectos de localidad para textura del grano y alveograma-W, con 35 y 57 % de la variación total, respectivamente. En el tiempo de amasado la variación debida al efecto del genotipo fue de 35% de la variación total, mientras que en variables como peso hectolítrico, volumen de sedimentación, actividad enzimática y alveograma-P/L, la variación genotípica representó 20 y 30 % de la variación total. Estos resultados coinciden con los reportados por Pomeranz *et al.* (1985) y Bergman *et al.* (1998), quienes mencionan al genotipo como la principal fuente de variación para alveograma-W y textura de grano.

La variación debida a la interacción genotipo x ambiente, en general fue menor de 30 % con respecto a la total; para variables como alveograma-P/L, alveograma-P/G y actividad enzimática la proporción respecto al total fue ligeramente mayor a 20 %. En características como volumen de pan, tiempo de amasado, peso hectolítrico y alveograma-W, la variación genotipo x ambiente representó una proporción de 10 a 20 %. La proporción de la variación de origen genético respecto al total de la variación de la interacción genotipo x ambiente, para características como proteína en el grano, proteína en la harina, rendimiento de grano, volumen de sedimentación y textura de grano estuvo por debajo de 10 %; esto indica que en estas características los genotipos producen efectos que varían poco entre ambientes. El efecto de la interacción genotipo x ambiente fue mayor que el efecto del genotipo en alveograma-P/L, alveograma-P/G y actividad enzimática, mientras que el efecto de la interacción fue similar para rendimiento de grano y volumen de pan. Estos resultados concuerdan con los de Peterson *et al.* (1992), quienes señalan efectos sobre la variación debida a la interacción genotipo x ambiente

para tiempo de amasado, volumen de sedimentación y proteína en la harina.

La variación atribuible al error fue mayor para el rendimiento de grano, la actividad enzimática y la textura de grano, con proporciones mayores a 20 %. En el intervalo de 10 a 20 % estuvieron la proteína en la harina, la proteína en grano, alveograma-P/L, volumen de pan, volumen de sedimentación, alveograma-P/G, peso hectolítrico y alveograma-W.

De la variación total, la mayor parte fue debida a efectos de localidades en las diferentes variables de calidad, y fue más evidente en promedios de los genotipos entre las 11 localidades de prueba (Cuadro 2). El intervalo de los promedios entre localidades fue mayor para las variables peso hectolítrico, proteína en grano, proteína en la harina, volumen de sedimentación, actividad enzimática, alveograma-P/L, alveograma-P/G, volumen de pan y rendimiento de grano; esto indica que las diferencias entre efectos de localidades fue una componente importante de la variación total para la mayoría de las variables de calidad. Lo anterior muestra que la variación ambiental es una componente importante de la variación total en las variables de calidad.

En el presente estudio, por ejemplo, el promedio del volumen de pan por ambientes varió de un nivel muy pobre de 691 cm³ hasta un valor muy bueno para un trigo panadero de 953 cm³, mientras que por genotipo varió de 711 a 904 cm³. Estos resultados en esencia concuerdan con los encontrados por Peterson *et al.* 1992, quienes para ambientes reportan mayores intervalos para rendimiento de grano, tiempo de amasado y volumen de sedimentación. También se puede ver que las zonas donde se está cultivando el trigo de temporal se caracterizan por localidades

Cuadro 2. Medias de variables de calidad y rendimiento de 11 localidades en 15 genotipos de trigo para temporal. P-V 1999.

Localidad	Análisis físico		Análisis químico				Análisis reológico				Panificación		Rendimiento de grano kg ha ⁻¹
	TEG %	PHE kg hL ⁻¹	PGR g kg ⁻¹	PHA g kg ⁻¹	VOS mL	ACE s	ALVW 10 ⁻⁴ J	ALPL 0.1-6	ALPG 1.5-14	TAM min	VP cm ³	Miga MB-MP	
Santiago Tillo, Oax	53	75	135	119	17.1	571	449	0.53	3.0	3.7	953	B	2803
Amealco, Qro.	48	79	145	132	21.4	429	289	0.49	2.9	2.0	927	MB	2162
Jesús María, Jal	47	77	140	118	19.0	564	314	0.45	2.5	2.0	913	MB	2752
Apizaco, Tlax	51	77	131	118	17.9	662	350	0.86	4.2	2.1	852	B	4043
Juchitepec, Méx	48	78	122	110	20.1	478	473	0.68	3.7	3.1	851	MB	3507
Tecamac, Méx	40	77	125	111	19.8	614	319	0.74	3.8	2.0	820	MB	2828
Coatepec, Méx	53	73	126	111	21.0	602	395	0.63	3.5	2.4	791	MB	2065
Cuyuaco, Pue	50	77	117	104	15.1	686	327	0.86	4.1	2.9	779	P	3863
Roque, Gto	51	75	111	94	13.0	406	406	1.07	4.6	3.7	765	MB	3863
Buenevista, Mor	47	78	115	103	16.2	606	508	1.19	5.0	2.5	694	P	2500
Nanacamilpa, Tlax	49	72	121	105	18.8	538	351	1.06	4.9	2.0	691	R	3420
DMSH	4.1	2.5	9	5.6	1.8	93	80	0.3	0.8	0.3	66.4		652

TEG = Textura del grano; PHE = Peso hectolítrico; PGR = Proteína en el grano; PHA = Proteína en la harina; VOS = Volumen de sedimentación; ACE = Actividad enzimática; ALVW = Alveograma-W; ALPL = Alveograma-P/L; ALPG = Alveograma-P/G; TAM = Tiempo de amasado; VP = Volumen de pan; MP = Muy pobre, P = Pobre, R = Regular, B = Bueno y MB = Muy bueno.

de bajo a alto rendimiento con baja a buena calidad industrial, cuya desuniformidad pone en desventaja al trigo de temporal en relación con el trigo de riego. Sin embargo, hubo localidades como Apizaco, Tlax. y Juchitepec, Méx. en las que se conjuntó alto rendimiento con muy buena calidad, lo que demuestra la conveniencia de tener una caracterización precisa de los ambientes de producción. También se refuerza la importancia de conocer la naturaleza de la variación total, la influencia del ambiente, del genotipo y de su interacción, como base para establecer estrategias de selección de variedades de mejor calidad, para elegir sitios representativos en la evaluación de la calidad de ensayos de rendimiento, y para establecer estrategias de producción y comercialización de trigo de temporal.

Según los intervalos de los promedios entre genotipos, la variación genotípica fue mayor con respecto a la variación total solamente para textura de grano, alveograma-W

y tiempo de amasado (Cuadro 3). Los trigos de temporal se caracterizan por tener textura de grano de 45 a 61 %, peso hectolítrico de 74 a 79 kg hL⁻¹, contenido de proteína en el grano de 118 a 139 g kg⁻¹, contenido de proteína en la harina de 104 a 118 g kg⁻¹, volumen de sedimentación de 15 a 20.9 mL, actividad enzimática de 369 a 666 s, alveograma-W de 174 a 528 x 10⁻⁴ J, alveograma-P/L de 0.61 a 1.0, un alveograma-P/G de 3.1 a 4.9, tiempo de amasado de 1.6 a 3.6 min, volumen de 711 a 904 cm³ y calidad de la miga desde pobre a muy buena. En general, la calidad industrial de los trigos mexicanos de temporal es muy buena y no dista mucho de la calidad reportada (Peterson *et al.*, 1992; Souza *et al.*, 1993) para los trigos rojos de invierno. En relación con la calidad reportada (Canadian Wheat Board, 2001) para los trigos rojos de primavera, los trigos mexicanos de temporal están en desventaja en el contenido de proteína y volumen de pan.

Cuadro 3. Medias de variables de calidad y rendimiento de 15 genotipos de trigo en 11 localidades de temporal. P-V 1999.

Genotipo	Análisis físico		Análisis químico				Análisis reológico				Panificación		Rendimiento de grano kg ha ⁻¹
	TEG %	PHE kg hL ⁻¹	PGR g kg ⁻¹	PHA g kg ⁻¹	VOS mL	ACE s	ALVW 10 ⁻⁴ J	ALPL 0.1-6	ALPG 1.5-14	TAM min	VP cm ³	Miga MB-MP	
Juchi F2000	46	79	127	115	19.4	618	432	0.61	3.6	3.3	904	MB	3481
Náhuatl F2000	51	75	130	117	20.9	562	528	0.78	4.1	3.3	893	MB	3304
Gálvez M87	61	74	139	105	17.9	369	349	0.63	3.3	2.4	867	MB	2623
Arandas F90	48	76	128	112	18.8	652	365	0.85	4.2	2.4	858	B	3301
Temporalera M87	49	75	127	113	17.7	527	331	0.71	3.6	2.5	852	B	2840
Pavón F76	49	75	130	113	20.4	568	301	0.81	3.9	1.9	849	B	2792
Rebeca F2000	47	78	121	107	18.3	529	483	0.85	4.9	3.2	847	MB	3455
Tlaxcala F2000	48	79	125	112	18.4	666	508	1.00	4.9	3.6	820	B	3371
Pino/IMU/ROM.	48	77	126	113	20.4	564	431	0.81	4.1	3.1	815	B	3412
Zacatecas VT74	48	75	129	114	17.7	618	358	0.73	3.6	2.8	808	B	2481
Batán F96	48	74	121	106	14.8	425	277	0.79	3.7	2.1	799	R	3210
ZAC/ROM	45	77	132	118	17.0	622	282	0.74	3.5	2.2	790	P	2867
Romoga F96	49	78	126	113	20.0	625	394	0.82	4.1	2.9	783	B	2826
ROM/BUC/GJO s	50	77	121	118	15.2	506	174	0.74	3.2	1.6	725	P	3074
ROM/BUC/GJO	49	76	118	104	15.0	543	176	0.67	3.1	1.9	711	P	3054
Media	49	76.3	126	111	18.1	559.6	359	0.78	3.8	2.6	821		3073
DMSH	3.86	2.15	7.0	5.5	2.16	142	89.65	0.27	0.94	0.58	90.45		667
C V	5.7	1.5	4.2	3.4	7.6	13.9	13.1	16.8	11.9	10.8	6.3		16.7

TEG = Textura del grano; PHE = Peso hectolítrico; PGR = Proteína en el grano; PHA = Proteína en la harina; VOS = Volumen de sedimentación; ACE = Actividad enzimática; ALVW = Alveograma-W; ALPL = Alveograma-P/L; ALPG = Alveograma-P/G; TAM = Tiempo de amasado; VP: Volumen de pan; MP = Muy pobre, P = Pobre, R = Regular, B = Bueno y MB = Muy bueno.

Cuadro 4. Medias de variables de calidad y rendimiento por grupos de genotipos de trigo nuevos y antiguos, en 11 localidades de temporal. P-V 1999.

Genotipo	Análisis físico		Análisis químico				Análisis reológico				Panificación		Rendimiento de grano kg ha ⁻¹
	TEG %	PHE kg hL ⁻¹	PGR g kg ⁻¹	PHA g kg ⁻¹	VOS mL	ACE s	ALVW 10 ⁻⁴ J	ALPL 0.1-6	ALPG 1.5-14	TAM min	Volumen de pan cm ³	Miga MB-MP	
Variedades nuevas	48	78	126	113	19.2	594	488	0.84	4.3	3.4	866	MB	3403
Variedades testigo	52	76	126	109	17.7	486	340	0.74	3.7	2.5	825	B	2875
Media	49.9	76.4	126	111	18.5	540	414	0.8	3.9	2.9	846		3139
DMSH	1.1	0.7	2.5	1.4	0.7	59.5	28.2	0.1	0.3	0.2	40.9		245
C V	11.3	3.2	5.5	5.8	13	25.6	19.8	29	21.5	16.6	8.9		18.6

TEG = Textura del grano; PHE = Peso hectolítrico; PGR = Proteína en el grano; PHA = Proteína en la harina; VOS = Volumen de sedimentación; ACE = Actividad enzimática; ALVW = Alveograma-W; ALPL = Alveograma-P/L; ALPG = Alveograma-P/G; TAM = Tiempo de amasado; MB = Muy bueno, MP = Muy pobre y B = Bueno.

Comparación de variedades

Entre las variedades nuevas y las variedades testigo se encontraron diferencias significativas en todas las variables de calidad, excepto en la proteína del grano (Cuadro 4). Con relación a la calidad física, las nuevas presentaron mayor dureza de grano y mayor peso hectolítrico que las variedades testigo. Destaca la dureza de las variedades Juchi F2000, Tlaxcala F2000 y Rebeca F2000 (Cuadro 3), lo cual es importante en siembras de temporal donde con frecuencia llueve cuando el grano ya está maduro. Estas mismas variedades destacan por su peso hectolítrico, que les confiere ventaja para la comercialización de trigo, además de que a mayor peso hectolítrico se obtiene mayor rendimiento harinero (Finney *et al.*, 1987; Seleny, 1988).

En el análisis químico las variedades nuevas superaron a las variedades testigo en las tres variables. En proteína en la harina destacan Juchi F2000 y Náhuatl F2000 con 117 y 115 g kg⁻¹, respectivamente. El mayor contenido de proteína confiere a la masa de trigo mayor calidad industrial y en algunos países es utilizado para la comercialización e inclusive para pagar premios (He y Hoseney, 1992; Hoseney, 1994); sin embargo, los contenidos de proteína de los trigos mexicanos de temporal son menores a los de los trigos actualmente importados (Canadian Wheat Board, 2001). Hay evidencias de que mediante cruzamiento de progenitores con alto contenido de proteína y selección para este carácter (Peña *et al.*, 2002), se pueden obtener líneas para siembras de temporal que puedan igualar a los trigos rojos de invierno, e inclusive a los trigos rojos de primavera; para ello es necesario implementar un programa de identificación de genotipos de alta proteína para su cruzamiento y selección por contenido de la misma. Con relación al volumen de sedimentación, destacan las variedades Náhuatl F2000, Romoga F96 y Juchi F2000 con valores alrededor de 20 mL, que significa que la masa de estas variedades tiene una mayor fuerza y pueden ser utilizadas en la industria panadera. En actividad enzimática destacan las variedades Tlaxcala F2000, Romoga F96 y Juchi F2000, con valores superiores a 600 s, estos valores significan que a menor actividad enzimática mayor tolerancia a la germinación en la espiga y, por tanto, menor hidrólisis del almidón y mejor calidad de panificación (Finney *et al.*, 1987); ésta es una característica altamente deseable en variedades para temporal.

En el análisis reológico, las variedades nuevas superaron a los testigos en alveograma-W, en particular las variedades nuevas con una fuerza de gluten entre 432 y 528 x 10⁻⁴ J. En tiempo de amasado las variedades nuevas también presentaron valores más altos, de 3.2 a 3.6 min. Estas dos variables se utilizan como una medida de la fuerza de la masa, pues una mayor fuerza se traduce en mayor vo-

lumen de pan y mejor calidad de la miga. En alveograma-P/L las variedades testigo presentaron mejores valores que las variedades nuevas, donde destacan las variedades Juchi F2000, Gálvez M87, Temporalera M87 y Náhuatl F2000, con valores menores a 0.79. En alveograma-P/G las variedades testigo presentaron valores menores; sin embargo, de acuerdo con los valores encontrados, todas las variedades son balanceadas. Estos dos caracteres determinan la extensibilidad de la masa y tanto las variedades testigo como las variedades nuevas presentaron buenos niveles para este carácter. Los parámetros reológicos miden la fuerza y la extensibilidad de la masa y consecuentemente las propiedades visco-elásticas de la misma (Tipples *et al.*, 1982; Hoseney, 1985); ello implica que los trigos mexicanos de temporal presentan valores de fuerza y extensibilidad comparables a los de los trigos importados con alveogramas-W por encima de 400 x 10⁻⁴ J y alveogramas-P/G menores de 4.5 (Canadian Wheat Board, 2001).

En la prueba de panificación, las variedades nuevas superaron a las variedades testigo tanto en volumen de pan como en calidad de la miga; aquí destacaron las variedades Juchi F2000, Náhuatl F2000 y Gálvez M87 con volúmenes de pan de 904, 893 y 867 cm³, respectivamente, y además las tres variedades presentaron una miga de calidad muy buena. El volumen de pan y la calidad de la miga son las variables que determinan la calidad panadera de un trigo. Las variedades nuevas Juchi F2000 y Náhuatl F2000 presentaron volúmenes de pan cercanos a 971 cm³ de los trigos rojos de invierno, pero bajos comparados con los más de 1000 cm³ de los trigos rojos de primavera; sin embargo, para México son volúmenes de pan excelentes, sobre todo si se considera la gama de ambientes a través de los cuales fueron evaluados en la presente investigación.

En rendimiento de grano las variedades nuevas en promedio superaron a las variedades testigo, 3403 y 2875 kg ha⁻¹, respectivamente. Con base en las características físicas, químicas, reológicas y de panificación, las variedades nuevas fueron superiores en calidad a las variedades testigo, en especial las variedades Juchi F2000 y Náhuatl F2000.

CONCLUSIONES

Las localidades fueron el factor de variación más importante en caracteres de calidad como peso hectolítrico, actividad enzimática, proteína en el grano y en la harina, fuerza general de gluten (volumen de sedimentación), extensibilidad de masa (alveograma-P/L y P/G), tiempo de amasado, volumen de pan, así como en rendimiento de grano. Los genotipos fueron la principal fuente de variación para textura de grano y fuerza de gluten (alveograma-W). La otra variable que expresa la de fuerza de gluten,

tiempo de amasado, así como la actividad enzimática, fueron afectadas por el genotipo de una manera considerable aunque en menor grado que por el ambiente. La variación debida a la interacción genotipo x localidad fue menor que la debida a causas ambientales para las variables alveograma-P/L, alveograma-P/G y actividad enzimática, mientras que en volumen de pan y rendimiento de grano tal proporción fue muy similar a la de la variación debida al genotipo, respecto a la variación total.

La calidad de los trigos mexicanos para temporal o seco es diversa, y está caracterizada por texturas de grano desde suave hasta dura, peso hectolítrico medio bajo a alto, contenido de proteína en grano y harina desde ligeramente bajo a alto, actividad enzimática baja, fuerza de gluten media a alta, con buena extensibilidad, tiempo de amasado ligeramente corto a largo, volumen de pan ligeramente bajo a alto y una miga de pan de pobre a muy buena.

Las variedades nuevas para temporal o seco serie F2000 superaron a las variedades testigo tanto en rendimiento como en todas las variables de calidad, excepto en extensibilidad de gluten. Juchi F2000 y Náhuatl F2000 fueron las variedades de mejor calidad industrial. Las variedades serie F2000 constituyen un avance genético considerable tanto en el potencial de rendimiento y baja actividad enzimática, como en la calidad industrial en los trigos de temporal. Aún cuando los nuevos trigos mexicanos ya igualan la calidad intrínseca de los trigos rojos de invierno de los Estados Unidos de Norteamérica, todavía están por debajo en contenido de proteína y volumen de pan. Por tanto, es importante enfocar nuevas investigaciones y estrategias de mejoramiento encaminadas a incrementar el contenido de proteína de los trigos mexicanos de temporal.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONACYT (Proyectos I29928B y 34718-B) y Alianza para el Campo (Proyecto 5335-Estado de México) el financiamiento otorgado para la realización de la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- American Association of Cereal Chemists (1995)** Approved methods of the AACC, 9th ed. AACC, St. Paul, MN, USA. 1268 p.
- Bergman C J, D G Gualberto, K G Campbell, M E Sorrels, P L Finney (1998)** Genotype and environment effects on wheat quality traits in a population derived from a soft by hard cross. *Cer. Chem.* 75(5):729-737.
- Canadian Wheat Board (2001)** Canada western red spring wheat average quality data for 1996-2000. November Bulletin. Winnipeg, Canada. 5 p.
- Contreras R M, J Zárate, H Santoyo, R Pérez (1993)** Perspectivas de la Producción de Trigo en la Región Sur de Sonora al Tratado de Libre Comercio. Dirección de Estudios Regionales Universitarios. UACH. México. 88 p.
- 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.
- 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.
- 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.
- He H, R C Hosoney (1992)** Effect of the quantity of wheat flour protein on bread loaf volume. *Cer. Chem.* 69: 17-19.
- Hosoney R C (1985)** The mixing phenomenon. *Cereal Foods World* 30:453-457.
- Hosoney R C (1994)** Principles of Cereal Science and Technology. Sec Ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. S. Paul, Min. 378 p.
- 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*, A S Basra, L S 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.
- Pomeranz J, C J Peterson, P J Mattern (1985)** Hardness of winter wheats grown under widely different climatic conditions. *Cer. Chem.* 62:463-467.
- Rodríguez V J (1992)** La importancia del trigo en la producción de alimentos en México. Ira Conferencia Nacional de Trigo en México. SARH-INIFAP-CIFAP Sonora, Cd Obregón, Son. México. pp: 5-34.
- Seleny L (1988)** Criteria of wheat quality. *In: Wheat Chemistry and Technology.* American Association of Cereal Chemists. Y Pomeranz (ed). St. Paul, MN, USA. pp: 19-47.
- Souza E J, M Tyler, D Kephart, M Kruk (1993)** Genetic improvement in milling and baking quality of hard red spring wheat cultivars. *Cer. Chem.* 70(3): 280-285.
- Statistical Analysis System (1994)** SAS/STAT User's guide: GLM-VARCOMP. 6.04 Fourth Ed. Cary NC. pp:891-996.
- Tipples K H, K R Preston, R H Kilborn (1982)** Implications of the term strength as related to wheat and flour quality. *Bakers Digest*, December:16-20.
- Villaseñor M E, R E Espitia (1994)** La producción de trigo y la investigación agrícola en México. *In: M Bauer, I Chong, E Moreno, J Quintanilla, F Torres (Comps.) El Agua y la Energía en la Cadena Alimentaria: Granos Básicos.* UNAM. México D. F. pp: 91-103.