

Variaciones reológicas y calidad industrial de trigos harineros en Sonora

Gilberto Rodríguez-Pérez¹
Martín Quintana-Camargo²
Luis Latournerie-Moreno³
Alfredo Josué Gámez-Vázquez⁴
Miguel Ángel Ávila-Perches⁴
Francisco Javier Verduzco-Miramón^{5,§}

1 Tecnológico Nacional de México-Campus IT Valle del Yaqui. Av. Tecnológico Block 611, Valle del Yaqui Báuam, Ciudad Obregón, Sonora. CP. 85276. Tel. 644 4613182 (gilberto.rp@vyaqui.tecnm.mx).

2 Centro Nacional de Recursos Genéticos-INIFAP. Blvd. de la Biodiversidad 400, Rancho las Cruces, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. CP. 47610. Tel. 378 1065020. (martin.quintana@academicos.udg.mx).

3 Tecnológico Nacional de México-Campus IT Conkal. Av. Tecnológico s/n, Conkal, Yucatán. CP. 97345. Tel. 999 9124130. (luis.lm@conkal.tecnm.mx).

4 Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato. CP. 38110. (gamez.josue@inifap.gob.mx; avila.miguel@inifap.gob.mx).

5 Tecnológico Nacional de México-Campus ITES Zamora. Carretera La Piedad-Zamora km 7, Zamora de Hidalgo, Michoacán. CP. 59720. Tel. 351 5200219.

Autor para correspondencia: francisco.vm@zamora.tecnm.mx

Resumen

El trigo representa cerca del 12% del valor total de las importaciones agrícolas en México, mayormente utilizado para elaborar pan, pastas, galletas y tortillas de harina. El objetivo de investigación fue determinar la variación reológica en masa y calidad industrial de 12 líneas avanzadas de trigos harineros. El experimento se estableció en el Valle del Yaqui, bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones a temperatura promedio de 17.1 °C. La unidad fue de cuatro surcos de 3 m de longitud y 80 cm de separación a doble hilera, en dos fechas de siembra del ciclo agrícola 2020-2021. Las variables evaluadas fueron: peso hectolítrico y de mil granos, proteína en harina, fuerza, tenacidad/extensibilidad, dureza de grano y volumen de pan. Los resultados muestran diferencias estadísticas entre factores principales (fechas, líneas) y su interacción en todas las variables; las propiedades funcionales en harina y valores en índices de selección favorecieron a L-5, L-2, L-3, L-7 y Borlaug, entre caracteres físicos y químicos se encontró correlación positiva. En conclusión, la siembra en noviembre favoreció la concentración de proteína en el grano y asociado con masa fuerte y extensible, presentó volúmenes mayores de pan.

Palabras clave:

Triticum aestivum, calidad industrial, propiedades reológicas.

Introducción

El trigo es el tercer producto con mayor valor en importaciones agropecuarias de México, con cerca del 12%, sólo detrás de la soya y maíz amarillo; mayormente de Estados Unidos. Se trata de un producto importante en la industria panificadora, ya que por su calidad nutrimental se usa para elaborar pan, pastas, galletas y tortillas de harina (Guerrini *et al.*, 2020), ya que contiene hasta 12.6% de proteína, 350×10^{-4} J de fuerza de la masa, 1.2 de relación tenacidad-extensibilidad y 842 ml de volumen de pan (Canimolt, 2022). Además, su importancia también radica en sus productos de derivación, tanto artesanales como industriales.

El desarrollo, producción y la calidad del trigo, como en otros cereales, está influido por factores ambientales, principalmente temperaturas y fechas de siembra. Si bien las necesidades de frío no son similares para todas las variedades, las que rondan entre 10 y 24 °C obtienen mejor rendimiento de grano y calidad industrial (CONAGUA, 2021).

Durante el ciclo agrícola 2022, en México se produjeron 3.6 millones de toneladas de trigo (2.08 millones cristalinos y 1.52 harineros), con rendimientos promedios de 6.61 t ha^{-1} (SIAP, 2022). Durante este mismo ciclo en Sonora se produjo 57% de la producción nacional, siendo el primer lugar con 2.08 millones de t (1.76 millones de toneladas cristalinos y 258 000 t de harineros (SIAP, 2022). El trigo harinero tiene relevancia económica y social en Sonora, ya que su consumo es mayormente local, mientras el cristalino tiende a exportarse. Al final, este factor es de suma importancia para tener nuevos germoplasmas harineros que puedan establecerse en mayor superficie y cumplan con las necesidades específicas molineras (SIAP, 2022).

La clasificación del trigo se realiza en función de su calidad, la cual depende directamente del tipo de gluten, los subproductos derivados de la harina y las propiedades funcionales de ésta última para elaborar masas con mayor tenacidad y menor extensibilidad (Parenti *et al.*, 2019). Investigaciones como la de Liu *et al.* (2019) contribuyen a la mejora en la calidad de los granos y la obtención de productos con rasgos para fines industriales. Además, con base en estos estudios se determinó que el manejo agronómico afecta significativamente la composición química del grano, por ende, la reología de la masa y en última instancia, la calidad industrial (Cappelli *et al.*, 2020). Debido a lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar la variación reológica en masa y calidad industrial de 12 líneas avanzadas de trigos harineros.

Materiales y métodos

Material genético y desarrollo del experimento

Los ensayos se establecieron en el campo experimental del Tecnológico Nacional de México-Valle del Yaqui, en Ciudad Obregón, Sonora, México (27° 24' 51" latitud, 100° 75' 2" longitud y altura de 13 msnm). El clima predominante es BW (h), muy cálido extremoso; la temperatura media anual es de 24°C y la media máxima de 31°C, entre julio y agosto la máxima es de 48 °C y en enero la mínima de 16 °C, precipitación promedio de 450 mm anuales. Los suelos cultivables son francos (21.96% arcilla, 46.04% arena, 32% limo y 0.86% materia orgánica) (García, 1973).

La práctica inició en otoño-invierno 2019-2020 al evaluar 276 líneas avanzadas de trigos harineros (ensayo 52 IBWSSN-131), facilitadas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). En éste resaltaron 12 líneas con caracteres agronómicas como madurez fisiológica, rendimiento de grano, altura de planta, número de espigas, peso de mil granos y peso hectolítrico (Cuadro 1). La siembra fue en dos fechas (20 de octubre y 20 de noviembre), tomando como testigo la variedad comercial Borlaug F100, para evaluar su variación de masa y calidad industrial (Cuadro 2).

Cuadro 1. Promedio de las líneas de trigo harineros que sobresalieron en otoño-invierno, 2019-2020, en el Valle del Yaqui, Sonora.

Línea	RG (t ha ⁻¹)	MF (días)	AP (cm)	NE (núm.)	PMG (g)	PH (kg hl ⁻¹)
L-1	4.83	121.5	91	713	31	79.3
L-2	5.54	131	101.5	813.5	31.5	79.05
L-3	4.9	125.5	98.5	745.5	30.5	78.15
L-4	6.12	129.5	102.5	894	32.5	79.3
L-5	7.33	130	100.5	1014.5	33.5	81.8
L-6	4.89	128.5	91.5	718	30.5	74.9
L-7	4.34	123.5	91.5	854.5	29.5	71.75
L-8	5.97	130.5	104	693.5	32.5	79.8
L-9	4.19	124.5	94	858.5	30.5	75.5
L-10	5.4	125	94.5	804.5	32	79.45
L-11	4.94	127.5	96.5	854	31	77.5
L-12	5.57	131	103	949.5	31.50	78.5
Borlaug F100	6.38	130.5	102	976.5	34	80.3
Media	5.41	127.58	97.77	837.65	31.58	78.1

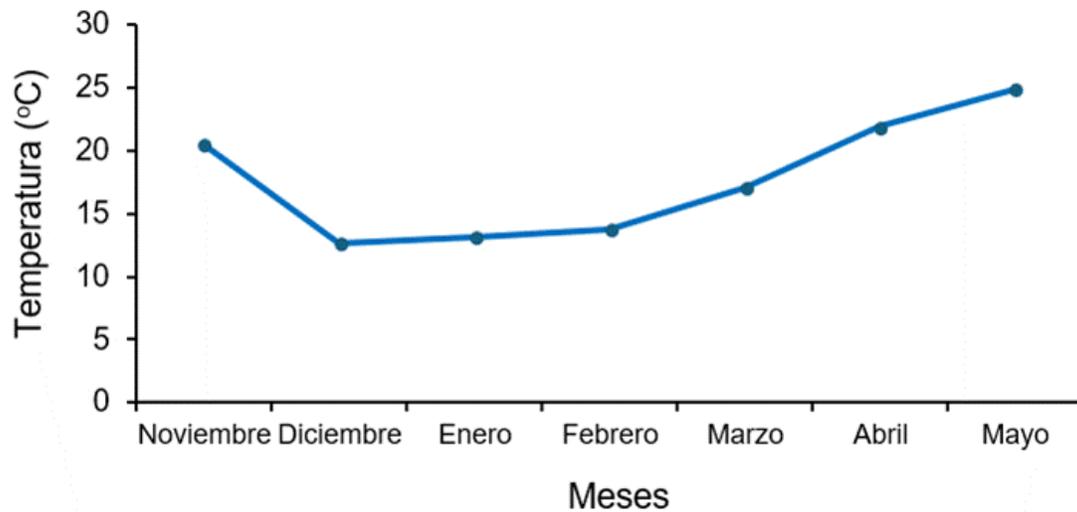
Cuadro 2. Genealogía de trigos harineros evaluadas en el TecNM-Valle del Yaqui, Sonora, México, para calidad industrial.

Línea	Genealogía	Línea	Genealogía
L-1	CMSS07Y01083T-099TOPM	L-8	CMSS12Y00163S-152M-099NJ-3
L-2	CMSS10Y00374S-099M-1WGY-0B	L-9	CMSS12Y00235S-099Y-099N
L-3	CMSS10Y00023S-099Y-4WGY	L-10	CMSS12Y00276S-099Y-0WGY
L-4	CMSS12Y00031S-38Y-0WGY	L-11	CMSS12Y00276S-099Y-0WGY
L-5	CMSS12Y00064S-130M--0WGY	L-12	CMSS12Y00276S-099Y-16Y
L-6	CMSS12Y00069S-119Y-20Y	Testigo	Borlaug F100
L-7	CMSS12Y00070S-112M-21Y		

La unidad experimental se estableció con cuatro surcos de tres metros de longitud y una separación de 80 cm entre ellos, formados a doble hilo, para tener un área útil de 9.6 m². El experimento se realizó bajo condiciones de riego en bloques al azar con tres repeticiones. En la Figura 1 se observan las temperaturas durante el ciclo de siembra.



Figura 1. Temperaturas durante el establecimiento del experimento en el Valle del Yaqui 2020-2021.



Desarrollo en laboratorio

Las variedades de análisis fueron peso hectolítrico de (kg hl^{-1}), en una muestra de 500 ml de grano en una balanza volumétrica (Seedburo Equipment Co., Chicago, IL.), peso de mil granos, por triplicado mediante conteo de granos y su pesaje (g) en una báscula digital. Éstas fueron definidas en el laboratorio de calidad industrial del CIMMYT. Por su parte, la fuerza (W) y la relación de tenacidad/extensibilidad (PL) de la masa, se calcularon del alveograma obtenido de 60 g de harina refinada utilizando el alveógrafo de Chopin (Tripette y Renaud, Francia) con el método 54-30A de la AACC (2005).

Finalmente, la proteína en harina se estableció por el método Kjeldahl, mediante la determinación de nitrógeno orgánico, mismo que consistió en dirigir las proteínas en una mezcla con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores; la mezcla digerida se neutralizó con una base y se destiló posteriormente, en el destilado se recogió en una solución de ácido bórico, los aniones del borato así formado se titulan con HCl estandarizado para determinar el nitrógeno contenido en la muestra.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza mediante el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS versión 9.4 (2012). Al encontrar diferencias significativas se realizó la comparación de medias, a través de la prueba de diferencia mínima significativa LSD ($p \leq 0.05$). Para discriminar las líneas se estimaron los índices de selección, para la selección de líneas entre las propiedades de calidad industrial se construyeron los índices con base en la metodología propuesta por Barreto *et al.* (1991). Este es eficiente para la selección simultánea de varias características, la fórmula empleada para estimar el índice fue la siguiente:

$$IS = \left\{ \left[(Y_j - M_j)^2 \cdot I_j \right] + \left[(Y_i - M_i)^2 \cdot I_i \right] + \dots + \left[(Y_n - M_n)^2 \cdot I_n \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Donde: IS= índice de selección; Y= variable; M= meta de selección; I= intensidad de selección.

La meta de selección se asignó a cada variable, refiriendo las unidades de desviación estándar promedio deseadas en la selección, es decir valores de -3 a +3. Con valor negativo serán las que

se encuentren por debajo de la media, positivo las que sean superiores y aquellas cercanas al promedio se utilizan valores de cero.

La intensidad de selección es el grado de importancia asignada a cada variable seleccionada, misma que toma valores de uno a 10. Durante el desarrollo del cultivo se presentaron temperaturas de 14 °C por debajo en las etapas de amacollamiento y floración (Figura 1). El valor de intensidad más pequeño (1) fue asignado a la variable de menor interés y el valor más alto (10) representó la variable de mayor importancia; para PH (10), PMG (9), proteína (10), fuerza (5), PL (10), DG (5) y VP (8).

Las variables incluidas se encontraban con valores distintos en (%), ml g⁻¹, etc., por lo que fue necesario estandarizar todas, de modo que los caracteres lograran combinarse mediante esta fórmula. Donde: Z= valor estandarizado; j= valor observado para cada híbrido j; y= promedio de todas las líneas; s= desviación estándar del grupo de líneas.

Con respecto al valor estandarizado de las variables, entre más próximo con la meta deseada más pequeño fue el valor del índice de selección y más cercano con las líneas de los criterios deseados. Por el contrario, entre más grande era el valor del índice, más alejadas estaban las líneas de los resultados esperados. Las líneas con índice de selección más pequeño se consideraron superiores, al reunir la mayoría de los caracteres requeridos en la selección. La construcción de los índices se consideró mayor proteína, buena extensibilidad y tenacidad de las harinas y buen volumen de pan; es decir, que resultaran harinas fuertes para elaboración de panadería.

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en los efectos de las principales líneas (L), fechas (F) e interacción (L*F) en todas las variables evaluadas. De acuerdo con Zhang *et al.* (2016); Ramírez *et al.* (2021) estos contrastes se deben a la constitución genética de las líneas y la fecha de siembra establecida (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadrados medios para caracteres de calidad física e industrial de trigos harineros en el Valle del Yaqui, Sonora, México.

	GL	PH (kg hl ⁻¹)	PMG (g)	fuerza (× 10 ⁻⁴ J)	PL (0.1-6)	DG	VP (ml g ⁻¹)
Repetición	2	7.51	2.51	44.47	0.22	30.27	1 845.94
Línea	12	5.42**	32.12**	47 546.53**	1.11**	24.9**	1 2041.99**
Fecha	1	0.86*	26.66**	10 593.35**	1.23*	587.13**	2 832.05**
Línea*fecha	12	4.87**	14.25**	2 938.82**	0.57*	65.83*	2 658.16**
Error	50	0.84	0.05	0.71	0.17	0.33	935.03
Total	77	2.36	7.67	8 007.04	0.40	22.1	2 982.8
CV (%)		11.14	9.44	10.31	10.27	14.32	15.13

*, ** = significativo y altamente significativo ($\alpha = 0.05$); ns= no significativo; CV= coeficiente de variación; GL= grados de libertad; PHL= peso hectolítrico; DG= dureza de grano; PH= proteína en harina; W= fuerza de la masa; P/L= relación tenacidad/extensibilidad; VP= volumen de pan.

Según Ramírez *et al.* (2021), los requerimientos de temperaturas en los trigos harineros coexisten entre 15° y 23 °C. En nuestro caso de estudio, en las etapas de amacollamiento, floración y llenado de granos presentaron temperaturas de 14.6, 14.2 y 16.2 °C, respectivamente; estos datos fueron favorables para el desarrollo del cultivo y obtener buena calidad industrial. Resultados similares fueron logrados por Ramírez *et al.* (2021); Weiwei *et al.* (2015), quienes refirieron la expresión genética en las características de las líneas. Además, Gauch y Zobel (1997) concluyeron que el ambiente es el componente más importante en la diferenciación de todas las variables.

Comportamiento de las líneas

La acumulación de horas frío es importante en el cultivo de trigo. Durante el ciclo agrícola se registraron temperaturas de 14.6 °C, lo que permitió un buen desarrollo del cultivo. Así, la fecha de siembra del 20 de noviembre presentó mejor comportamiento en todas las variables (Cuadro 4), influyendo en las condiciones climáticas durante el desarrollo del cultivo, al acumular un promedio de 796 horas frío (CONAGUA, 2021). Por el contrario, acumular menos de 500 h corre el riesgo de obtener rendimientos no aceptables y perder calidad industrial.

Cuadro 4. Comportamiento medio entre líneas en calidad industrial de trigos harineros en el Valle del Yaqui, Sonora, México.

Línea	PH (kg hl ⁻¹)	PMG (g)	Proteína (%)	W (× 10 ⁻⁴ J)	PL (0.1-6)	TG	VP (ml g ⁻¹)
L-1	80.35 cd	45.43 j	12.81 f	305.56 d	1.85 c	2 b	775.83 a
L-2	79.62 ef	46.98 i	12.97 e	232.27 g	2.28 b	1 c	750.83 a
L-3	80.45 c	50.93 c	11.51 j	231.66 g	2.41 a	1 c	651.15 cd
L-4	80.65 c	47.61 g	13.68 b	323.82 c	1.38 f	2 b	773.67 a
L-5	81.88 a	52.31 a	13.75 a	486.67 a	1.11 i	3 a	796.36 a
L-6	80.11 d	49.98 d	12.41 i	282.53 e	1.53 d	1 c	758.17 a
L-7	79.41 fg	47.23 h	12.58 h	161.58 j	0.83 k	2 b	603.67 d
L-8	80.61 c	44.88 k	12.68 g	223.67 h	0.81 k	2 b	725.83 abc
L-9	80.45 c	47.18 hi	12.74 g	203.36 i	1.31 g	2 b	738 ab
L-10	79.21 g	49.43 e	13.73 d	247.33 f	1.46 e	2 b	758.33 a
L-11	79.31 fg	48.33 f	13.41 c	322.66 c	1.18 h	2 b	773.36 a
L-12	79.76 e	48.38 f	12.86 ef	152.36 k	0.68 l	2 b	668.17 bcd
Borlaug F100	81.05 b	52.01 b	14.08 a	343.73 b	0.91 j	3 a	783.33 a
DMS (0.05)	0.32	0.24	0.32	0.24	0.06	0.98	0.05
Fechas de siembra							
20 noviembre 2020	80.41 a	51.36 a	13.04 a	281.9 a	1.51 a	1.92 a	745.23 a
20 diciembre 2020	78.25 b	48.25 b	12.86 b	258.64 b	1.22 b	1.92 a	724.9 b
DMS (0.05)	1.86	2.81	0.11	19.38	0.14	2	18.87

W= fuerza; PL= relación tenacidad/extensibilidad; TG= tipo de gluten; VP= volumen de pan. DMS= diferencia mínima significativa.

El peso (W) fue un parámetro clave para evaluar la trabajabilidad de las harinas, aunado al volumen adquirido favoreció para obtener buena panificación. Sobre ello, Guerrini *et al.* (2020) señalan que mayor capacidad de W y VP generará mejorará el desarrollo de la masa la calidad de harinas para pan. Al sur de Sonora se siembra menos del 20% de trigos harineros por lo que, respaldados en la calidad de las líneas L-5, L-2, L-3 y L-1, se deriva que puede ser una alternativa para reconvertir siembras, con respecto a los trigos cristalinos que se establecen con el 80% (Canimolt, 2022).

EL contenido mayor de proteína correspondió a la línea 5 y Borlaug F100 (13.75 y 14.08%) respectivamente, en ambas fechas de evaluación. Ambos genotipos son especiales para elaborar pan, pasteles, y tortillas de harina, ante lo que Dang *et al.* (2020); Banfalvi *et al.* (2020) señalan que trigos con más del 12% en proteína pueden ser favorables en la industria panificadora, esto por sus propiedades funcionales.

La variable fuerza (W) permitió clasificar las líneas en diferentes rangos: 1) L-5 (486.67 × 10⁻⁴ J), Borlaug (343.73 × 10⁻⁴ J) y L-4, L-11, L-1 y L-6 que presentaron valores superiores a 330 × 10⁻⁴ J, deseables para elaborar pan y pasteles; y 2) las líneas L-10, L-2, L-3, L-8, L-9, L-7 y L-13 por debajo

de 270×10^{-4} J, para productos de fermentación larga y procesos en frío, por ejemplo, galletas y tortillas de harina (Guerrini *et al.*, 2020).

En P/L la mayoría de las líneas mostraron valores superiores a 0,9. En particular L-5 y Borlaug (1.11 y 0.9 respectivamente), especiales para pasteles y panes; mientras L-7, L-8 y L-12 para galletas y hojaldras, por sus valores inferiores a 0.9 (Canimolt, 2022). Los volúmenes más altos de pan se combinaron con $W = 486.67$, 343.73×10^{-4} J y balanceadas a extensibles por su $P/L = 1.11$ y 0.9 como masas fuertes, debido a la fecha de siembra. L-7, L-8 y L-12 fueron inferiores a 0.8, como masas tenaces

Estos resultados coinciden con Cappelli *et al.* (2020); Dang *et al.* (2020), quienes aseguran que valores superiores en la fuerza de gluten y volúmenes de pan favorecen la extensibilidad y dan mayor rendimiento en la masa. Así, L-5 y Borlaug presentaron gluten fuerte, para uso en la industria mecanizada de panificación (pan de caja); 30.7% de las líneas (L-1, L-2, L-3 y L-6) muestran textura suave con valores de 1, para el sector artesanal o mezclas con harinas de gluten fuerte, 61.5% de gluten medio o tenaz (valores de 2), por su alta tenacidad son de uso semimecanizada (tortilla y galletas).

En PL, los genotipos deben presentar rangos de extensibilidad entre 0.2 a 1.3 para resistencia y viscosidad de la masa (Canimolt, 2022). Las líneas L-1, L-2, L-3, L-6, L-8, L-10 y Borlaug son valores altos, por lo que se consideran materiales especiales para elaborar panes y de fermentación larga; mientras L-4, L-5, L-11 y L-12 están dentro del rango 0.8, factible para procesos muy rápidos de panificación (Banfalvi *et al.*, 2020).

Para amortiguar los efectos por las fechas de siembra (noviembre y diciembre), es conveniente utilizar una de las siete líneas mejor evaluadas (L-1, L-2, L-3, L-6, L-8, L-10 y Borlaug), preferentemente L-8, ya que obtuvo promedios de 2.7 en PL, resultando excelente para pan (Boita *et al.*, 2016; Konvalina *et al.*, 2017; Guerrini *et al.*, 2020).

Los volúmenes encontrados son superiores a 760 e inferiores a 720, lo que disminuye la calidad industrial para lograr genotipos destacados en volumen de pan (Cappelli *et al.*, 2020; Dang *et al.*, 2020). Estos rasgos son por la acumulación de horas frío durante el desarrollo del cultivo: mínima 608.7, promedio 796 y máxima 823, temperaturas menores a 14 °C durante amacollamiento y llenado de grano (INIFAP, 2022).

Índices de selección

Se encontraron cuatro líneas con valores promisorios: L-5, L-2, L-3 y L-7. Estas presentaron promedios similares al testigo Borlaug. Los valores más bajos (entre 11.12 y 14.07) son competitivos, cotejados con Borlaug, donde el PH de mayor promedio fue arriba de 80.45 (kg hl^{-1}) (Cuadro 5). Ahora, su ventaja está en las propiedades nutrimentales que contienen los subproductos, puesto que todas las variables físicas y químicas son similares con el testigo (Estrada *et al.*, 2015; Rodríguez *et al.*, 2023).

Cuadro 5. Selección simultánea en base a los índices de selección entre caracteres físicos y químicos en trigos harineros en el Valle del Yaqui, Sonora, México.

Línea	PH (kg hl^{-1})	PMG (g)	Proteína (%)	W ($\times 10^{-4}$ J)	PL (0.1-6)	TG	VP (ml g^{-1})	Índice
L-5	81.88	52.32	14.08	486.67	2.42	2	796	11.12
Borlaug F100	81.05	52.02	13.75	343	2.28	2	783.33	13.23
L-2	80.62	50.93	13.68	323	1.32	3	775.83	13.26
L-3	80.6	49.98	13.42	322.67	1.85	2	773	13.72
L-7	80.45	49	13	305.5	1.38	3	758.33	14.07
L-9	80.45	48.38	12.9	282.5	1.47	2	725.83	15.66
L-10	80.35	48.33	12.87	247.33	1.53	1	758.17	15.73
L-4	80.12	47.62	12.82	232	1.12	2	773.67	17.94

Línea	PH (kg hl ⁻¹)	PMG (g)	Proteína (%)	W (× 10 ⁻⁴ J)	PL (0.1-6)	TG	VP (ml g ⁻¹)	Índice
L-8	79.77	47.23	12.7	231.67	0.92	2	738	19.18
L-1	79.6	47.18	12.68	223	0.68	2	668.17	19.98
L-11	79.42	46.98	12.58	203	0.83	2	603.67	20.71
L-6	79.32	45.43	12.42	161.5	1.18	1	651	22.97
L-12	79.22	44.88	11.52	152	0.82	1	750.83	24.11
Media	80.22	48.48	12.96	270.29	1.37	1.92	735.06	
DE	0.76	2.31	0.67	89.02	0.55	0.64	58.35	

W= fuerza; PL= relación tenacidad/extensibilidad; TG= tipo de gluten; VP= volumen de pan; DE= desviación estándar; DMS= diferencia mínima significativa.

Correlación entre caracteres físicos y químicos

Con excepción a la fibra, en el resto de las variables agronómicas y químicas la correlación fue significativa (Cuadro 6). El PH se asoció más con PMG y la correlación entre los caracteres químicos fue entre 82 y 93%. A medida que incrementó la proteína también lo hicieron las proporciones entre caracteres químicos, en especial fuerza y extensibilidad (PL). Al elaborar panes, tortillas de harina o galletas con contenidos altos en proteínas tendrán efectos benéficos a la salud humana (De Boni *et al.*, 2019; Cappelli *et al.*, 2020; Cappelli y Cini, 2021). Además, temperaturas abajo de 14 °C en el amacollamiento y llenado de grano genera propiedades de calidad aceptables.

Cuadro 6. Correlación entre caracteres físicos y químicos en trigos harineros en el Valle del Yaqui, Sonora, México.

	PMG (g)	Proteína (%)	W (× 10 ⁻⁴ J)	PL (0.1-6)	TG
PH (kg hl ⁻¹)	0.94	0.85	0.79	0.74	0.74
PMG (g)		0.92	0.82	0.86	0.92
Proteína (%)			0.82	0.88	0.82
Fuerza (× 10 ⁻⁴ J)			0.93	0.92	0.86
PL (0.1-6)				0.89	0.84
TG					0.82

Conclusiones

Las pruebas reológicas permitieron conocer las propiedades funcionales de las líneas de trigo harinero y clasificarlas según su uso: harinas para pan, pastas y galletas; así como su demanda local por la obtención de cereales únicos. Noviembre favoreció la calidad industrial y rendimiento, debido a las temperaturas menores a 14 °C durante el desarrollo del cultivo. Además, la concentración de proteína en el grano de las líneas L-5, L-2 y L-3 se asoció con masas fuerte y extensible, presentando volúmenes mayores de pan, similares a los promedios del testigo Borlaug. Sin embargo, los porcentajes de noviembre fueron superiores en las propiedades reológicas.

Bibliografía

- 1 AACC. 2005. American Association of Cereal Chemists. Approved methods of the AACC. 10th Ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul Minnesota, USA. 200 p.
- 2 Bánfalvi, A. B.; Németh, R. E.; Bagdi, A. A.; Gergely, S. M.; Rakszegi, M. L.; Bed#., Z. G.; Láng, L. J.; Vida, G. S. and Tomosközi, A. S. 2020. A novel approach to the characterization of old wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties by complex rheological analysis. Journal of the Science of Food and Agriculture. 100(12):4409-4417. 10.1002/jsfa.10479.

- 3 Barreto, H. J.; Bolaños, J. A. and Córdoba, H. S. 1991. Programas índices de selección. guía para la operación del Software. Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Batán, Estado de México, DF. 27 p.
- 4 Boita, R. F. E.; Oro, T. A.; Bressiani, J. A.; Santetti, S. G.; Bertolini, E. T. and Hutkoski, C. L. 2016. Rheological properties of wheat flour dough and pan bread with wheat bran. *Journal of Cereal Science*. 71(1):177-182. 10.1016/j.jcs.2016.08.015.
- 5 CANIMOLT. 2002. Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo. Reporte estadístico a 2022. 28 p.
- 6 Cappelli, A. N. and Cini, E. F. 2021. Opportunities in wheat flour, pasta, bread, and bakery product production chains: a systematic review of innovations and improvement strategies to increase sustainability, productivity and product quality. *Sustainability*. 13(5):1-16. 10.3390/su13052608.
- 7 Cappelli, A. N.; Oliva, N. B. and Cini, E. F. 2020. Stone milling versus roller milling: a systematic review of the effects on wheat flour quality, dough rheology, and bread characteristics. *Trends in Food Science Technology*. 97(1):147-155.
- 8 CONAGUA. 2021. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del agua en México. Edición primera . 360 p.
- 9 Dang, T. K.; Konvalina, L. P.; Capouchova, L. D.; Janovska, M. E.; Lacko, B. L. M. and Xuan, T. T. P. 2020. Comparative study on protein quality and rheological behavior of different wheat species. *Agronomy*. 10(11):1763. 10.3390/agronomy10111763.
- 10 De-Boni, A.; Pasqualone, A. E.; Roma, R. M. and Acciani, C. F. 2019. Traditions, health and environment as bread purchase drivers: a choice experiment on high-quality artisanal Italian bread. *Journal of Cleaner Production*. 221(1):249-260.
- 11 Estrada, P. W.; Lescay, B. E.; Álvarez, F. A. and Maceo, R. Y. C. 2015. Respuesta a la sequía de variedades de cebolla (*Allium cepa* L.) utilizando diferentes índices de selección. *Revista Cultivos Tropicales*. 36(3):75-81.
- 12 García, E. A. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Primera edición. 1-91 pp. <http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020081042/1020081042-011.pdf>.
- 13 Gauch, H. G. and Zobel, R. W. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*. 37(1):311-326. 10.2135/cropsci1997.0011183X003700020002x.
- 14 Guerrini, L. B.; Napoli, M. L.; Mancini, M. B.; Masella, P. E.; Cappelli, A. N. and Orlandini, S. B. 2020. Wheat grain composition, dough rheology and bread quality as affected by nitrogen and sulfur fertilization and seeding density. *Agronomy*. 10(2):1-15. 10.3390/agronomy10020233.
- 15 INIFAP. 2022. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Reporte anual. Ciencia y Tecnología para el Campo Mexicano. CIR-Noroeste, Sonora. 178 p.
- 16 Konvalina, P. M.; Grausgruber, H. E.; Dang, K. T. O.; Vlasek, I. L.; Capouchova, Z. S. and Kopecky, M. A. 2017. Rheological and technological quality of minor wheat species and common wheat. *In: wheat improvement, management and utilization*. Ed. IntechOpen. Norderstedt, Germany. 255-273 pp. 10.5772/67229.
- 17 Liu, N.; Sen, M.; Li, L. and Wang, X. 2019. Study on the effect of wheat bran dietary fiber on the rheological properties of dough. *Grain & oil science and technology* 2(1):1-5. 10.1016/j.gaost.2019.04.005.
- 18 Parenti, O. E.; Guerrini, L. A.; Canuti, V. B.; Angeloni, G. M.; Masella, P. L. and Zanoni, P. E. 2019. The effect of the addition of gelatinized flour on dough rheology and quality of bread made from brown wheat flour. *Food Science and Technology*. 106(2):240-246. 10.1016/j.lwt.2019.02.066.

- 19 Ramírez, P. L. O.; Zamora, V. M. M.; Colín, R. M. and De León, C. H. 2021. Interacción genotipo ambiente en fracciones de forraje de trigos en tres muestreos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12(3):485-498. 10.29312/remexca.v12i3.2621.
- 20 Rodríguez, P. G.; García, R. A.; Reynaga, F. J.; Mendívil, J. E. and Ochoa, A. R. 2023. Índices de selección entre caracteres agronómicos y químicos en híbridos de maíz morado (*Zea mays* L.) en el sur de Sonora, México. *Anales Científicos*. 84(1):35-53. 10.21704/ac.v84i1.1981.
- 21 SAS Institute. 2012. *User's Guide of SAS*. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 550 p.
- 22 SIAP. 2022. *Servicio de información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola*. Secretaría de Agricultura y desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- 23 Weiwei, M.; Yu, Z.; Zhang, Y.; Shi, Y. and Wang, D. 2015. Effects of supplemental irrigation on water consumption characteristics and grain yield in different wheat cultivars. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 75(2):216-223. 10.4067/S0718-58392015000200011.
- 24 Zhang, Y.; Dai, X.; Jia, D.; Li, H.; Wang, Y.; Li, C. and He, M. 2016. Effects of plant density on grain yield, protein size distribution, and breadmaking quality of winter wheat grown under two nitrogen fertilization rates. *European Journal of Agronomy*. 73(2):1-10. 10.1016/j.eja.2015.11.015.



Variaciones reológicas y calidad industrial de trigos harineros en Sonora

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 April 2025
Date accepted: 01 June 2025
Publication date: 24 June 2025
Publication date: May-Jun 2025
Volume: 16
Issue: 4
Electronic Location Identifier: e3702
DOI: 10.29312/remexca.v16i4.3702

Categories

Subject: Articulo

Palabras clave:

Palabras clave:

Triticum aestivum
calidad industrial
propiedades reológicas

Counts

Figures: 1

Tables: 6

Equations: 2

References: 24

Pages: 0