

Calidad panadera de harinas de trigo entero mediante pruebas convencionales y una prueba no convencional

Whole grain wheat flour bakery quality through conventional tests and a non conventional test

Juan José Calixto Muñoz *

Universidad Autónoma del Estado de México, Mexico

Dora Luz Pinzón-Martínez

Universidad Autónoma del Estado de México, Mexico

Jesús Castellón Jardón

Universidad Autónoma del Estado de México, Mexico

Sanjaya Rajaram

Resource Seeds International, Mexico

Mario Albarrán-Mucientes

Resource Seeds International, Mexico

Alma Rosa Islas Rubio

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Mexico

Revista de la Facultad de Agronomía

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 1669-9513

Periodicidad: Semestral

vol. 120, núm. 1, 2021

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

Recepción: 13/11/2019

Aprobación: 19/01/2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/23/232004001/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e063>

***Autor de correspondencia:** jjcalixto@gmail.com

Resumen

Las harinas de grano entero de trigo (HGET) son fuente de fibra, antioxidantes, vitaminas, fitoquímicos y nutrientes y podrían suplir la creciente demanda de la industria panadera de trigos con alta calidad. El objetivo del estudio fue evaluar la calidad panadera de HGET de las variedades Cal Blanco F2011 (HCB); Mattchet F2011 (HM) y RSM-Norman F2008 (HN) cultivadas en México en otoño-inverno 2014 a 2016, mediante pruebas convencionales y una no convencional (consiste en la medición del volumen de fermentación de cada muestra de harina). Se realizaron determinaciones bromatológicas, reológicas, de calidad panadera por triplicado. Se realizó un ANDEVA, prueba por DMS ($p < 0,05$) y un análisis de correlación. La HCB tiene mayor proteína (14,33%) que las testigos. Todas las harinas tienen tiempos de amasado favorables para buen volumen de pan, con buena fermentación y extensibilidad. Por lo anterior, las tres HGET experimentales resultaron ser competitivas a las harinas comerciales, pero HCB fue superior en casi todas las pruebas. La HM y HN, son similares a la HI en VOP, VOE y HAL volviéndolas comparables en calidad panadera. El pHf de HM y HCB es igual, pero en panificación la última es de mejor calidad haciéndola superior a las harinas integrales evaluadas. Se recomienda estudiar más la prueba de fermentación por la correlación con factores importantes en la diversas pruebas de calidad, esto con el fin de identificar si es factible o no su uso al evaluar la calidad de las harinas.

Palabras clave: *Triticum aestivum*, aptitud panaria, prueba de fermentación, pH final

Abstract

Whole grain wheat flour (WGWF) is a source of fiber, antioxidants, vitamins, phytochemicals and nutrients and could supply the growing demand of the bakery industry for wheats with high quality. The objective of the study was to evaluate the baking quality of HGET of the varieties Cal Blanco F2011 (HCB); Mattchet F2011 (HM) and RSM-Norman F2008 (HN) grown in Mexico in autumn-winter 2014 to 2016, by means of conventional tests and an unconventional one (it consists of measuring the fermentation volume of each flour sample). Bromatological, rheological, bakery quality determinations were made in triplicate. An ANDEVA, DMS test ($p < 0.05$) and a correlation analysis were performed. HCB has a higher protein (14.33%) than controls. All flours have favorable kneading times for a good volume of bread, with good fermentation and extensibility. Therefore, the three experimental WGWFs were found to be competitive to commercial flours, but HCB was superior in almost all tests. HM and HN are similar to HI in VOP, VOE and HAL making them comparable in bakery quality. The pHf of HM and HCB is the same, but in baking the last has better quality, making it superior to the evaluated integral flours. It is recommended to further study the fermentation test due to the correlation with important factors in the various quality tests, this in order to identify whether or not its use is feasible when evaluating the quality of the flours.

Keywords: *Triticum aestivum*, bakery aptitude, fermentation test, final pH

INTRODUCCIÓN

La harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) posee capacidad de hidratación y mezclado para formar masas viscoelásticas, retener el gas durante la fermentación, dar volumen al pan y proporcionar una estructura alveolada después del horneado (Thanhaeuser et al., 2014). El amasado, fermentado y horneado son etapas cruciales en la panificación. En el amasado se incorporan burbujas en la masa que proporcionan los sitios de nucleación para la inflación subsiguiente por difusión del CO₂ producido por la levadura. Durante el fermentado, las burbujas se dilatan lentamente, dando un aumento de volumen. Al final, se tiene la típica estructura de esponja abierta conocida como pan (Cauvain, 2012; Vega Castro et al., 2015). El ingrediente más importante en la panificación es la harina, esencialmente las refinadas, seguidas de las integrales y menos estudiadas. La harina de grano entero (HGET) aporta mayor cantidad de vitaminas, minerales, fibra, antioxidantes, nutrientes y beneficios contra patologías (Diabetes tipo II, Cáncer y Obesidad). Las HGET están formadas por todos los componentes del grano (almidón, endospermo, germen y salvado) intactos, molidos y triturados en la misma proporción a como están en el grano (Bressiani et al., 2017). La investigación sobre este tipo de harinas en la producción de cereales listos para comer (extruídos) y en panadería se ha incrementado en los últimos años, debido a sus beneficios, aunque enfrenta retos dentro del aspecto tecnológico, uno de ellos es el tamaño de partícula. Diferentes tamaños de partícula que influyen sobre la calidad panadera y funcionalidad tecnológica del proceso de panificación (Bae et al., 2014; Cai et al., 2014; Coda et al., 2014; Baasandorj et al., 2015).

Las pruebas de calidad para el destino industrial del trigo, como la prueba de panificación, demandan equipo, mano de obra calificada, tiempo y grandes cantidades de harina, primordialmente harina refinada, y en ocasiones, resultan en una elección poco apropiada de genotipos por los programas de mejoramiento genético (Baasandorj et al., 2015; Guzmán et al., 2015). Para determinar las propiedades viscoelásticas de la masa se realizan pruebas convencionales (farinograma, alveograma, mixograma, extensograma) que definen junto con la determinación de proteína y humedad, la calidad de la harina. Así, progresivamente se han desarrollado técnicas y metodologías para determinar la calidad panadera y el desempeño para la producción de pan que sorteen los inconvenientes presentados, aunque tales metodologías aún usan equipos especializados y persiste la necesidad de evaluar la calidad panadera con pruebas alternativas, menos complejas, menos costosas y rápidas (Thanhaeuser et al., 2014; Guzmán et al., 2015). Por todo lo anterior el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad panadera de harinas de grano entero de trigo mediante pruebas convencionales y una prueba no convencional con el fin de sugerir técnicas menos complejas para determinar el desempeño de producción de pan.

METODOLOGÍA

MATERIALES

Se analizaron HGET de las variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) Cal Blanco F2011 (HCB), Mattchet F2011 (HM) y RSM-Norman F2008 (HN) donadas por el programa de mejoramiento genético de la empresa "Resource Seeds International" y cultivadas durante dos ciclos otoño-inverno 2014-2016, en México. Se utilizaron también dos harinas comerciales sin aditivos marca "Los gallos", una refinada (HR) y otra integral (HI). Las harinas y sus análisis se realizaron en el Laboratorio de Bromatología, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México y en el Laboratorio de Cereales, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., (CIAD) Hermosillo, Sonora, respectivamente. Para la obtención de la HGET los granos sin acondicionamiento se molieron (Nixtamatic NCM1) por dos espacios de 30 s con 30 min de descanso entre las moliendas. Se tamizaron con una malla número 50 (ASTM) y se almacenaron en ultracongelación hasta su proceso en febrero de 2017.

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

Se determinó proteína total y contenido de humedad con los métodos 46-13 AACC (1995) y 44-19 AACC (1995), respectivamente. Todas las muestras se procesaron por duplicado.

ANÁLISIS REOLÓGICOS

Mixograma. 30 g de muestra se procesaron en el Mixógrafo National (National Manufacturing, Inc., NJ) bajo el método 54-40A AACC (1995), para determinar tiempo óptimo de amasado (TOA) en min y cantidad de agua absorbida (CAA).

Prueba de Kieffer Rig. Se procedió mediante el método Método 54-10 AACC (1995) y se utilizó un analizador de textura TA-XT2 (SMS/Kieffer dough extensibility rig, Stable Micro Systems Ltd, England) para estimar a 45 y 90 min el trabajo de deformación de la masa (EST45, EST90), fuerza máxima de la masa (FMA45, FMA90), extensibilidad de la masa (EXT45, EXT90) y tiempo de resistencia de la masa (REM45, REM90). Las medidas se realizaron por triplicado, con 8 mediciones por repetición a una velocidad de pre-prueba de 2,0 mm/s, 3,3 mm/s de velocidad de prueba y 10 mm s de post-prueba, con una distancia máxima de 10 cm.

CALIDAD PANADERA

Prueba de panificación. Se procedió de acuerdo al Método 10-10B AACC (1995) con las modificaciones de Islas et al. (2005). Se utilizaron 35 g de harina, 0,7 g de levadura, 2,1 g azúcar, 0,53 g de sal, 1,05 g de manteca vegetal y la cantidad de agua se estimó con el contenido de proteína de las muestras. Se utilizó el método de desplazamiento de semillas de Colza para determinar el volumen de pan (VOP) y se estimó peso del pan (PEP), homogeneidad del alveolado (HAL) [se determinó inspeccionando visualmente el tamaño y distribución de los poros en la miga] y volumen específico de pan (VOE) bajo el Método 10.05 AACC (1995).

Prueba de volumen de fermentación en cilindro. Se partió de 50 g de harina, 1,1 g de levadura (Levadura Nevada Oro) y se procedió de acuerdo al Método AACC 50-40 (1995) con algunas modificaciones. La temperatura del agua (TA) se trabajó a temperatura ambiente (20-22 °C), con el fin de proponer una metodología menos costosa y accesible. Los ingredientes se mezclaron por 15 s, se boleó la masa por 2 min y se midió peso (PiM) y pH inicial de la masa (pHi). La masa se dividió en piezas del mismo tamaño que se colocaron en probetas de 250 mL (Scheitler). Posteriormente, se colocaron en una estufa a fermentar 30 °C, 90 % h. r., 60 min. Se midió el volumen (cm³) de la masa por la fermentación en los cilindros cada 15, 30, 45 y 60 min (FER15, FER30, FER45 y FER60, respectivamente). Finalmente, se registró pH (pHf) y peso final (PfM) de las muestras. Todos los análisis mencionados fueron procesados por triplicado.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Las variables de estudio fueron las HGET de las variedades Cal Blanco F2011, Mattchet F2011 y RSM-Norman F2008 y las comerciales. Las variables de respuesta fueron humedad (HUM), proteína (PRO), tiempo óptimo de amasado (TOA), cantidad de agua absorbida (CAA), trabajo de deformación de la masa (EST45, EST90), fuerza máxima de la masa (FMA45, FMA90), extensibilidad de la masa (EXT45, EXT90), tiempo de resistencia máxima de la masa (REM45, REM90), peso de pan (PEP), volumen de pan (VOP), volumen específico de pan (VOE), (HAL) alveolado; volumen de fermentación FER15, FER30, FER45 y FER60, peso inicial de la masa (PiM), pH inicial de la masa (pHi), pH final de la masa (pHf), temperatura del agua (TEA), temperatura de la masa (TEM), peso final de la masa (PfM) y pH final de la masa (PfM). De los datos obtenidos del análisis de varianza (ANDEVA), cuando las F fueron significativas, se realizó una prueba de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($p < 0,05$) mediante el programa SAS 9,0 (2002). Se determinó el coeficiente de correlación de Pearson con $p < 0,05$ con el programa Minitab16 (2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

En el análisis de varianza se encontraron diferencias significativas en las variables evaluadas. Cal Blanco destacó por mayor contenido de proteína (14,33%) (Tabla 1). Se han reportado en HGET contenidos superiores de proteína a los de las harinas refinadas, debido a que las HGET contienen el germen, que es rico en proteína, y al ser molido con el grano aumenta su contenido (Pomeranz, 1987; Baasandorj et al., 2015; Bressiani et al., 2017). La variedad RSM-Norman F-2008, obtuvo valores de proteína en el mismo plano que las harinas integrales y refinadas, aunque tales valores son ligeramente superiores a lo que otros

autores han reportado para HGET, aunque las presentes HGET presentaron valores del porcentaje de proteína que se han descrito como aptos para panificación (Barak et al., 2013; Cerda-Cova & Vázquez-Chávez, 2017; Oliveira et al., 2015). En cuanto al contenido de humedad, los resultados de las HGET mostraron contenidos de humedad más bajos que una de las harinas testigo, posiblemente por la fricción durante la molienda directamente sobre todo el grano (Bressiani et al., 2017). Por lo anterior las características tecnológicas y funcionales de las muestras evaluadas pueden resultar favorables para la elaboración de pan tanto en la harina refinada como en la integral, ya que tales variables dictan estas características (Matos et al., 2011; Oliveira et al., 2015).

ANÁLISIS REOLÓGICOS

Mixograma. El TOA fue de 4.5 para los materiales experimentales y de 4.8 para la harina refinada (Tabla 1). Este depende de la cantidad y calidad de la proteína que afecta la funcionalidad y calidad de los productos de trigo (Vásquez-Lara et al., 2009). Los TOA de las presentes HGET están dentro de los valores reportados (4,05-7,60 min) por Vásquez-Lara et al. (2009) que los considera como valores intermedios a prolongados, estos para harinas refinadas y los describe como favorables para el desarrollo de un buen volumen de pan, con buena tolerancia al mezclado y con propiedades físicas que otorgan influencia positiva sobre la calidad del producto final. También, la determinación del TOA se relaciona directamente con la fuerza de la masa y con la mejor calidad del pan (Cauvain, 2015). Esta prueba puede considerarse como accesible y es muy utilizada en los programas de fitomejoramiento por requerir poca muestra (10 a 35 g) y un corto tiempo de proceso (Serna-Saldívar, 1996; Rosell & Collar 2009).

Tabla 1
Prueba de diferencia mínima significativa de las variables bromatológicas, mixograma y prueba de Kieffer Rig.

Variable†	Harinas de grano entero			Harinas testigo		DMS ($p < 0,05$)
	RSM-Norman F-2008	Matthet F-2011	Cal Blanco F-2011	Harina integral	Harina refinada	
HUM (%)	10,17 c	10,26 c	10,87 b	12,61 a	10,01 c	0,3106
PRO (%)	10,94 b	10,97c	14,33 a	13,29 b	13,13 b	0,7328
TOA (min)	4,50 b	4,50 b	4,50 b	4,80 a	3,68 c	0,0215
EST ₄₅ (N mm)	10,280 cd	15,013 c	20,223 b	8,450 d	38,313 a	4,8001
FMA ₄₅ (N)	0,9333 a	0,7500 b	1,0333 a	0,5700 c	0,8033 b	0,1151
EXT ₄₅ (mm)	33,80 c	49,57 b	48,46 b	47,53 b	82,42 a	6,9921
EST ₉₀ (N mm)	10,807 c	17,860 b	22,400 b	10,287 c	35,207 a	5,1823
FMA ₉₀ (N)	0,9433 a	0,7167 c	0,8467 ab	0,6667 c	0,8333 b	0,1012
EXT ₉₀ (mm)	35,03 e	53,80 c	60,29 b	46,41 d	79,49 a	5,9187

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$); †HUM=Humedad de la harina; PRO=Proteína; TOA=Tiempo óptimo de amasado; EST₄₅=Trabajo de deformación de la masa a 45 min de fermentación; FMA₄₅=Fuerza máxima de la masa a 45 min de fermentación; EXT₄₅=Extensibilidad de la masa a 45 min de fermentación; EST₉₀=Trabajo de deformación de la masa a 90 min de fermentación; FMA₉₀=Fuerza máxima de la masa a 90 min de fermentación; EXT₉₀=Extensibilidad de la masa a 90 min de fermentación.

Prueba de Kieffer Rig. De acuerdo a los resultados del análisis de varianza REM45 y REM90 no tuvieron significancia. En el Tabla 1 se muestran los valores obtenidos del trabajo de deformación de la masa (EST45 y EST90) junto con la fuerza máxima (FMA45 y FMA 90) y extensibilidad de las masas (EXT45 y EXT90) a 45 y 90 min de fermentación. El trabajo de deformación requerido en la masa (EST) HCB fue mayor que en las otras HGET, sin embargo a 90 min HM se comportó igual que HCB, lo anterior puede relacionarse con la composición de las proteínas poliméricas que determinan las características de fuerza y elasticidad en las masas de harinas de trigo (Shewry et al., 1992; Belton, 1999). Las HGET evaluadas mostraron valores del trabajo de deformación de las masas más bajos que los reportados por Islas et al. (2005) y Vásquez-Lara et al. (2009) pero en este trabajo se no se fortaleció la fuerza de la masa por añadidura de sal, esta prueba representa el contenido de proteína y la fuerza en las harinas. En cuanto a la FMA45 y FMA90 o la resistencia a la extensión como indicador de la estabilidad de las masas durante la fermentación, los valores de las presentes HGET se mostraron como masas fuertes, principalmente HCB y HN, por encima de lo mencionado por otros autores para harinas refinadas con buena fuerza. Las HGET son masas de buena calidad por la disminución en la extensibilidad (EXT) y el aumento en la resistencia a la extensión (FMA). Según Collar et al. (1994) la disminución de la extensibilidad se asocia al aumento de concentración de iones hidrógeno durante la fermentación, los iones hidrógeno cedidos por los ácidos se unen a los grupos básicos de las proteínas y favorecen la separación y desdoblamiento de las moléculas cargadas positivamente, esto facilita la formación de un mayor número de enlaces puentes de hidrógeno entre las cadenas proteicas ocasionando una disminución de la extensibilidad.

CALIDAD PANADERA

Prueba de panificación. Los resultados de las pruebas de panificación y fermentación mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en todas las variables, con excepción del PEP. Los panes de HGET mostraron valores VOP, VOE y HAL (Tabla 2) parecidos a la harina comercial integral, esto se relaciona con el efecto del positivo en el contenido de proteína y fuerza de las harinas durante la fermentación (Cauvain, 2015). Survase et al. (2017) mencionan que elevados volúmenes específicos de pan, en la prueba de panificación, se asocian con baja relación gliadina/glutenina (Dhaka & Khatkar, 2015). El HAL como se esperaba fue mejor en HR, sin embargo, los demás materiales presentaron de regular a buen alveolo similar a HI (Figura 1). Las HGET no presentaron alteraciones en el parámetro físico de calidad panadera de PEP, que indica una buena capacidad de deformación de la masa y de retención de CO₂ por parte del gluten en las muestras analizadas. La HI testigo tubo los valores más bajos de VOP, VOE y HAL probablemente por la influencia del tamaño de partícula del salvado, que reduce significativamente el volumen del pan (Survase et al., 2017). Bressiani et al. (2017) mencionan que el tamaño de partícula y el tipo de molienda tienen efecto directo en la calidad de las harinas, sin embargo, aunque este factor no se consideró para el presente trabajo, los valores de HGET mostraron parámetros de calidad como harinas integrales ya comercializadas.



Figura 1

Panes elaborados con harina refinada marca “Los gallos” (HGRSA), harina integral marca “Los gallos” (HGISA) y con las harinas de grano entero de Cal Blanco F2011 (HCB), Matchet F2011 (HM) y RSM-Norman F2008 (HN).

Tabla 2

Prueba de diferencia mínima significativa de las variables en la prueba de panificación y fermentación.

Variable†	Harinas de grano entero			Harinas testigo		DMS ($p < 0,05$)
	RSM-Norman F-2008	Mattchet F-2011	Cal Blanco F-2011	Harina integral	Harina refinada	
VOP (cm ³)	139,50 c	138,04 c	169,33 b	137,90 c	214,07 a	13,222
VOE (cm ³ /g)	2,77 c	2,79 c	3,35 b	2,74 c	4,34 a	0,2459
HAL	7,50 b	5,00 c	7,50 b	7,50 b	10,00 a	0
PiM (g)	83,22 c	84,34 b	82,67 c	87,00 a	82,67 c	0,7411
pHi	6,04 a	6,07 a	6,08 a	5,43 c	5,72 b	0,1046
TEA (°C)	24,83 c	27,67 a	26,83 b	27,00 b	27,17 ab	0,7427
TEM (°C)	24,02 b	24,22 b	24,63 ab	24,30 b	25,51 a	1,0262
PfM (g)	82,45 b	83,34 b	85,00 ab	88,00 a	82,47 b	3,4148
pHf	4,55 c	4,96 b	4,93 b	4,90 b	5,29 a	0,1925

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$); †VOP=Volumen de pan; VOE=Volumen específico de pan; HAL=Homogeneidad del alveolado; PiM=Peso inicial de la masa; pHi=pH inicial de la masa; TEA=Temperatura del agua; TEM=Temperatura de la masa; PfM =Peso final de la masa; pHf=pH final de la masa.

PRUEBA DE VOLUMEN DE FERMENTACIÓN EN CILINDRO

Los resultados de la prueba indican que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las HGET y las dos harinas comerciales en todas las variables analizadas (Tabla 2 y Tabla 3). Las masas de las HGET de Cal Blanco F2011 (HCB) y Mattchet F2011 (HM), mostraron valores próximos a 4,5 de pHf, dichos valores de pH son favorables para la actividad microbiana y enzimática y en la mejora de las características físicas del gluten dentro de la masa. Por debajo de este pH la actividad de la levadura puede disminuir, y las masas hacerse más viscosas y difíciles de trabajar (Cerde-Cova & Vázquez-Chávez, 2017), masa fermentada adicionada de levadura mostró menores cambios de acidez ya que el aporte principal de la levadura es la producción del CO₂ siendo la fermentación inducida y primordialmente alcohólica, lo cual es importante para controlar mejor las características de la fermentación. Wood (1998) menciona que la acidificación inhibe la actividad amilolítica, siendo un efecto muy importante, en la gelatinización del almidón. También menciona que el pH óptimo en las masas es de 4.9 y en éste, se mejora la capacidad de absorción de agua, valor nutricional (disminuye la respuesta glicémica y aumentar la disponibilidad de minerales), favorece la presencia de aromas y sabores, reduce el enranciamiento, provee elasticidad y volumen de pan y se previene, una mala fermentación y mal desarrollo de la masa.

Tabla 3

Prueba de comparación de medias por diferencia mínima significativa para las harinas y tiempos en la prueba de fermentación.

††Volumen de fermentación diferentes tiempos	†Harinas		Cal F-2011	Blanco	Matchet F-2011	RSM-Norman F-2008	DMS (p<0,05)
	Harina refinada testigo	Harina integral testigo					
FER ₁₅ (cm ³)	25,73 az	18,71 bz	15,22 cz		16,67 bcy	23,78 ay	3,48
FER ₃₀ (cm ³)	52,67 ay	34,80 bcy	35,00 bcy		31,33 cx	38,45 bx	5,45
FER ₄₅ (cm ³)	69,73 ax	52,47 bx	41,22 cx		44,22 cw	45,33 cw	5,84
FER ₆₀ (cm ³)	75,60 aw	61,63 bw	43,67 cw		47,00 cw	43,67 cw	5,75
DMS (p<0,05)	3,96	5,27	1,85		4,19	3,81	

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (p<0,05); Literales de la a-c se leen por filas; Literales de w-z se leen por columnas; †Harinas evaluadas; ††Volumen de fermentación a diferentes tiempos: FER15=Volumen de fermentación a los 15 min; FER30=Volumen de fermentación a los 30 min; FER45=Volumen de fermentación a los 45 min; FER60=Volumen de fermentación a los 60 min.

El volumen de fermentación de las HGET a los 30 min (FER30) es similar al de las HI, por lo que éstas harinas HGET pueden utilizarse en fermentaciones cortas. Por otro lado, a 60 min de fermentación (FER60) las masas de las HGET expanden en menor volumen que las comerciales por la carencia del proceso de refinación, sin embargo, los volúmenes de expansión permanecen estables y sin diferencia entre los tiempos de 45 y 60 min, principalmente, Matchett F-2011 y RSM-Norman F-2008 (Tabla 3). A lo cual y bajo los resultados de calidad panadera, se sugieren aptas para fermentaciones prolongadas y en la obtención de buenos productos de panificación, sin la necesidad de añadir hidrocoloides y con mayor aporte de fibra, incluso sin un control del tamaño de partícula directamente (Cauvain, 2015; Survase et al., 2017). Finalmente, en esta estimación pueden visualizarse los volúmenes de fermentación en conjunto con las pruebas de calidad panadera convencionales ya que el comportamiento de la composición del gluten se refleja en los volúmenes de fermentación y en los parámetros de calidad panadera (Dhaka & Khatkar, 2015; Survase et al., 2017).

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

El análisis de correlación de las variables bromatológicas, mixograma, prueba de Kieffer Rig, prueba de panificación y prueba de fermentación indica, principalmente, correlación significativa entre CAA y PRO, así como en pHf con TOA, EST, VOP y EXT (Tabla 4). Se encontró correlación positiva entre la CAA y el contenido de PRO (R²= 0, 81456*), Vásquez-Lara et al. (2009) afirman que en panificación, el contenido de PRO, es el compuesto que más afecta la funcionalidad y calidad de los productos finales. Esta se relaciona con la CAA debido a que a mayor contenido de proteína de buena calidad mayor absorción de agua hay (Pomeranz, 1987). En la prueba de fermentación solo el pHf se correlacionó con los parámetros de TOA (R²=-0,87145*), EST45 y 90 (R²=0,78928*, R²=0,81257* respectivamente), VOP (R²=0,74164*), EXT45 y EXT90 (R²=0,59645* y R²=0,60238* respectivamente), estos son parámetros considerados importantes al momento de determinar la calidad de las harinas (Islas et al., 2005; Vásquez-Lara et al., 2009) por lo que valores de PH cercanos a 4.9, considerados ideales (Wood, 1998) en fermentación de masas para panificación, favorecen el correcto desarrollo de las masas permitiendo su maduración, dar estructura a la masa, la gelatinización del almidón, la adecuada producción de gas, el desarrollo de compuestos aromáticos y sabor original en el pan (Payehuanca-Mamani & Matos-Chamorro, 2011; Cerda-Cova & Vázquez-Chávez, 2017).

Tabla 4

Análisis de correlación de Pearson de las variables bromatológicas, mixograma, prueba de Kieffer Rig, panificación y fermentación.

Variables†	PRO	TOA	EST ₄₅	EXT ₄₅	EST ₉₀	EXT ₉₀	VOP
CAA	0,81456	--	--	--	--	--	--
	0,0002	--	--	--	--	--	--
pHf	--	-0,87145	0,78928	0,59645	0,81257	0,60238	0,74164
	--	<.0001	0,0005	0,0189	0,0002	0,0175	0,0016

($p < 0,05$); †PRO=Proteína; TOA=Tiempo óptimo de amasado; EXT₄₅=Extensibilidad de la masa a 45 min de fermentación; EST₄₅=Trabajo de deformación de la masa a 45 min de fermentación; EXT₉₀=Extensibilidad de la masa a 90 min de fermentación; EST₉₀=Trabajo de deformación de la masa a 90 min de fermentación; VOP=Volumen de pan; CAA=Capacidad de absorción de agua; pHf=pH final de la masa.

CONCLUSIÓN

Con los resultados expuestos en la presente investigación observamos que las tres harinas integrales experimentales resultaron ser competitivas en comparación con las harinas comerciales, pero la harina de la variedad Cal Blanco F-2011 dio mejores resultados según las pruebas bromatológicas, mixograma, prueba de Kieffer Rig, prueba de panificación y fermentación. El contenido de proteína por si solo indica que a mayor contenido mejor calidad en las harinas, en este caso Cal blanco nuevamente se destaca al superar incluso a las harinas testigo. El trabajo de deformación de la masa a 90 min de fermentación fue mayor HCB respecto a las otras HGET, sin embargo HM se comportó igual que HCB indicando mejor resistencia en estas masas. En la prueba de panificación la harina refinada supero a las harinas integrales, sin embargo el comportamiento de HCB fue mejor al de las otras dos variedades experimentales y la harina testigo integral, lo que hace promisorio a esta variedad para productos de panificación integral. Los valores de VOP, VOE y HAL en HM y HN mostraron parámetros de calidad similares a la harina comercial integral por lo que se compara la calidad panadera a la de las harinas comerciales. El pH final es igual entre HM y HCB pero al panificar se observa una diferencia en calidad a favor de la última. Las variedades evaluadas se sugieren para fermentaciones prolongadas y en la obtención de buenos productos de panificación, sin la necesidad de añadir hidrocoloides. También, se recomienda estudiar más la prueba de fermentación debido a que existe correlación con factores importantes en la diversas pruebas de calidad, esto con el fin de identificar si es factible o no su uso al evaluar la calidad de las harinas.

BIBLIOGRAFÍA

- American Association of Cereal Chemists (AACC).** 1995. Approved Methods of the AACC, 9th ed. AACC, St. Paul, MN. USA. 1268 pp.
- Baasandorj, T., J.B. Ohm, F. Manthey & S. Simsek.** 2015. Effect of kernel size and mill type on protein, milling yield, and baking quality of hard red spring wheat. *Cereal Chemistry* 92 (1): 81-87.
- Bae, W., B. Lee, G.G. Hou & S. Lee.** 2014. Physicochemical characterization of wholegrain wheat flour in a frozen dough system for bake off technology. *Journal of Cereal Science* 60(3): 520-525.
- Barak, S., D. Mudgil & B.S. Khatkar.** 2013. Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *LWT - Food Science and Technology* 51: 211-217.

- Belton, P.S.** 1999. On the elasticity of wheat gluten. *Journal of Cereal Science* 29: 103-107.
- Bressiani, J., T. Oro, G.S. Santetti, J.L. Almeida, T.E. Bertolin, M. Gómez & L.C. Gutkoski.** 2017. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. *Journal of Cereal Science* 75: 269-277.
- Cai, L., I. Choi, C. Lee, K. Park & B. Baik.** 2014. Bran Characteristics and Bread-Baking Quality of Whole Grain Wheat Flour. *Cereal Chemistry* 91(4): 398-405.
- Cauvain, S.P.** 2012. *Breadmaking, Improving quality.* Second edition. Woodhead Publishing Limited. United Kingdom. 802 pp.
- Cauvain, S.P.** 2015. *Technology of Breadmaking.* Third Edition. Springer International Publishing Switzerland. 408 pp.
- Cerda-Cova, V. & L. Vázquez-Chávez.** 2017. Diferentes masas de trigo prefermentadas usadas para mejorar la calidad del pan. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 2: 60-64.
- Coda, R., I. Kärki, E. Nordlund, R.L. Heiniö, K. Poutanen & K. Katina.** 2014. Influence of particle size on bioprocess induced changes on technological functionality of wheat bran. *Food Microbiology* 37: 69-77.
- Collar, C., C. Benedito de Barber & M.A. Martínez Anaya.** 1994. Microbial sour doughs influence acidification properties and breadmaking potential of wheat dough. *Journal of Food Science* 59 (3): 629-663.
- Dhaka, V. & Khatkar, B.S.** 2015. Effects of gliadin/glutenin and HMW-GS/LMW-GS ratio on dough rheological properties and bread-making potential of wheat varieties. *Journal of Food Quality* 38: 71-82.
- Guzmán, C., G. Posadas-Romano, N. Hernández-Espinosa, A. Morales-Dorantes & R.J. Peña.** 2015. A new standard water absorption criteria based on solvent retention capacity (SRC) to determine dough mixing properties, viscoelasticity, and bread-making quality. *Journal of Cereal Science* 66: 59-65.
- Islas, R.A., F. MacRitchie, S. Gandikota & G. Hou.** 2005. Relaciones de la composición proteínica y mediciones reológicas en masa con la calidad panadera de harinas de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(3): 243-251.
- Matos, S.P., A. de Francisco, M.M. de Zavariz & V.M. Limberger.** 2011. Review-Trigo: Características e utilização na panificação. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais* 13 (2): 211-222.
- Oliveira, L.C., C.M. Rosell & C.J. Steel.** 2015. Effect of the addition of whole-grain wheat flour and of extrusion process parameters on dietary fibre content, starch transformation and mechanical properties of a ready-to-eat breakfast cereal. *International Journal of Food Science & Technology* 50(6): 1504-1514.
- Payehuana-Mamani, I. & A. Matos-Chamorro.** 2011. La formación de la masa, la fermentación y los métodos de proceso en la elaboración del pan. *Congreso Internacional de Investigación* 8.
- Pomeranz, Y.** 1987. *Modern Cereal Science and Technology.* VCH Publishers. New York. 486 pp.
- Rosell, C.M. & R.C. Collar.** 2009. Effect of temperature and consistency on wheat dough performance. *International Journal of Food Science and Technology* 44: 493-502.
- Serna-Saldívar, S.R.O.** 1996. *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales.* AGT Editor, S.A. México, D.F. 521 pp.
- Shewry, P.R., N.G. Halford & A.S. Tatham.** 1992. High molecular weight subunits of wheat glutenin. *Journal of Cereal Science* 15: 105-120.
- Survase, A., A. Furtado, R. Thengane, G. Fox, T. Taylor & R. Henry.** 2017. Comparison of chapatti and breadmaking quality of wheat genotypes. *Cereal Chemistry* 94(3): 409-416.
- Thanhaeuser, S.M., H. Wieser & P. Koehler.** 2014. Correlation of quality parameters with the baking performance of wheat flours. *Cereal Chemistry* 91(4): 333-341.
- Vásquez-Lara, F., M.A. Camacho-Casas, M.C. Granados-Nevárez, B.A. Silva-Espinoza & A.R. Islas-Rubio.** 2009. Propiedades reológicas y composición proteica: parámetros de calidad en harinas de líneas experimentales de trigo. *Biotecnia* 2: 29-36.
- Vega Castro, Ó.A., R. De Marco & C. Di Risio.** 2015. Propiedades físicas y sensoriales de un pan fresco, con la adición de las enzimas lacasa, xilanasa y lipasa. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia* 12(24): 87-100.
- Wood, B.J.B.** 1998. *Microbiology of Fermented Foods.* Second edition. Volume 1. Department of Bioscience and Biotechnology. University of Strathclyde Glasgow, UK. 852 pp.