

# Efecto en las propiedades reológicas y texturales de pan elaborado a base de harina de trigo y harina de mijo tratada térmicamente

Research Article

Effect on the rheological and textural properties of bread made from wheat flour and heat-treated millet flour

Marisol Padilla-Villalobos<sup>1</sup>, Luis Enrique Robles-Ozuna<sup>1</sup>, Alma Rosa Islas-Rubio<sup>1</sup>, Benjamín Ramírez-Wong<sup>2</sup>, Nina Gisella Heredia-Sandoval<sup>1</sup>, María del Carmen Granados-Neárez<sup>1</sup>, Francisco Vásquez-Lara<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, Número 46, Colonia La Victoria, Hermosillo, Sonora, México. C. P. 83304.

<sup>2</sup> Universidad de Sonora. Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Colonia Centro, Hermosillo, Sonora, México. C. P. 83000.

## RESUMEN

La aplicación de tratamientos térmicos sobre harinas puede afectar de manera positiva sus propiedades funcionales. Por lo anterior, se realizó la sustitución de harina de trigo (HT) con el 10, 20 y 30 % de harina de mijo (HM) tratada térmicamente a 100 y 130 °C. En las mezclas de harinas se evaluó color, capacidad de retención de agua, perfil de viscosidad, gluten seco y tiempo óptimo de amasado. En las masas obtenidas se determinó fuerza (N) y extensibilidad (mm). En el pan se analizó el peso, volumen específico y perfil de textura. Los resultados obtenidos mostraron incrementos en la viscosidad final al utilizar HM tratada térmicamente a 100 y 130 °C a niveles de sustitución del 30 % (3606 cP y 3866 cP) con respecto a HT (2790 cP). También se presentaron incrementos de fuerza de la masa en sustituciones del 10 % con HM tratada a 100 y 130 °C (0.81 N y 0.69 N) comparada a la obtenida en HT (0.34 N). En cuanto al volumen específico del pan, se observaron valores muy semejantes en HT (4.78 cm<sup>3</sup>/g) y el obtenido de la sustitución de HT con 10 % de HM tratada a 100 °C (4.19 cm<sup>3</sup>/g).

El volumen específico es uno de los parámetros de calidad más importantes en productos de panificación, en este sentido se puede decir que la sustitución de harina de trigo con 10 % de harina de mijo tratada a 100 °C favoreció este parámetro, incluso resultó ser muy cercano al obtenido solo de harina de trigo.

**Palabras clave:** sustitución de harina de trigo, análisis reológico, proceso de panificación, caracterización del pan

## ABSTRACT

The application of heat treatments on flours can positively affect their functional properties. Therefore, wheat flour (HT) was replaced with 10, 20, and 30 % of millet flour (HM) heat treated at 100 and 130 °C. In the flour mixtures, color, water retention capacity, viscosity profile, dry gluten and optimal kneading time were evaluated. In the dough, force (N) and extensibility (mm) were determined. In the bread, the weight, specific volume, and texture profile were analyzed. The results showed increases in the final viscosity when using HM heat-treated at 100 and 130 °C at substitution levels of

30 % (3606 cP and 3866 cP), compared to HT (2790 cP). There were also increases in the dough strength at 10 % substitutions with HM treated at 100 and 130 °C (0.81 N and 0.69 N), compared to HT (0.34 N). Regarding the specific volume of the bread, very similar values were observed in HT (4.78 cm<sup>3</sup>/g) and that obtained from the substitution of HT with 10 % of MH treated at 100 °C (4.19 cm<sup>3</sup>/g). The specific volume is one of the most important quality parameters in baking products, in this sense, it can be said that the replacement of wheat flour with 10 % of millet flour treated at 100 °C favored this parameter, even turning out to be very close to that obtained only from wheat flour.

**Keywords:** substitution of wheat flour, rheological analysis, baking process, characterization of bread

## INTRODUCCIÓN

Los cereales son considerados uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, debido a que son la principal fuente de energía en la alimentación humana. La transformación de los cereales a harinas, por medio de la molienda, los colocan como materia prima importante para la elaboración de alimentos como tortillas, pastas, galletas, pan, entre otros (Vásquez *et al.*, 2017). La harina de trigo es la más utilizada en la industria de panificación por sus propiedades funcionales, contenido de proteínas y su capacidad única para la formación de gluten cuando es mezclada con agua (Rosentrater y Evers, 2018). Sin embargo, la utilización de harinas compuestas es considerada como una ventaja en los países en desarrollo ya que reduce la importación de harina de trigo y fomenta el uso de cultivos locales para la elaboración de harinas (Hasmadi *et al.*, 2014).

Los productos de panadería elaborados con harinas compuestas conservan algunas características similares al pan de harina de trigo, sin embargo, se presentan diferencias en la textura, valor nutricional y apariencia. El trigo es una buena fuente de calorías y otros nutrientes, pero pobre desde el punto de vista nutricional, ya que las proteínas de los cereales son deficientes en aminoácidos esenciales como la lisina y treonina (Noorfarahzilah *et al.*, 2014). El creciente número de aplicaciones de harinas compuestas en diversos

\*Autor para correspondencia: Francisco Vásquez Lara  
Correo-e: fvas@ciad.mx

Recibido: 5 de diciembre de 2023

Aceptado: 7 de mayo de 2024

Publicado: 31 de mayo de 2024

productos de panadería y pastelería, ha generado una producción importante de estudios acerca de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los diferentes tipos de materiales utilizados para producir harina. Las harinas de maíz, cebada, yuca y garbanzo, son de las más estudiadas para la elaboración de harinas compuestas, además de leguminosas como el chícharo, soya, frijol, lenteja, así como cereales malteados o germinados como el arroz y la cebada (Noorfarahzilah *et al.*, 2014). Sin embargo, una alternativa a los anteriores es el mijo (*Panicum miliaceum*), el cual se destina principalmente para alimentación animal y en muy pocos países se emplea en panificación (Rosentrater y Evers, 2018).

Además de la sustitución de la harina de trigo con diferentes harinas, se ha observado que el proceso de panificación puede mejorarse cuando las harinas son tratadas térmicamente. Estas harinas pueden tener diversas aplicaciones dentro del procesamiento de alimentos, entre ellas están: la elaboración de alimentos infantiles, salsas, sopas, cremas y rellenos, espesantes, alimentos instantáneos, alimentos precocidos, confitería, mayonesas y pan. Russo y Doe (1970), fueron los primeros en patentar este proceso usando un rango de temperatura de 100 a 115 °C por 60 min. Se ha observado que el tratamiento térmico en harinas afecta la extensibilidad del gluten y la absorción de agua, así como la gelatinización del almidón (Vásquez *et al.*, 2018). En harinas utilizadas en panificación, el tratamiento térmico ha incrementado la viscosidad y disminuido la firmeza en este tipo de productos (Gélinas *et al.*, 2001). Estos efectos tienden a mejorar la elasticidad de la masa y producir un efecto positivo en el volumen del pan (Pylar, 1988). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue demostrar cómo la sustitución de la harina de trigo con harina de mijo tratada térmicamente puede ser una alternativa importante de mejora en el volumen específico y firmeza del pan, además de potencialmente disminuir el costo del producto final.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima

Se utilizó harina de trigo (HT) marca Los Gallos, la cual fue adquirida en un comercio local de Hermosillo, Sonora. También se utilizó harina de mijo (HM) marca Larissa Veronica adquirida en Tucson, Arizona. Otras materias primas utilizadas en el proceso de panificación fueron manteca vegetal (Marca Inca), levadura (Marca Nevada) y solución azúcar-sal, todas ellas se compraron en un comercio local.

### Tratamiento térmico en harina de mijo

La HM fue sometida a dos tratamientos térmicos, 100 o 130 °C durante 30 min en una estufa (VWR International Modelo 1321F U.S.A). Después las harinas se acondicionaron en una cámara de fermentación a 30 °C y 90 % HR por 1 h para restituir la pérdida de humedad ocasionada por los diferentes tratamientos térmicos.

### Preparación de las mezclas de harinas

Las formulaciones binarias que se evaluaron se basaron en

la mezcla de la HM tratada térmicamente con la HT en las proporciones siguientes: 10/90, 20/80 y 30/70 (peso/peso), respectivamente.

### Composición química de las harinas

A la HT y HM se les determinó humedad, proteína, grasa cruda y ceniza de acuerdo con los siguientes métodos: 44-40.01, 46-13.01, 30-20.01 y 08-01.01 (AACC, 2000), respectivamente. Los parámetros mencionados anteriormente se realizaron por triplicado. Los carbohidratos se calcularon por diferencia.

### Determinación de color

Se utilizó un colorímetro Konica Minolta (Modelo Chroma Meter CR-400, Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japón). El tamaño de apertura fue de 8 mm. Los parámetros evaluados fueron: L\* (Luminosidad), a\* (variación de rojo a verde) y b\* (variación de amarillo a azul). Para la obtención de estos parámetros se realizaron 5 disparos dirigidos a diferentes puntos sobre la bolsa que contenía cada una de las mezclas de harinas.

### Capacidad de retención de agua (CRA)

La CRA se realizó de acuerdo con el método 56-11.02 (AACC, 2000). Se colocaron 5 g de harina  $\pm$  0.05 g en un tubo de 50 mL (Nalgene Centrifuge Ware) al cual se le añadió 25 g de agua  $\pm$  0.05 g. La mezcla se agitó inicialmente por 5 s para suspender la harina. Después se agitó a los 5, 10, 15 y 20 min, seguida de centrifugación por 15 min a 1000 x g (Centrifuge Beckman Coulter Allegra X-30R, Brea, California, USA) a temperatura ambiente. El sobrenadante fue descartado y el tubo conteniendo el pellet húmedo se invirtió para decantar por 10 min y finalmente ser pesado. Los cálculos se realizaron de acuerdo con Haynes *et al.* (2009). Este análisis se realizó por quintuplicado.

### Perfil de viscosidad

Se obtuvo de acuerdo con el método 76-21.02 (AACC, 2000). Las mezclas de harinas no tratadas y las tratadas térmicamente se analizaron en base a 3.5 g  $\pm$  0.01 g de muestra ajustadas al 14 % de humedad. La cantidad de agua incorporada fue de 25 g  $\pm$  0.01 g resultado del propio ajuste al que se llevaron las harinas (Shittu *et al.*, 2007). Se utilizó un viscosímetro RVA (Rapid Visco Analyser Super 4, Newport Scientific Australia). Mediante el software Thermocline se seleccionó el perfil de la prueba Estándar 1. La medición de esta prueba se llevó a cabo por duplicado.

### Determinación de gluten seco

A 10 g de harina se le añadieron 5.5 g de solución salina al 2 % para mezclar hasta formar una masa firme y homogénea. Se dejó reposar por 5 min y se procedió a un amasado suave bajo el chorro de agua hasta remover todo el almidón soluble. La masa se estiró con el propósito de eliminar el exceso de agua, hasta que la superficie de la muestra de gluten se volvió adherente. El gluten húmedo obtenido anteriormente se secó en una estufa a 150 °C por 10 min, se retiró de la estufa y se pesó después de 20 min de atemperado. Después del

primer pesaje se partió el gluten manualmente y se volvió a secar por otros 10 min a 150 °C. Después la muestra se colocó en un desecador durante 24 h y se obtuvo un tercer pesaje con el cual se calculó el rendimiento del gluten seco (Espinoza y Quispe, 2013). Esta prueba se llevó a cabo por triplicado.

### Tiempo óptimo de amasado (TOA)

En base a los valores de humedad y proteína de las mezclas de harinas tratadas térmicamente con HT, se calculó la cantidad de agua y harina para llevar a cabo el amasado en un Mixógrafo (National Mfg. Co. Lincoln, NE, USA), de acuerdo con el método 54-40.02 (AACC, 2000). Se analizó el gráfico obtenido y se determinó el TOA. Este análisis se realizó por duplicado.

### Medición de fuerza (F) y extensibilidad (E)

La masa obtenida anteriormente se colocó dentro de una cámara de fermentación (30 °C y 90 % HR) por 20 min. Al cabo de este tiempo, la masa se colocó sobre una plataforma ranurada y sobre esta otra plataforma sin ranuras, presándose por aproximadamente 30 s para formar las tiras de masas las cuales se introdujeron de nuevo en la cámara de fermentación por 45 min (Ktenioudaki *et al.*, 2013). Al cabo de este tiempo se realizó la medición de F y E a una velocidad de prueba de 3.3 mm/s. La medición de los parámetros mencionados anteriormente se llevó a cabo siguiendo la técnica descrita por Kieffer *et al.* (1988), utilizando un analizador de textura (TA-XT2, SMS/Kieffer dough extensibility Rig Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, England). Para la obtención de los parámetros mencionados anteriormente se realizaron diez mediciones.

### Proceso de elaboración del pan

Se realizó por el método 10-10.03 (AACC, 2000). Se utilizaron 35 g de harina, 1.2 mL de manteca vegetal, 0.7 g de levadura, 3.83 mL de solución azúcar-sal (azúcar 42.44 %, sal 10.61 % y agua 46.93 %) y 21.55 mL de agua. La Figura 1 muestra un diagrama del proceso de elaboración del pan. Esta prueba se llevó a cabo por duplicado.

### Propiedades físicas del pan

Peso del pan. Se pesó en una balanza inmediatamente después de extraerse del horno. Volumen específico del pan. Se obtuvo de la relación del volumen del pan/peso del pan y fue expresado en cm<sup>3</sup>/g.

### Análisis del perfil de textura (TPA)

De cada tratamiento se obtuvieron dos panes los cuales fueron rebanados a un grosor de 1.5 cm. Se utilizó un Texturómetro (TA-XT2, Texture Analyser Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK) con la celda de carga de 5 kg y dispositivo TA-40 (40 mm de diámetro). La velocidad del ensayo fue de 1.7 mm/s para comprimir la rebanada el 50 % de su altura. El tiempo entre las compresiones fue de 5 s. Los parámetros obtenidos fueron: firmeza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad (Verdú *et al.*, 2015).

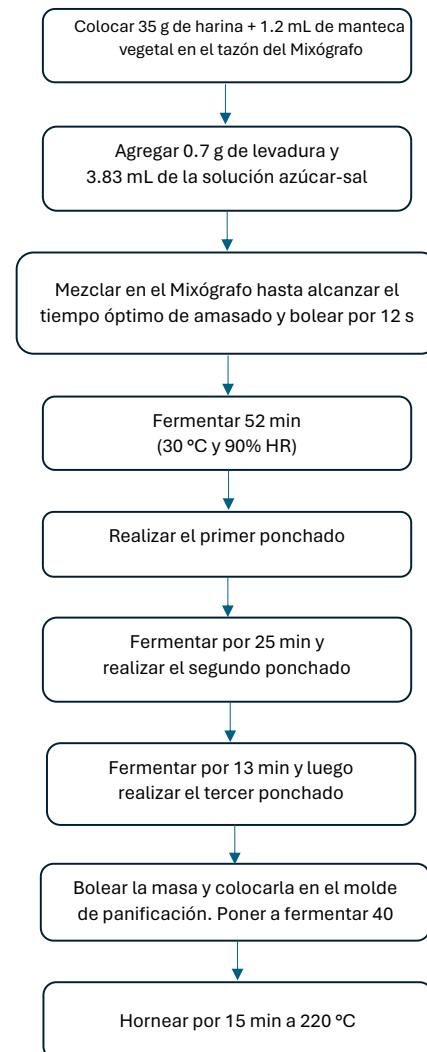


Figura 1. Diagrama del proceso de elaboración del pan.

### Análisis estadístico

Los resultados se analizaron aplicando un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Para discriminar entre las medias se utilizó el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. El Análisis estadístico se llevó a cabo con el Programa Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies) con un nivel de confianza del 95 %.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos del análisis químico realizado a HT y HM. La importancia del conocimiento químico de las harinas es determinante en ocasiones para definir el posible uso que podrían tener en la industria. Se observó un incremento del 1.54 % de proteína en HT (11.61 % ± 0.31) con respecto a HM (10.07 ± 0.11). En panificación es muy importante el porcentaje de proteína, así como su calidad, por la influencia que tiene en el proceso de formación del gluten, que guarda una relación importante con el

volumen del pan. Otro componente muy importante es el contenido de ceniza, donde se observó un incremento de 0.47 % en HM con respecto a HT. En el procesamiento de harinas este parámetro es de suma importancia, ya que guarda una relación directa con el grado de extracción de esta, además de ser un parámetro relacionado con la calidad de la molienda y rendimiento (Vásquez, 2016).

Los resultados de color en las diferentes mezclas de harinas y CRA (Tabla 2) presentaron una disminución en el valor de L\* (luminosidad) a medida que se incrementó el porcentaje de sustitución, lo anterior fue para los dos tratamientos térmicos a las que fue sometida HM. Este mismo parámetro a niveles de sustitución del 30 % con la HM tratada a 100 y 130 °C fue muy semejante al valor obtenido en HT. En el caso particular de la medición de a\* (variación de rojo a verde), este parámetro mostró un comportamiento similar al observado en L\*. Lo contrario a este comportamiento fue cuando se analizó el valor de b\* (variación de amarillo a azul). Estudios realizados por Hidalgo *et al.* (2014) observaron la influencia que tiene el contenido total de carotenoides, proteína y ceniza, además de la granulometría de las harinas que determinan de manera importante la percepción del color. Posner (2009), también observó que los procesos de molienda y las tasas de extracción tienen una influencia importante en componentes como proteínas, pigmentos y almidón dañado que afectan los valores de color cuando estos son medidos. Brandolini *et al.* (2008) también coincidieron que los valores de color en harinas pueden estar influenciados por el contenido de carotenoides y características genóticas.

En cuanto a la CRA la tendencia observada fue de disminuir a medida que se incrementó el porcentaje de sustitución de harina de trigo para los dos tratamientos térmicos (Tabla 2). A niveles de sustitución del 10 % se observaron valores muy semejantes con respecto a HT. El comportamiento anterior puede ser explicado por incrementos en el nivel de sustitución de HM generando en consecuencia una dilución de las fracciones proteicas involucradas en la formación del gluten, disminuyendo así la capacidad de las harinas para retener agua. Berton *et al.* (2002) determinaron la importancia del nivel de molienda de las harinas de trigo y la capacidad de retención de agua, donde un mayor nivel de molienda se traduce en un tamaño de partícula más pequeño y una mayor capacidad de retención de agua, así a cierto nivel de daño las propiedades mecánicas de la masa pueden verse afectadas de manera negativa.

El perfil de viscosidad de las mezclas de HT con HM en los niveles de sustitución del 10, 20 y 30 % sometida a tratamiento de 100 °C (Figura 2A) presentó una disminución en la viscosidad pico (2327, 2102 y 1916 cP) y viscosidad mínima (1403, 1230 y 1102 cP) a medida que se incrementó el nivel de sustitución, caso contrario a este comportamiento fue cuando se analizó la viscosidad final (3296, 3574 y 3606 cP). En este parámetro los valores observados fueron mayores a los que registró HT (2790 cP).

En lo que respecta al perfil de viscosidad de las mezclas de HT con HM en los tres niveles de sustitución donde HM fue tratada a 130 °C (Figura 2B), los resultados observados en la viscosidad pico (2363, 2261 y 2163 cP) mantuvieron

**Tabla 1.** Resultados del análisis químico proximal realizado a harina de trigo y harina de mijo.  
**Table 1.** Results of the proximal chemical analysis carried out on wheat flour and millet flour.

Harina	% Humedad	% Proteína	% Grasa	% Ceniza	% Carbohidratos
Trigo	12.09 ± 0.12 a	11.61 ± 0.31 a	1.28 ± 0.18 a	0.70 ± 0.01 b	74.95
Mijo	9.27 ± 0.14 b	10.07 ± 0.11 b	1.22 ± 0.07 a	1.17 ± 0.01 a	78.27

Los datos son expresados como media ± desviación estándar. Los carbohidratos son resultado de la diferencia de 100 menos el resto de los componentes analizados. Medias con diferente letra en columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

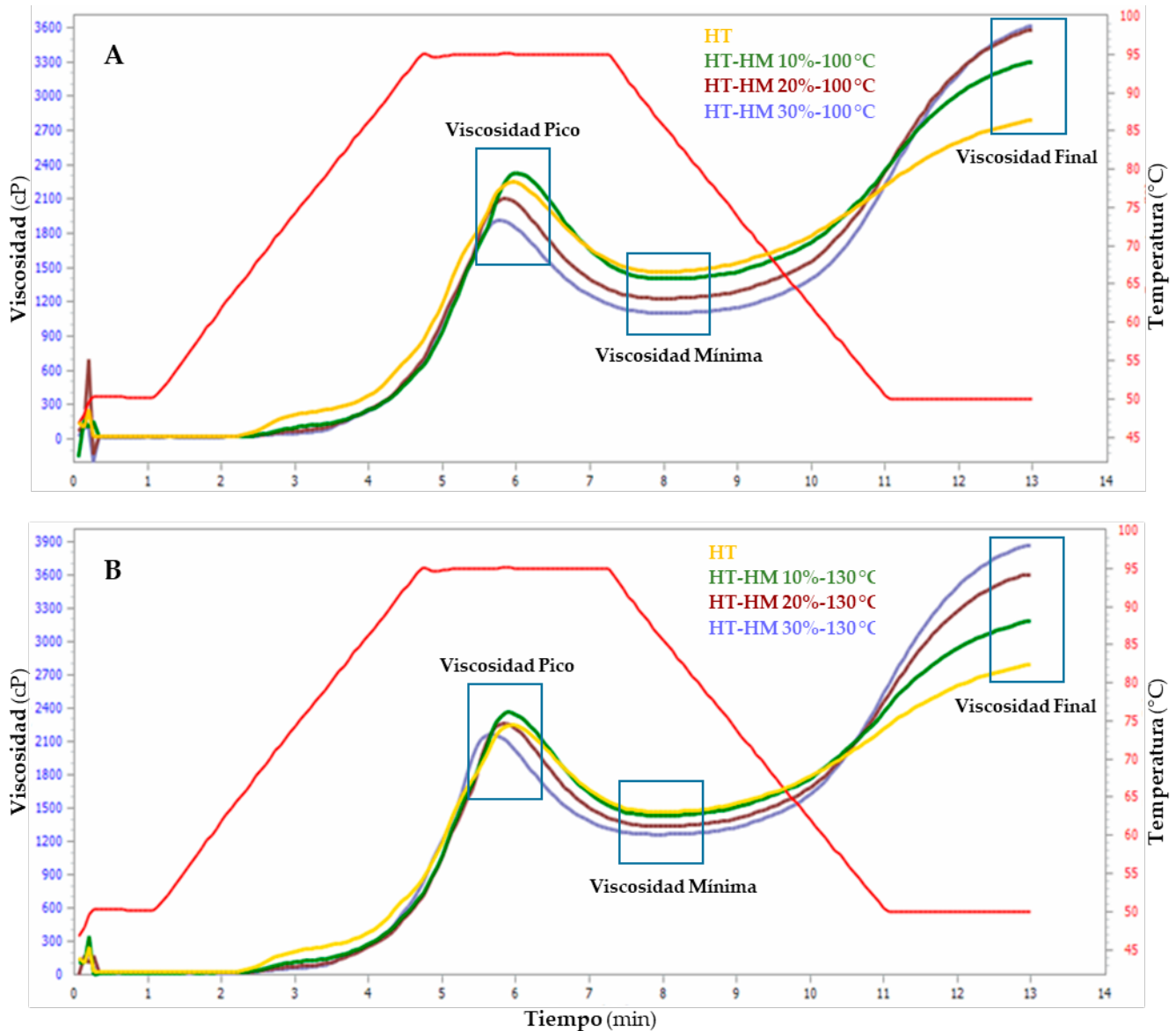
**Tabla 2.** Análisis de color y capacidad de retención de agua (CRA) en harina de trigo (HT) y mezclas de HT con harina de mijo (HM) tratada térmicamente a 100 °C y 130 °C durante 30 min a niveles de sustitución del 10, 20 y 30%.

**Table 2.** Color and water holding capacity (CRA) analysis in wheat flour (HT) and mixtures of HT with millet flour (HM) heat-treated at 100 °C and 130 °C, at substitution levels of 10, 20 and 30%.

Harina	L*	a*	b*	CRA (%)
HT	93.33 ± 1.36 c	0.11 ± 0.03 a	8.06 ± 0.19 g	67.48 ± 0.81 b
HT/HM 10%-100 °C	94.51 ± 0.16 a	-0.34 ± 0.01 b	9.31 ± 0.17 e	68.13 ± 0.12 b
HT/HM 20%-100 °C	94.04 ± 0.08 ab	-0.53 ± 0.03 d	10.61 ± 0.12 c	60.58 ± 0.67 e
HT/HM 30%-100 °C	93.61 ± 0.18 abc	-0.65 ± 0.07 e	11.72 ± 0.26 a	59.52 ± 0.39 f
HT/HM 10%-130 °C	94.34 ± 0.23 a	-0.30 ± 0.02 b	9.06 ± 0.05 f	69.62 ± 0.10 a
HT/HM 20%-130 °C	93.86 ± 0.12 abc	-0.33 ± 0.02 b	9.94 ± 0.07 d	64.46 ± 0.45 d
HT/HM 30%-130 °C	93.26 ± 0.21 c	-0.42 ± 0.03 c	10.90 ± 0.07 b	65.38 ± 0.98 c

Los datos son expresados como media ± desviación estándar. Medias con diferente letra en columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).  
Data are expressed as mean ± standard deviation. Means with different letters in columns indicate significant differences ( $p \leq 0.05$ ).





**Figura 2.** Perfil de viscosidad de HT (harina trigo) y las mezclas de HT con HM (harina mijo) tratada térmicamente a 100 °C (A) y 130 °C (B) en niveles de sustitución del 10, 20 y 30%.

**Figure 2.** Viscosity profile of HT (wheat flour) and mixtures of HT with HM (millet flour) heat treated at 100 °C (A) and 130 °C (B), at substitution levels of 10, 20 and 30%.

la misma tendencia que las harinas sometidas a 100 °C de tratamiento térmico, sin embargo, se logra apreciar un ligero aumento en este mismo parámetro. Con respecto a la viscosidad mínima (1431, 1337 y 1261 cP), la tendencia observada es la misma que la viscosidad pico con ligeros incrementos a los registrados por las muestras de HM sometida a 100 °C. En cuanto a la viscosidad final (3176, 3602 y 3866 cP) a niveles de sustitución del 20 y 30 % fue cuando se observaron los valores más altos con respecto a las muestras tratadas a 100 °C y la muestra de HT.

Este perfil de viscosidad lo relacionamos normalmente con el comportamiento del almidón, sin embargo, existen otros componentes muy importantes que están involucrados en esta prueba como son proteínas y lípidos. Estos compo-

nentes interactúan con el almidón y afectan la medición de viscosidad (Balet *et al.*, 2019). La reducción en el hinchamiento de los gránulos de almidón es indicio de las bajas viscosidades pico y la disminución en la ruptura de los gránulos de almidón (Ktenioudaki *et al.*, 2013). Los gránulos de almidón que tienen una alta capacidad de hinchamiento tienden a tener una alta viscosidad. La velocidad de calentamiento también tiene un efecto importante sobre la viscosidad pico. El cocimiento (empaste) es un fenómeno relacionado con la temperatura, el calentamiento de una mezcla más rápido provoca un rápido hinchamiento de los gránulos, lo que permite a estos que alcancen su máxima hinchazón y la contribución a la viscosidad antes de que su rompimiento comience a disminuir la viscosidad (Balet *et al.*, 2019).

Los resultados obtenidos mostraron también una relación directa importante entre la viscosidad pico y la viscosidad mínima, en las cuales se observó que con el incremento en el nivel de sustitución disminuyen ambas viscosidades (pico y mínima). Estudios realizados por Blazek y Copeland (2008), con propiedades de viscosidad en harina de trigo e hinchamiento de almidones, obtuvieron valores promedio de 1510.8 cP para viscosidad mínima, valores bastantes cercanos a los obtenidos en nuestro estudio cuando HT se sustituyó con HM al 10 %.

Otro parámetro muy importante que se analizó fue la viscosidad final. Esta es la formada por el gel durante el enfriamiento de 50 °C a la que esta estandarizada la prueba, aquí sucede una re-asociación entre moléculas de almidón, principalmente amilosa que resulta en la formación de un gel que incrementa dicha viscosidad a medida que aumenta el tiempo de la prueba (Lei *et al.*, 2008). Estudios realizados por Zaidul *et al.* (2007), observaron incrementos significativos en la viscosidad final cuando aumentaron el nivel de sustitución de harina de trigo con almidón en porcentajes de 10 a 50 %. Tadeu-Paraginski *et al.* (2014) encontraron para este parámetro de viscosidad fuertes interacciones entre almidón y proteína, además de un incremento en enlaces disulfuro que pueden ser responsables de altos valores de viscosidad final.

#### Determinación de TOA, gluten seco, fuerza (F) y extensibilidad (E)

El TOA (Tabla 3) no fue afectado de manera importante cuando se analizaron las diferentes mezclas de HT con HM. Se observaron valores muy semejantes estadísticamente ( $p \geq 0.05$ ) con respecto a HT. En lo que respecta al parámetro de gluten seco (Tabla 3), la tendencia fue de disminuir a medida que se incrementó el porcentaje de sustitución, este comportamiento fue observado cuando se utilizó HM tratada a 100 y 130 °C. Las sustituciones realizadas al 30 % fueron las que mostraron los valores más semejantes a HT.

La importancia en la evaluación de este parámetro se debe a la calidad y cantidad de la fracción proteica que poseen, debido a que es considerado un factor de suma

importancia para la funcionalidad de la masa que determina principalmente su capacidad de panificación (Vásquez *et al.*, 2018). La calidad de las harinas depende de un equilibrio específico entre gliadinas y gluteninas para elaborar un buen pan, además se requiere de un balance apropiado entre viscosidad y elasticidad de la masa. El gluten insuficientemente elástico conduce a obtener un pan de bajo volumen. El aumento de la elasticidad genera un pan de mayor volumen, pero también el gluten elástico impide la expansión de las células de gas que conducen de nuevo a bajar el volumen del pan (Barak *et al.*, 2013). De acuerdo a lo anterior, el gluten juega un papel determinante en la apariencia y estructura de la miga de los productos elaborados a base de cereales (Demirkesen *et al.*, 2010).

Otro parámetro analizado en la masa obtenida de las diferentes mezclas de harinas fue el de fuerza (Tabla 3). La tendencia fue a disminuir a medida que se incrementó el porcentaje de sustitución sin importar el tratamiento térmico a la que fue sometida la HM. Todos los valores de fuerza obtenidos en las diferentes mezclas de HT-HM fueron mayores a la mostrada por HT. Por último, también se analizó la extensibilidad de las masas (Tabla 3) y no se encontraron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) en los niveles de sustitución del 10 y 20 % con respecto a la obtenida en HT. Sin embargo, a niveles de sustitución del 30 % con HM tratada térmicamente a 100 y 130 °C si se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con respecto a HT. Los valores más altos de extensibilidad fueron registrados en este último nivel de sustitución. Las propiedades reológicas de las masas son críticas en la manufactura de alimentos (Barak *et al.*, 2013). La masa exhibe un comportamiento visco elástico, combinando las propiedades de un fluido viscoso y un sólido elástico. La combinación de harina, agua y levadura juega un papel muy importante que define la estructura y propiedades reológicas de la masa (Upadhyay *et al.*, 2012).

Estudios realizados por Ktenioudaki *et al.* (2013) observaron cambios en las pruebas reológicas de las masas durante la adición de subproductos, ocasionados posiblemente por la adición de fibra la cual interactúa con el desarrollo del gluten

**Tabla 3.** Determinación del tiempo óptimo de amasado (TOA), gluten seco, fuerza y extensibilidad de HT (harina trigo) y mezclas de HT con HM (harina mijo) tratada térmicamente a 100 y 130 °C durante 30 min a niveles de sustitución del 10, 20 y 30 %.

**Table 3.** Determination of the optimal kneading time (TOA), dry gluten, strength and extensibility of HT (wheat flour) and mixtures of HT with HM (millet flour) heat treated at 100 and 130 °C, at substitution levels of 10, 20 and 30 %.

Harina	TOA (min)	Gluten seco (g)	Fuerza (N)	Extensibilidad (mm)
HT	5.30 ± 0.07 c	1.22 ± 0.04 b	0.34 ± 0.03 g	38.55 ± 12.71 bc
HT/HM 10%-100°C	6.21 ± 0.21 a	2.01 ± 0.01 a	0.81 ± 0.04 a	36.14 ± 10.29 c
HT/HM 20%-100°C	5.36 ± 0.14 c	1.47 ± 0.04 b	0.58 ± 0.04 c	46.22 ± 12.11 ab
HT/HM 30%-100°C	5.39 ± 0.07 bc	1.05 ± 0.14 bc	0.41 ± 0.06 f	48.08 ± 13.87 a
HT/HM 10%-130°C	5.54 ± 0.42 abc	1.58 ± 0.04 b	0.69 ± 0.07 b	47.17 ± 12.19 ab
HT/HM 20%-130°C	6.12 ± 0.14 ab	1.41 ± 0.01 b	0.52 ± 0.03 d	44.56 ± 15.31 abc
HT/HM 30%-130°C	5.45 ± 0.35 c	1.04 ± 0.16 c	0.44 ± 0.02 e	49.91 ± 9.12 a

Los datos son expresados como media ± desviación estándar. Medias con diferente letra en columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

Data are expressed as mean ± standard deviation. Means with different letters in columns indicate significant differences ( $p \leq 0.05$ ).

causando cambios en sus propiedades reológicas. Este comportamiento ha sido reportado por Rieder *et al.* (2012), quien trabajó sobre la calidad reológica de la masa al ser sustituida la HT con harinas de cebada y de avena. Estos autores observaron también como la fuerza y extensibilidad disminuyeron por dilución del gluten de trigo cuando el contenido de fibra aumentó, lo que puede generar un rompimiento de la red de gluten durante la formación de la mezcla.

### Peso y volumen específico del pan

Los parámetros físicos analizados en pan fueron peso y volumen específico (Figura 3). En lo que respecta al peso, no se observaron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) cuando se analizó el obtenido de HT y la mezcla de HT con HM al 10 % sometida a 100 °C. Sin embargo, con el resto de las mezclas sí se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ). También se analizó el volumen específico obtenido de la relación del volumen del pan y su peso. La tendencia fue a disminuir a medida que se incrementó el porcentaje de sustitución de HM.

Aumentos en el volumen específico se atribuyen a la capacidad de retención de gas del gluten (Wu *et al.*, 2012). Al incrementar el nivel de sustitución reduciendo por dilución el gluten contenido en las mezclas de harinas, generó volúmenes específicos más bajos con respecto al obtenido de HT.

Es importante considerar en este estudio que no necesariamente las masas que mostraron valores más altos de fuerza o extensibilidad fueron de las que se obtuvieron volúmenes específicos más altos de pan. Lo que sí fue evidente es que el tratamiento térmico de 100 °C sobre HM (4.18 cm<sup>3</sup>/g) y niveles de sustitución del 10 % favoreció con valores muy cercanos de volumen específico al obtenido de HT (4.78 cm<sup>3</sup>/g). Por lo tanto, un balance entre fuerza y extensibilidad de las masas determinado por la cantidad y calidad de sus proteínas es necesario para la obtención de volúmenes adecuados de pan.

### Análisis del perfil de textura (TPA)

La Figura 4 muestra los valores de firmeza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad de los panes obtenidos de las dife-

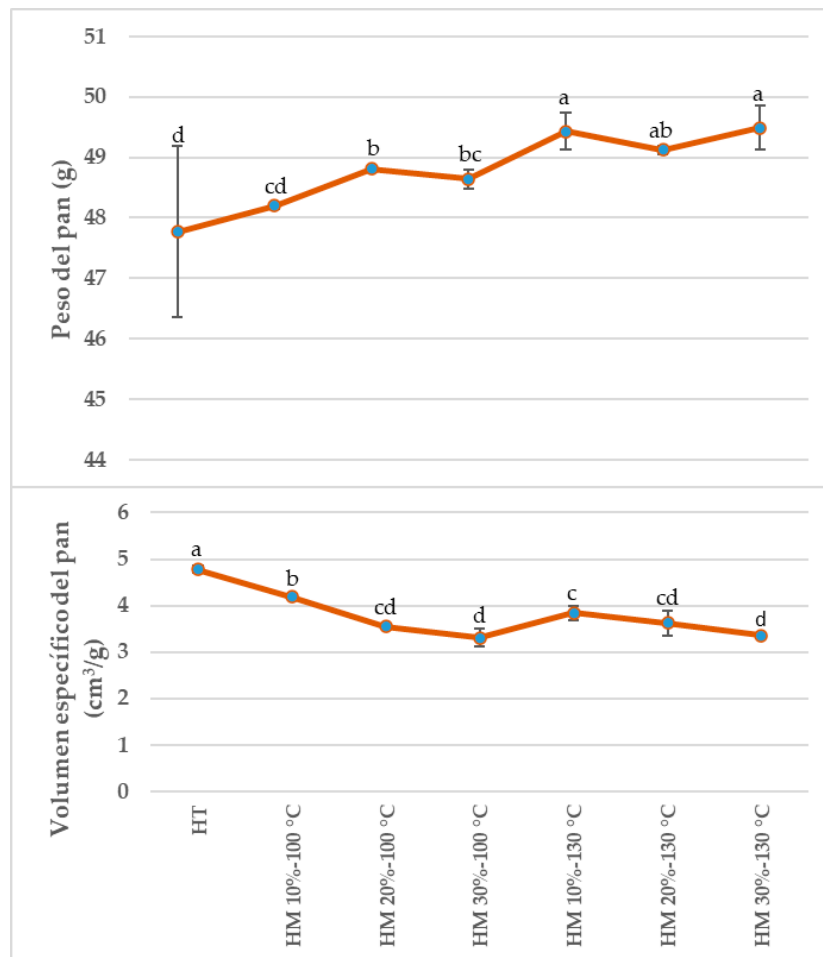


Figura 3. Propiedades físicas del pan obtenido de HT (harina trigo) y mezclas de HT con HM (harina mijo) tratada térmicamente a 100 y 130 °C durante 30 min a niveles de sustitución del 10, 20 y 30%.

Figure 3. Physical properties of bread obtained from HT (wheat flour) and mixtures of HT with HM (millet flour) heat-treated at 100 and 130 °C, at substitution levels of 10, 20 and 30%.

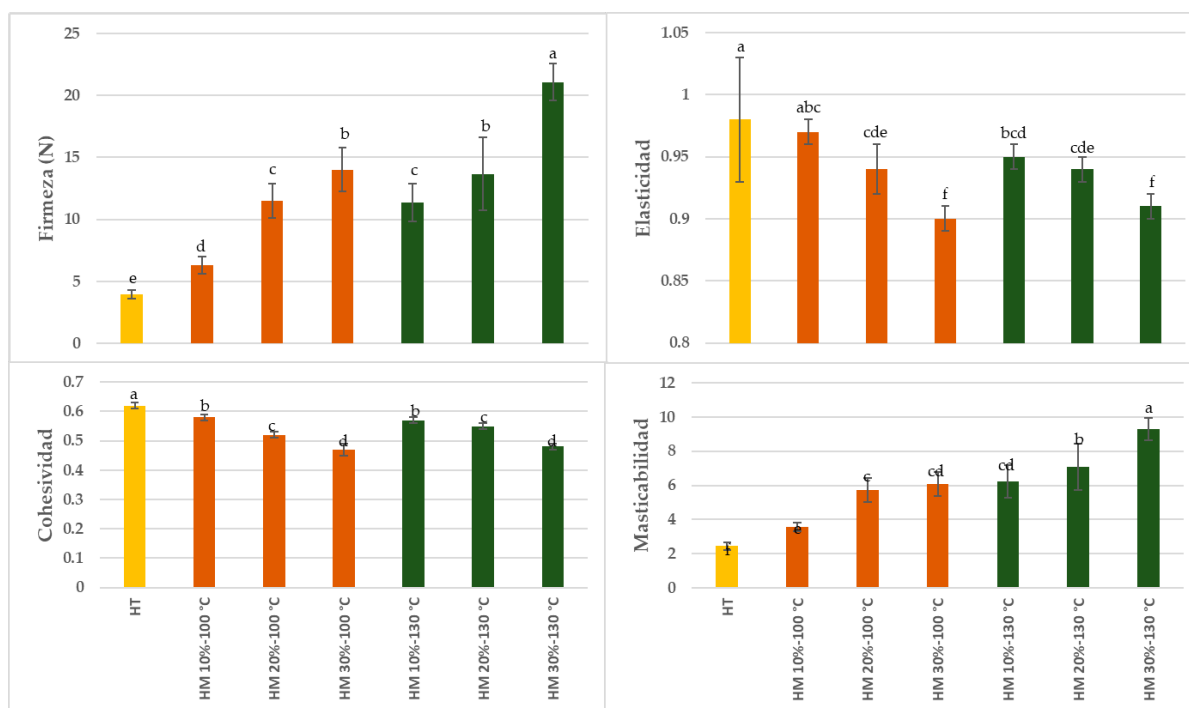


Figura 4. Perfil de textura del pan obtenido de HT (harina trigo) y mezclas de HT con HM (harina mijo) tratada térmicamente a 100 y 130 °C durante 30 min a niveles de sustitución del 10, 20 y 30 %.

Figure 3. Texture profile of bread obtained from HT (wheat flour) and mixtures of HT with HM (millet flour) heat-treated at 100 and 130 °C, at substitution levels of 10, 20 and 30 %.

rentes mezclas de HT con HM tratada a 100 y 130 °C a niveles de sustitución del 10, 20 y 30 %. En lo que respecta a firmeza la tendencia fue de incrementar a medida que aumentó el nivel de sustitución, este comportamiento fue más evidente cuando se utilizó HM (21.07 N) tratada a 130 °C y nivel de sustitución del 30 %. El valor más bajo de este parámetro fue el que se obtuvo en HT (3.97 N). Este mismo comportamiento fue observado en masticabilidad, sin embargo, los incrementos más importantes fueron los mostrados a niveles de sustitución del 20 y 30 % con HM (7.07 y 9.31, respectivamente) tratada a 130 °C y que mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al resto de mezclas de harinas. Un comportamiento contrario al observado en los dos parámetros mencionados anteriormente fueron elasticidad y cohesividad, coincidiendo también en que los valores más bajos observados fueron en la sustitución del 30 % con HM sin importar el tratamiento térmico a la que fue sometida.

La firmeza de la miga es uno de los atributos de textura que más ha llamado la atención, por la percepción de frescura del producto, en este caso pan, que nos brinda una estimación de la calidad de este. La textura y la palatabilidad de los productos de panadería son atributos muy importantes que difieren de un producto a otro. En el caso de la textura de la miga del pan, las propiedades mecánicas como firmeza y elasticidad son de las que más interesan y muy frecuentemente se trata de ligar estos parámetros con las características asociadas a la palatabilidad y masticabilidad mediante la adaptación de los más fundamentales métodos físicos de análisis (Hernández y Duran, 2012).

## CONCLUSIONES

Las propiedades reológicas de las masas como fuerza y extensibilidad fueron afectadas por los niveles de sustitución de la harina de trigo. La fuerza de la masa disminuyó a medida que se incrementó el porcentaje de sustitución con la harina de mijo tratada a 100 y 130 °C, sin embargo, en todos los casos fue mayor a la registrada por la harina de trigo. En la extensibilidad de las masas se observó lo contrario, incrementos muy pequeños que no mostraron diferencias significativas entre ellos, independientemente del nivel de sustitución y el tratamiento térmico.

El volumen específico es uno de los parámetros de calidad más importantes en productos de panificación, en este sentido, con la sustitución de harina de trigo con 10 % de harina de mijo tratada a 100 °C no se afectó marcadamente este parámetro, obteniéndose un pan con un volumen específico aceptable (4.19 cm<sup>3</sup>/g), con valores cercanos al del pan elaborado con harina de trigo (control).

Otros parámetros de importancia considerados por los consumidores de productos de panificación son la firmeza y la masticabilidad, en este trabajo de investigación estas fueron afectadas por el porcentaje de sustitución de harina de trigo y el tratamiento térmico. Niveles más altos de sustitución (30 %) y tratamiento térmico de 130 °C incrementaron la firmeza y masticabilidad del pan afectando de manera negativa estos parámetros.

## REFERENCIAS

AACC, 2000. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 10<sup>th</sup> Ed. The Association, St. Paul, MN, USA.



- Methods 44-40.01, 46-13.01, 30-20.01, 08-01.01, 56-11.02, 76-21.02, 54-40.02, 10-10.03.
- Balet, S., Guelpa, A., Fox, G. y Manley, M. 2019. Rapid Visco Analyser (RVA) as a Tool for Measuring Starch-Related Physiochemical Properties in Cereals: a Review. *Food Analytical Methods* 12:2344-2360. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01581-w>
- Barak, S., Mudgil, D. y Khatkar, B.S. 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.011>
- Berton, B., Scher, J., Villieras, F. y Hardy, J. 2002. Measurement of hydration capacity of wheat flour: Influence of composition and physical characteristics. *Powder Technology* (128) 326-331. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(02\)00168-7](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(02)00168-7)
- Blazek, J. y Copeland, L. 2008. Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate polymers* (71) 380-387. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.06.010>
- Brandolini, A., Hidalgo, A. y Moscaritolo, S. 2008. Chemical composition and pasting properties of einkorn (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) whole meal flour. *Journal of Cereal Science* (47) 599-609. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.07.005>
- Demirkesen, I., Mert, B., Summu, G. y Sahin, S. 2010. Utilization of chestnut flour in gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering* 101(3): 329-336. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.07.017>
- Espinoza Silva, C.R. y Quispe Solano, M.A. 2013. Manual de tecnología de cereales y leguminosas. Universidad Nacional del Centro de Perú. <https://maqsolano.files.wordpress.com/2014/04/manual-de-tecnologia-de-cereales.pdf>
- Gélinas, P., Mckinnon, C.M., Rodrigue, N. y Montpetit, D. 2001. Heating conditions and bread-making potential of substandard flour. *Journal of Food Science* (66) 627-632. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb04612.x>
- Hasmadi, M., Siti Faridah, A., Salwa, I., Matanjun, P., Abdul Hamid, M. y Rameli, A.S. 2014. The effect of seaweed composite flour on the textural properties of dough and bread. *Journal of Applied Phycology* 26:1057-1062. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0082-8>
- Haynes, L.C., Bettge, A.D. y Slade, L. 2009. Soft wheat and flour products methods review: Solvent retention capacity equation correction. *Cereal Foods World*, 54(4), 174-175. <https://doi.org/10.1094/CFW-54-4-0174>
- Hernández, O.M. y Duran, O.D. 2012. Características reológicas del pan de agua producto autóctono de pamplona (Norte de Santander). *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas* 10(2): 61-74. Universidad de Pamplona. Colombia. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90326388001>
- Hidalgo García, M.A. 2014. Elaboración y aceptabilidad de pan con sustitución parcial de harina de zanahoria fortificado con zinc en niños de 6 años de edad. *Institución educativa particular. Surco-Lima*, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.050>
- Kieffer, R., Wieser, H., Henderson, M.H. y Graveland, A. 1998. Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale. *Journal of Cereal Science*, 27(1), 53-60. <https://doi.org/10.1006/jcsc.1997.0136>
- Ktenioudaki, A., O'Shea, N. y Gallagher, E. 2013. Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace. *Journal of Food Engineering*, 116(2), 362-368. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.005>
- Lei, F., Ji Chung, T., Cai Ling, S. y Chun, L. 2008. RVA and farinograph properties study on blends of resistant starch and wheat flour. *Agricultural Science in China* 7 (7) 812-822. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60118-2](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60118-2)
- Noorfarahzilah, M., Lee, J.S., Sharifudin, M.S., Mohd Fadzelly, A.B. y Hasmadi, M. 2014. Applications of composite flour in development of food products. *MiniReview. International Food Research Journal* 21(6): 2061-2074. <http://www.ifrj.upm.edu.my>
- Posner, E.S. 2009. Wheat Flour Milling. En K. Khan and P.R.B.T.W. (Fourth E. Shewry (Eds.), American Associate of Cereal Chemists International (pp. 119-152). ISBN: 978-1-891127-55-7
- Pylar, E.J. 1988. *Cake baking technology. Baking science and technology* (979-1027). Kansas City: Sosland Publishing. ISBN-10:0929005007
- Rosentrater, K.A. y Evers, A.D. 2018. *Kent's Technology of Cereals an Introduction for Students of Food Science and Agriculture* (5th edition; W. E. Publishing, Ed.). Elsevier Ltd. ISBN: 9780081005323
- Rieder, A., Holtekjølen, A.K., Sahlstrøm, S. y Moldestad, A. 2012. Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 55(1), 44-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.10.003>
- Russo, J.V. y Doe, C.A. 1970. Heat treatment of flour as an alternative to chlorination. *International Journal of Food Science & Technology*, 5(4), 363-374. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1970.tb01580.x>
- Shittu, T.A., Raji, A.O. y Sanni, L.O. 2007. Bread from composite cassava-wheat flour: I. Effect of baking time and temperature on some physical properties of bread loaf. *Food Research International*, 40(2), 280-290. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.10.012>
- Tadeu-Paraginski, R., Levien-Vanier, N., Berríos, J.J., De Oliveira, M. y Cardoso-Elias, M. 2014. Physicochemical and pasting properties of maize as affected by storage temperature. *Journal of Stored Products Research* (59) 209-214. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.02.010>
- Upadhyay, R., Ghosal, D. y Mehra, A. 2012. Characterization of bread dough: Rheological properties and microstructure. *Journal of Food Engineering* (109) 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.028>
- Vásquez, F. 2016. Tesis doctoral, Control y mejora de la panificación de masas bajas en harina de trigo. Universidad Politécnica de Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. <https://m.riunet.upv.es/handle/10251/65616?show=full>
- Vásquez Lara, F., Verdú Amat, S., Islas Rubio, A.R., Barat Baviera, J.M., Grau Meló, R. y Casillas Peñuelas, R. 2017. Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena, maíz y sorgo sobre las propiedades reológicas de la masa, texturales y sensoriales del pan. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 71, 19-26. <https://www.redalyc.org/journal/674/67452917003/html/>
- Vásquez Lara, F., Soto Padilla, D., Cordero Fernández, D., Granados Nevárez, M.C., Islas Rubio, A.R. y Verdú Amat, S.

2018. Utilización de harina de sorgo tratada térmicamente como una alternativa en la sustitución de harina de trigo en panificación. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2), 267-280. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81357541013>
- Verdú, S., Vásquez, F., Ivorra, E., Sánchez, A.J., Barat, J.M. y Grau, R. 2015. Physicochemical effects of chia (*Salvia hispanica*) seed flour on each wheat bread-making process phase and product storage. *Journal of Cereal Science*, 65, 67-73. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.05.011>
- Wu, C., Liu, R., Huang, W., Rayas-Duarte, P., Wang, F. y Yao, Y. 2012. Effect of sourdough fermentation on the quality of Chinese Northern-style steamed breads. *Journal of Cereal Science*, 56 (2), 127-133. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.03.007>
- Zaidul, I.S.M., Yamauchi, H., Kim, S.J., Hashimoto, N. y Noda, T. 2007. RVA study of mixtures of wheat flour and potato starches with different phosphorus content. *Food Chemistry* (102) 1105-1111. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.056>