



Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha
ISSN: 1665-0204
rbaez@ciad.mx
Asociación Iberoamericana de Tecnología
Postcosecha, S.C.
México

Utilización de harina de sorgo tratada térmicamente como una alternativa en la sustitución de harina de trigo en panificación

Vásquez Lara, Francisco; Soto Padilla, Daniel; Cordero Fernández, Diana Laura; Granados Nevárez, María del Carmen; Islas Rubio, Alma Rosa; Verdú Amat, Samuel; Grau Meló, Raúl; Barat Baviera, José Manuel
Utilización de harina de sorgo tratada térmicamente como una alternativa en la sustitución de harina de trigo en panificación

Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 19, núm. 2, 2018

Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C., México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81357541013>

Utilización de harina de sorgo tratada térmicamente como una alternativa en la sustitución de harina de trigo en panificación

Use of heat treated sorghum flour as an alternative in the substitution of wheat flour in bread-making

Francisco Vásquez Lara ¹
Universidad Estatal de Sonora, México
fvas@ciad.mx

Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81357541013>

Daniel Soto Padilla ²
Universidad Estatal de Sonora, México

Diana Laura Cordero Fernández ³
Universidad Autónoma Chapingo, México

María del Carmen Granados Nevárez ⁴
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.,
México

Alma Rosa Islas Rubio ⁵
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.,
México

Samuel Verdú Amat ⁶
Universidad Politécnica de Valencia, España

Raúl Grau Meló ⁷
Universidad Politécnica de Valencia, España

José Manuel Barat Baviera ⁸
Universidad Politécnica de Valencia, España

Recepción: 01 Octubre 2018

NOTAS DE AUTOR

- 1 Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., CP 83304. Hermosillo, Sonora, México.
- 2 Departamento de Ingeniería en Tecnología de Alimentos. Universidad Estatal de Sonora, CP 83100. Hermosillo, Sonora, México.
- 3 Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo, CP 56230. Chapingo, Texcoco, Estado de México.
- 4 Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., CP 83304. Hermosillo, Sonora, México.
- 5 Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., CP 83304. Hermosillo, Sonora, México.
- 6 Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia, CP 46022. Valencia, España.
- 7 Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia, CP 46022. Valencia, España.
- 8 Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia, CP 46022. Valencia, España.

Autor para correspondencia: Francisco Vásquez Lara. Correo electrónico: fvas@ciad.mx

RESUMEN:

El tratamiento térmico en harinas es un proceso que se ha venido utilizando para generar modificaciones en sus componentes principales, como lo son las proteínas y almidón. Estos cambios pueden ser la desnaturalización de proteínas y gelatinización del almidón que pueden afectar las propiedades funcionales de las harinas, por lo anterior, se llevó a cabo la sustitución de harina de trigo (HT) con harina de sorgo (HS) en los porcentajes de 10, 20 o 30 % (peso-peso), para determinar el efecto de esta sustitución en las propiedades reológicas, texturales y de panificación. Además, la HS se sometió a tratamientos térmicos de 100 o 130 °C por 30 min, la cual fue utilizada en los mismos niveles de sustitución para determinar la incidencia de estos tratamientos térmicos en su capacidad panificadora y sus efectos reológicos. Los resultados mostraron cambios importantes en el volumen específico del pan, aunque no se observaron diferencias significativas cuando la sustitución fue del 10 % con harina tratada a 100 o 130 °C (4.66 y 4.57 cm³/g) con respecto a HT (4.53 cm³/g), sin embargo, si se observaron diferencias con respecto a los panes obtenidos cuando se utilizó HS sin tratar térmicamente. El perfil de textura no mostró diferencias significativas en la firmeza del pan cuando fue obtenido de HT (9.92 N), con respecto al elaborado de la sustitución del 10 % de HT con HS tratada térmicamente a 100 o 130 °C (12.75 y 11.97 N), respectivamente. Sin embargo, al incrementar el porcentaje de sustitución de HT a 30 % (35.01 N) con HS sin tratar térmicamente, este parámetro aumentó considerablemente con respecto a este mismo nivel de sustitución al obtenido de HS tratada a 100 o 130 °C (28.17 y 30.29 N).

PALABRAS CLAVE: harina trigo, harina sorgo, tratamiento térmico, sustitución, panificación.

ABSTRACT:

Heat treatment in flours is a process that has been used to generate changes in their main components, such as proteins and starch. These changes may be protein denaturation and starch gelatinization that may affect the functional properties of the flours, therefore, the substitution of wheat flour (HT) with sorghum flour (HS) in the percentages of 10, 20 or 30 % (weight-weight) was carried out to determine the effect of this substitution on the rheological and textural properties, and bread-making. In addition, the HS was subjected to heat treatments of 100 or 130 °C for 30 min, which was used at the same substitution levels to determine the incidence of these thermal treatments on their bread-making capacity and their rheological effects. The results showed important changes in the specific volume of the bread, although no significant differences were observed when the substitution was 10 % with flour treated at 100 or 130 °C (4.66 and 4.57 cm³/g) with respect to HT (4.53 cm³/g), however, the loaves prepared with HS without heat treatment showed differences. The texture profile showed no significant differences in the firmness of the breads obtained from HT (9.92 N) and those substituted with 10% thermally treated HS at 100 or 130 °C (12.75 and 11.97 N). However, when increasing the percentage of substitution to 30 % of HT (35.01 N) with HS without heat treatment, this parameter increased considerably with respect to the same level of substitution with HS treated at 100 or 130 °C (28.17 and 30.29 N).

KEYWORDS: wheat flour, sorghum flour, heat treated, substitution, bread-making.

INTRODUCCIÓN

La utilización de harina de trigo (HT) en la industria de la panificación es muy alta, en nuestro país, existe una importación muy elevada de este cereal, aproximadamente 5.2 millones de toneladas fueron importadas en el ciclo 2016-17 procedentes de Estados Unidos y Canadá, principalmente (Opportimes, 2017). Es por ello, que surge la necesidad de crear alternativas para disminuir esta dependencia de HT en la industria panadera. Una alternativa a lo anterior puede ser la utilización de harina de sorgo (HS) en la sustitución de HT para el proceso de panificación. La HS es un cereal de bajo costo que es sub utilizado en la industria alimentaria en México, además, de mostrar una viabilidad importante de alimento nutricional por ser buena fuente de vitaminas del complejo B como lo es la tiamina, riboflavina y niacina, así como potasio, fósforo, hierro y en menor proporción de calcio (Amquerétaro, 2017). Por otro lado, se ha observado que la aplicación de tratamientos térmicos sobre las harinas ha modificado las propiedades físicas, reológicas y bacteriológicas de las mismas. En harinas utilizadas para la elaboración de pan se observó que el tratamiento térmico incrementó la resistencia, viscosidad y la rigidez (Gélinas et al., 2001). Estos efectos tienden a incrementar la elasticidad de

la masa y producir un efecto positivo en el volumen del pan (Pylar, 1988). Las harinas tratadas térmicamente pueden ser utilizadas en muchas aplicaciones dentro del sistema de alimentos, entre ellas están: la elaboración de alimentos infantiles, salsas, sopas, cremas y rellenos, espesantes, alimentos instantáneos, alimentos precocidos, confitería, mayonesas, pan y productos de trigo. Ruso y Doe (1970) fueron los que patentaron este proceso usando un rango de temperatura de 100 a 115 °C por 60 min y los primeros que citaron este proceso. Otros investigadores (Cauvain et al., 1976) sugirieron el tratamiento con calor en el grano de trigo y semolina, los cuales fueron secados hasta llegar a un contenido de humedad de 6 %. Otros investigadores como Hanamoto y Bean (1979) patentaron un método para producir harina tratada con calor, utilizando una temperatura de 71 °C durante 4 días. Estudios realizados por Nakamura et al., (2008), reportaron un incremento en el volumen de Kasutera cake (pastel muy popular en Japón) cuando la harina de trigo fue calentada a 120°C por 30 min. Otras de las harinas de cereales que han sido expuestas a tratamientos térmicos es la harina de sorgo. Estudios realizados por Marston et al., (2016), utilizaron harina de sorgo para la elaboración de pan libre de gluten, la cual fue tratada térmicamente por 95°C y 125°C a tiempos de 15, 30 y 45 min, observando efectos importantes en la viscosidad de la masa, volumen específico del pan y en el alveolado de la miga. Partiendo de los efectos positivos que podría generar la aplicación de tratamientos térmicos sobre harinas, es que se plantea como objetivo modificar las características de las harinas sustitutorias, en este caso harina de sorgo, mediante tratamientos térmicos, con la finalidad de incidir sobre su capacidad panificadora de manera que estas puedan ser mejoradas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas

Se utilizó harina de trigo (HT) y sorgo (HS). Además, para llevar a cabo la panificación se utilizó manteca vegetal, levadura, solución azúcar-sal, todas ellas compradas en una tienda local.

Tratamiento térmico en harinas

La HS fue sometida a dos tratamientos térmicos, 100 o 130 °C durante 30 min, después fueron acondicionadas en cámara de fermentación (30 °C y 90 % de humedad relativa, HR) por 1 h, con la finalidad de restituir la humedad perdida en los diferentes tratamientos térmicos.

Preparación de las mezclas de harinas

Las formulaciones que se evaluaron se basaron en la mezcla de la HS con HT en las proporciones siguientes: 10/90, 20/80, 30/70 (peso/peso), respectivamente. Estas mismas proporciones fueron utilizadas para la formulación de las mezclas de harinas cuando se utilizó HS tratada térmicamente a 100 o 130 °C por 30 min.

Caracterización de las harinas

Composición química

Los porcentajes de humedad y proteína fueron determinados por los métodos siguientes: 44-40, 46-13 (AACC, 1995).

Determinación de color

La medición se realizó con el Colorímetro Konica Minolta (Modelo Chroma Meter CR-400, Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japón). Los parámetros evaluados pertenecientes al espacio cromático CIE L*a*b* fueron los siguientes: L* (Luminosidad), a* (variación de rojo a verde) y b* (variación de amarillo a azul) (Gilabert, 2002).

Análisis de viscosidad

El perfil de viscosidad de las harinas fue obtenido de acuerdo al método 76-21 (AACC, 2000). Las mezclas de HT y HS tratadas y no tratadas térmicamente fueron analizadas en base a $3.5 \text{ g} \pm 0.01 \text{ g}$ de muestra ajustadas al 14 % de humedad. La cantidad de agua a incorporar fue de $25 \text{ g} \pm 0.01 \text{ g}$ resultado del propio ajuste al que se llevó a las harinas (Shittu *et al.*, 2007). Para esta determinación se utilizó el viscosímetro RVA (Rapid Visco Analyser Super 4, Newport Scientific Australia). Mediante el software Thermocline del RVA se seleccionó el perfil de la prueba estándar 1.

Capacidad de retención de agua (CRA)

Se realizó en base al método 56-11 (AACC, 2000). Se colocaron 5 g de harina $\pm 0.05 \text{ g}$ en un tubo de 50 mL (Nalgene Centrifuge Ware) a la cual se le añadió 25 g de agua $\pm 0.05 \text{ g}$. La mezcla fue agitada por 5 s para hacer suspender y con agitación intermitente a los $5, 10, 15$ y 20 min seguida de centrifugación por 15 min a $1000 \times g$ (Centrifuge Beckman Coulter Allegra X-30R, Brea, California, USA) a temperatura ambiente. El sobrenadante fue descartado y el pellet húmedo fue decantado por 10 min para finalmente ser pesado. Los cálculos se realizaron de acuerdo a Haynes *et al.*, (2009).

Análisis en masas

Tiempo óptimo de amasado (TOA)

En base a los valores de humedad y proteína de las harinas se calculó la cantidad de agua y harina para llevar a cabo el amasado en el Mixógrafo (National Mfg. Co. Lincoln, NE, USA), de acuerdo al método 54-40A (AACC, 1995). Se analizó el gráfico obtenido y se determinó el tiempo óptimo de amasado.

Fuerza (F) y extensibilidad (E)

La masa obtenida anteriormente se colocó dentro de una cámara de fermentación ($30 \text{ }^\circ\text{C}/ 90 \text{ \% HR}$) por 20 min . Al cabo de este tiempo, la masa se colocó en una plataforma ranurada y sobre esta otra plataforma sin ranuras, prensándose 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). Finalmente, se realizó la medición de F y E a una velocidad de prueba de 3.3 mms^{-1} . La medición de los parámetros mencionados anteriormente se llevó a cabo siguiendo la técnica descrita por Kieffer *et al.*, (1998), utilizando un analizador de textura (TA-XT2, SMS/Kieffer dough extensibility Rig Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, England).

Análisis en pan

Proceso de panificación

Se realizó por el método 10-10B (AACC, 2000). Los ingredientes (levadura, azúcar-sal, manteca vegetal y agua) fueron mezclados en el mixógrafo hasta el tiempo óptimo de amasado. La masa obtenida se introdujo a una cámara de fermentación (30 °C y 90 % HR) por 40 min, para después ser sometida a cocimiento a 220 °C por 15 min.

Medición de volumen

El volumen del pan fue calculado por el método de desplazamiento con la semilla de colza. El volumen específico (cm³/g) fue obtenido de la relación del volumen del pan/ peso del pan.

Análisis de perfil de textura

Para realizar esta medición se cortó el pan en rebanadas de 1.5 cm de grosor. Se empleó el Texturómetro TA-XT2 (Texture Analyser Stable Micro Systems, Surrey, UK) con la celda de carga de 5 kg y el dispositivo TA-40 (40 mm de diámetro). La velocidad del ensayo fue de 1.7 mm/s para comprimir la rebanada 50 % de su altura. El tiempo entre las compresiones fue de 5 s. Los parámetros obtenidos fueron: firmeza, elasticidad, cohesividad y resiliencia (Verdú et al., 2015).

Actividad de agua (aw)

De la miga del pan frío se tomó un disco de 4 cm de diámetro y un espesor aproximado de 5 milímetros para realizar el análisis. Se utilizó el equipo AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE (Pullman, WA, USA).

Análisis estadístico

El diseño de experimentos fue completamente al azar de un factor, el cual fue el grado de sustitución de la HS en la HT. 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 con un nivel de significancia del 95 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las harinas

Composición química

Los resultados de proteínas y humedad se muestran en la Tabla 1. Los valores de proteína muestran una disminución a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución, este mismo comportamiento

fue observado cuando la sustitución se realizó con HS tratada térmicamente. Esta disminución, se puede considerar una dilución del porcentaje de proteína observado inicialmente en HT (12.37 %), que al incrementar la sustitución con una harina de más bajo valor de proteína que HT genera disminuciones leves de este parámetro. En lo que respecta a los valores de humedad, las mezclas de harinas donde ésta involucrada HS tratada térmicamente son muy semejantes, partiendo del principio que las harinas después de aplicado el tratamiento fueron acondicionadas con el objetivo de rehidratar a su humedad inicial evitando efectos sobre la funcionalidad de las harinas por una posible baja de sus contenidos de humedad.

TABLA 1

Análisis de color, humedad, proteína y tiempo óptimo de amasado de la harina de trigo (HT), y de las harinas sustituidas con harina de sorgo (HS) en los diferentes porcentajes tratadas térmicamente.

Harina	Sustitución (%)	Tratamiento térmico (°C)	Humedad (%)	Proteína (%)	Color			TOA (min)
					L	a	b	
HT	Control		8.93	12.37	94.39	0.16	7.83	4.5
HT-HS	10		8.61	12.16	93.87	0.15	8.12	5
HT-HS	20		8.67	11.94	93.11	0.18	8.54	4.35
HT-HS	30		8.31	11.73	92.16	0.21	9.04	5.12
HT-HS	10	100	10.22	12.3	93.82	0.06	7.91	5.28
HT-HS	20	100	10.08	12.16	92.99	0.11	8.39	2.56
HT-HS	30	100	9.91	11.64	91.91	0.18	8.93	3.22
HT-HS	10	130	9.48	12.28	93.58	0.04	8.21	6.12
HT-HS	20	130	9.51	12.01	92.81	0.21	8.66	2.16
HT-HS	30	130	8.95	11.93	92.21	0.28	9.27	3.12

HT, harina trigo; HS, harina sorgo; %, nivel de sustitución de HT con HS; L, luminosidad; a, rojo a verde; b, amarillo a azul; TOA, tiempo óptimo de amasado.

Determinación de color

Los valores obtenidos de color son mostrados en la Tabla 1. El valor L (luminosidad) tiende a disminuir a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución, este mismo comportamiento fue observado cuando se utilizó HS tratada y sin tratar térmicamente. Al mismo tiempo que sucedía lo anterior, los valores de a (rojo a verde) y b (amarillo a azul) se comportaban de forma contraria, observándose incrementos a medida que se aumentaba el porcentaje de sustitución. Lo anterior fue observado para HS tratada y sin tratar térmicamente. Las harinas al ser sometidas a tratamientos térmicos generan un ligero encafecimiento que afecta principalmente el valor de L, observándose una pérdida gradual de luminosidad de las harinas, aunque en este caso en particular, dicho efecto no fue tan evidente.

Análisis de viscosidad

Los resultados del perfil de viscosidad, donde están comprendidas las mediciones de temperatura de empaste, viscosidad pico (Peak) y final, así como viscosidad mínima (Trough), los podemos observar en la Tabla 2. En lo que respecta, a la temperatura de empaste podemos apreciar diferencias significativas entre HT (67.73 °C) y las harinas donde fue utilizada HS tratada a temperaturas de 100 o 130 °C, así como cuando se usó HS sin habersele sometido a algún tratamiento térmico. Lo anterior sucedió para todos los niveles de sustitución, sin embargo, al utilizar HS al 10 % (69.71 °C) se obtuvo un valor muy cercano al de HT, a diferencia del resto de las mezclas de harinas en las cuáles los valores obtenidos fueron de 82.28 °C a 86.05 °C. Esta medición se basa en el comportamiento del almidón durante el calentamiento en exceso de agua. En relación a la viscosidad pico, expresada en centipoise (cP), el valor más alto obtenido fue en HT (2636 cP), además de la mezcla de harina en la cual se utilizó HS sin tratar térmicamente en los porcentajes de 10 y 20 % (2584 cP y 2529 cP, respectivamente). En términos generales, se puede decir que la tendencia de este parámetro fue de disminuir

al incrementar el porcentaje de sustitución. La viscosidad pico es un parámetro relacionado con la capacidad del almidón para absorber agua y poderse hinchar durante su cocimiento (Oro et al., 2013). El incremento de este valor en HT con respecto a las mezclas de harinas observado en este trabajo puede estar relacionado con la refinación de la harina a causa de un incremento en el contenido de almidón (Boita et al., 2016). Además, la absorción de agua por los gránulos de almidón se puede inhibir en presencia de proteínas, lo que ayuda a obtener valores más pequeños para la viscosidad pico en harinas (Singh et al., 2011). En lo que respecta a la medición de viscosidad final, sucede exactamente lo contrario a lo observado en viscosidad pico. Este parámetro se registra durante el enfriamiento del gel. El valor más bajo observado fue en HT (3076 cP), en cambio, en el resto de las mezclas de harinas los incrementos fueron observados a medida que se aumentó el porcentaje de sustitución, lo anterior fue también para las mezclas donde se utilizó HS tratada y sin tratar térmicamente. La reasociación entre las moléculas de almidón, especialmente amilosa, da como resultado que la formación de la estructura del gel aumente generando incrementos en la viscosidad final, que se asocia con la tendencia del almidón a retrogradarse (Ragaei y Abdel-Aal, 2006). Finalmente, otro parámetro analizado fue la viscosidad mínima. El valor más alto observado fue para HT (1712 cP), aunque sustituciones del 10 o 20 % con HS (1693 y 1630 cP) sin tratar térmicamente no mostraron diferencias significativas con respecto a HT, así como la sustitución del 20 % con HS tratada a 100 °C (1629 cP). Como se puede apreciar no se observa una tendencia definida para este comportamiento reológico como lo fue la viscosidad inicial y final. Regularmente esta etapa del perfil de viscosidad referida sucede después de haberse alcanzado la viscosidad pico, que por efecto del cizallamiento y temperatura ésta empieza a disminuir debido al rompimiento del gránulo de almidón hasta llegar al punto denominado viscosidad mínima (Vásquez et al., 2016).

Capacidad de retención de agua (CRA)

La Tabla 2 muestra los valores obtenidos para este parámetro. Se observan incrementos importantes a medida que se aumentó el porcentaje de sustitución de HT. Este mismo comportamiento fue observado cuando se utilizó HS tratada y sin tratar térmicamente. Lo anterior fue más evidente cuando se utilizó HS al 30 % independientemente de las condiciones en que fue tratada. El tamaño de partícula tiene un efecto muy importante en la funcionabilidad de las harinas, las partículas pequeñas son responsables en mayor parte de la capacidad de retención agua, viscosidad, plasticidad y suavidad de las masas (Gómez et al., 1987). El tamaño del gránulo de harina es el parámetro más importante que determina la CRA, por lo tanto, una tendencia a incrementar se da cuando disminuye el tamaño de gránulo (Protonotariou et al., 2014). Según Berton et al., (2002), un aumento en el almidón dañado también puede resultar en valores más altos de CRA. Esto puede explicar los incrementos de CRA que se obtuvieron en nuestras mezclas, suponiendo que estos aumentos fueron por el daño provocado en almidón de HS por los tratamientos térmicos que fueron aplicados a estas harinas.

TABLA 2
 Perfil de viscosidad y CRA de la harina de trigo (HT), y de las harinas sustituidas con harina de sorgo (HS) en los diferentes porcentajes tratadas térmicamente.

Harina	Sustitución (%)	Tratamiento térmico (°C)	Temperatura de empaque (°C)	Viscosidad (cP)			CRA (%)
				Pico	Final	Mínima	
HT	Control		67.73 ± 0.05 a	2636 ± 11.26 e	3076 ± 19.15 a	1712 ± 16.01 d	66.63 ± 0.77 a
HT-HS	10		69.71 ± 0.47 b	2584 ± 6.08 e	3302 ± 38.62 bc	1693 ± 56.92 cd	98.48 ± 1.05 c
HT-HS	20		82.28 ± 0.77 c	2529 ± 60.84 de	3509 ± 24.26 ef	1630 ± 61.21 bcd	104.67 ± 0.99 e
HT-HS	30		83.41 ± 0.46 c	2289 ± 38.57 ab	3654 ± 38.63 g	1579 ± 29.48 ab	108.55 ± 1.25 f
HT-HS	10	100	84.96 ± 1.67 d	2407 ± 38.42 bc	3258 ± 60.88 b	1596 ± 32.92 ab	97.56 ± 1.02 bc
HT-HS	20	100	86.05 ± 0.39 d	2411 ± 37.09 cd	3423 ± 5.51 de	1629 ± 17.47 bcd	98.85 ± 0.43 c
HT-HS	30	100	85.28 ± 0.92 d	2331 ± 72.79 bc	3667 ± 83.05 g	1609 ± 46.62 abc	108.48 ± 0.79 f
HT-HS	10	130	85.03 ± 0.44 d	2429 ± 37.43 cd	3133 ± 43.18 a	1619 ± 62.65 bc	96.96 ± 1.02 b
HT-HS	20	130	85.61 ± 0.78 d	2332 ± 79.97 bc	3387 ± 19.13 cd	1582 ± 43.43 ab	100.35 ± 0.98 d
HT-HS	30	130	85.35 ± 0.86 d	2170 ± 58.73 a	3541 ± 38.51 f	1534 ± 54.04 a	105.24 ± 1.29 e

HT, harina trigo; HS, harina sorgo; cP, centipoise; %, nivel de sustitución de HT con HS; CRA, capacidad de retención de agua. Medias con la misma letra dentro de la columna no son diferentes significativamente p < 0.05.

Análisis en masas

Tiempo óptimo de amasado (TOA)

Los valores para esta medición se muestran en la Tabla 1. Se aprecia que los valores más altos para este parámetro fueron cuando las sustituciones de HT se realizaron al 10 % con HS, tanto para harina tratada como sin tratar térmicamente. Incluso, se observaron tiempos más altos que al obtenido solo de HT (4.5 min). Esta medición nos da idea de los tiempos de amasado más apropiados en los cuales las propiedades viscoelásticas de las masas son las idóneas para ser sometidas al proceso de panificación. Esta determinación suele ser muy importante ya que tiene relación con una parte fundamental en el proceso de panificación, que es el amasado.

Fuerza (F) y extensibilidad (E)

La Figura 1 muestra los resultados de fuerza y extensibilidad de la masa. Se observaron incrementos importantes de fuerza cuando HT fue sustituida con el 30 % de HS, alcanzando valores de 0.65 N, mucho más alto al observado en HT (0.39 N). Para el resto de las sustituciones con HS tratada térmicamente y sin tratar, las variaciones de fuerza de la masa fueron mínimas manteniéndose entre el rango de 0.26 a 0.33 N. En lo que respecta a extensibilidad, se observaron incrementos importantes cuando la sustitución se realizó al 10 % con HS tratada y sin tratar térmicamente, incluso muy semejante al obtenido en HT (57.22 mm) cuando HS fue tratada a 130 °C (56.65 mm). Las propiedades viscoelásticas de la masa de harina de trigo están determinadas por dos fracciones proteicas que son: gliadinas y gluteninas, que interactúan entre ellas durante el amasado para formar el gluten. La calidad y cantidad de esta fracción proteica es un factor importante para la funcionalidad y propiedades de la masa, así como para su capacidad de panificación (Wieser and Kieffer, 2001). En gran medida, la relación gliadina/glutenina es la que determina la fuerza y extensibilidad del gluten. Además, de la cantidad de partículas de glutenina y macro polímeros de glutenina en la harina que generan un aumento en la fuerza de la masa (Weegels et al., 1996).

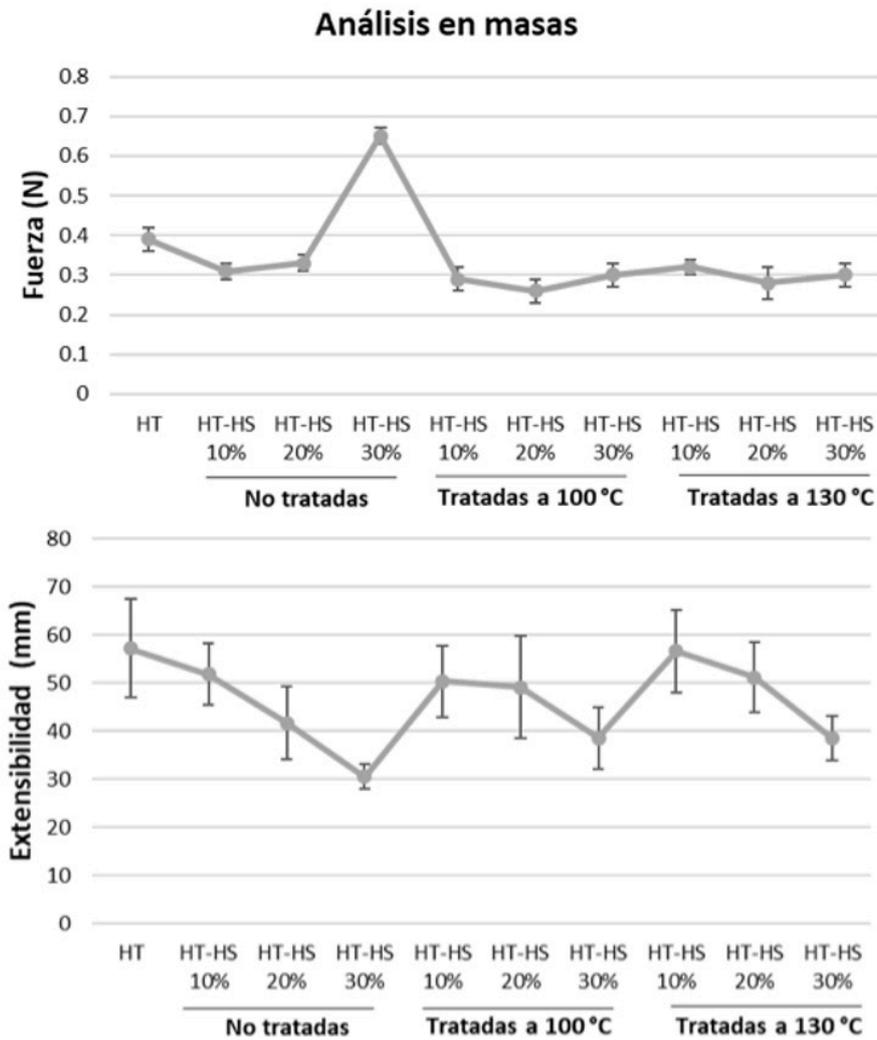


FIGURA 1

Fuerza y extensibilidad de la masa obtenida de la harina de trigo (HT), y de las harinas sustituidas con harina de sorgo (HS) en los diferentes porcentajes tratadas térmicamente.

Análisis en pan

Medición de volumen

Los resultados de este parámetro los podemos observar en la Figura 3. El volumen específico es obtenido de la relación que existe entre el volumen del pan y su peso. Se aprecia que no se obtuvieron diferencias significativas cuando se utilizó HS tratada a 100 o 130 °C al 10 % (4.66 y 4.57 cm³/g), con respecto al obtenido de HT (4.53 cm³/g). La tendencia fue de disminuir a medida que se incrementó el porcentaje de sustitución, lo anterior fue más notorio cuando se utilizó HS sin tratar térmicamente y el porcentaje de sustitución fue de 30 % (2.21 cm³/g). Este comportamiento en el proceso de panificación tiene una relación muy importante en las fracciones proteicas analizadas en la sección de fuerza y extensibilidad de la masa. Durante la panificación se producen transformaciones químicas, bioquímicas y físicas, las cuales afectan los diferentes constituyentes de las harinas tales como almidón, gluten y lípidos (Goesaert et al., 2005). Por lo anterior, al sustituir HT con HS que carece de gluten, esto se verá reflejado en el volumen específico como sucedió en este trabajo

de investigación. Sin embargo, también se obtuvieron mejoras en los volúmenes de los panes obtenidos con las harinas tratadas térmicamente con respecto a las sustituciones donde se utilizó HS sin tratar. Lo anterior provocado tal vez por una posible desnaturalización de proteínas que modificó las propiedades funcionales de las harinas sometidas a tratamientos térmicos.

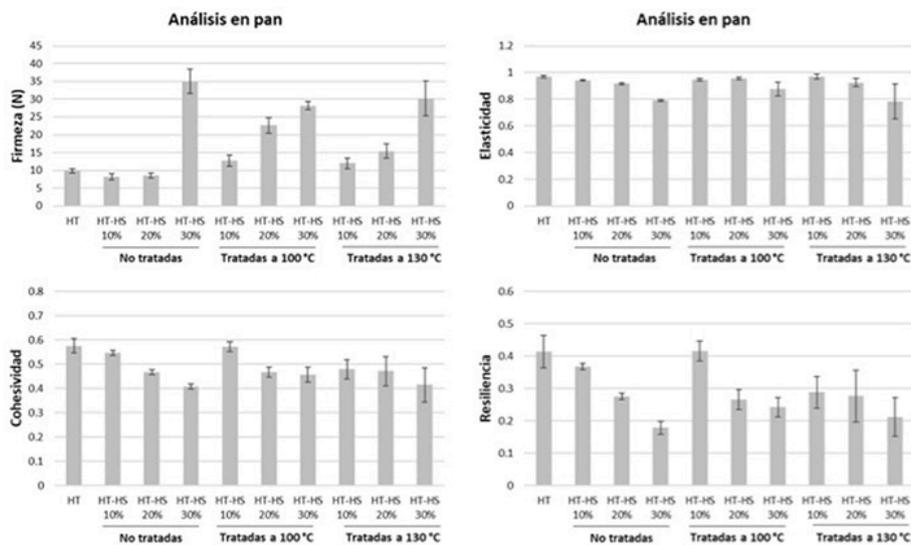


FIGURA 2 Perfil de textura del pan obtenido de la harina de trigo (HT), y de las harinas sustituidas con harina de sorgo (HS) en los diferentes porcentajes tratadas térmicamente.

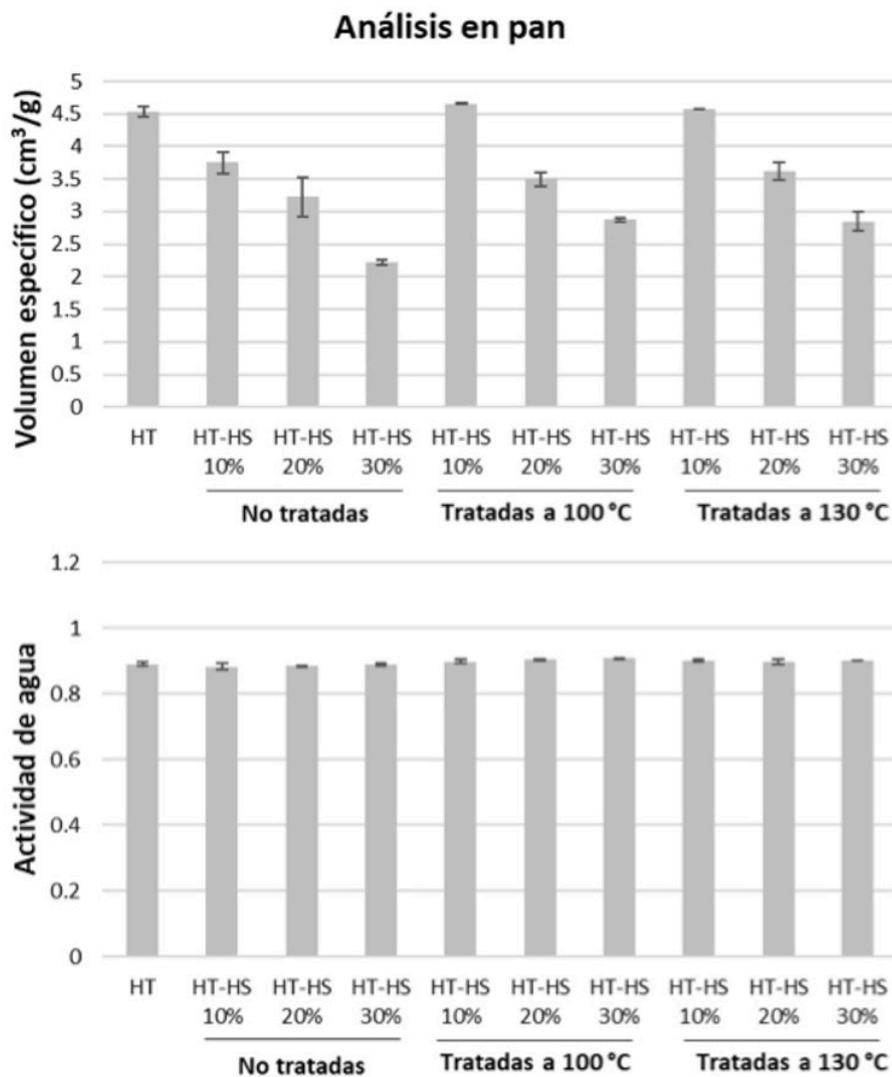


FIGURA 3

Volumen específico (cm³/g) y actividad de agua del pan obtenido de la harina de trigo (HT), y de las harinas sustituidas con harina de sorgo (HS) en los diferentes porcentajes tratadas térmicamente.

Análisis de perfil de textura en pan

La Figura 2 muestra los resultados obtenidos de firmeza, elasticidad, cohesividad y resiliencia del pan. En cuanto a firmeza, se observa que no hubo diferencias significativas entre el pan elaborado con HT (9.92 N) y el pan elaborado con HS al 10 o 20 % (8.16 N y 8.57 N) sin tratar térmicamente. La tendencia en este parámetro fue de aumentar al incrementar el % de sustitución con HS, contrario a lo mencionado anteriormente se observó que los incrementos del 30 % con HS tratada a 100 °C o 130 °C favorecieron la elaboración de un pan más blando (28.17 N y 30.29), con respecto al valor obtenido a este mismo nivel de sustitución con HS sin tratar térmicamente (35.01 N). En relación a elasticidad, analizada desde el pan elaborado con HT (0.96), las sustituciones realizadas al 10 o 20 % con HS tratada y sin tratar térmicamente no mostraron diferencias significativas entre ellas. En cambio, las sustituciones al 30 % mostraron los valores más bajos para este parámetro (0.79, 0.87 y 0.78) con respecto a HT. Los valores de cohesividad y resiliencia tuvieron un comportamiento muy similar. Se observó una disminución a medida que se incrementó el

nivel de sustitución. Además, de la particularidad mencionada anteriormente, también se apreció que las sustituciones al 10 % con HS sin tratar térmicamente y la tratada a 100 °C no mostraron diferencias significativas con respecto a HT. También se observó, al igual que en elasticidad, que las sustituciones realizadas al 30 % fueron las que más afectaron estos parámetros, sin importar que HS hubiera sido tratada o no térmicamente.

Actividad de agua (a_w)

Los valores relacionados con la medición de a_w se presentan en la Figura 3. Se aprecia que no hubo cambios importantes en este parámetro, independientemente de las condiciones en las que se utilizó HS para sustituir HT en el proceso de panificación. Intervalos de 0.88 a 0.9 fueron los obtenidos, muy por debajo de los reportados en panificación que son alrededor del 0.95. La a_w es la humedad en equilibrio de un alimento, determinada por la presión parcial del vapor de agua en su superficie. Este valor depende de la composición del alimento, la temperatura y de su contenido de humedad. Tiene influencia importante sobre las características de calidad del alimento, como pueden ser textura, sabor, color, valor nutricional y tiempo de conservación del alimento (Equinlab, 2018). Por lo anterior es de suma importancia tener control de este parámetro. Altos valores de a_w pueden provocar una mayor susceptibilidad a que se desarrollen microorganismos aprovechando la presencia de agua, para crecer y llevar a cabo sus funciones metabólicas.

CONCLUSIONES

La utilización de harina de sorgo (HS) tratada térmicamente a 100 o 130 °C en la sustitución de harina de trigo (HT) favoreció el volumen específico de pan con respecto al obtenido cuando se utilizó HS sin tratar térmicamente. Además, se obtuvieron panes más blandos cuando el nivel de sustitución fue del 30 % con HS tratada a 100 o 130 °C, con respecto al obtenido con HS sin tratar térmicamente en este mismo nivel de sustitución. Los tratamientos térmicos aplicados a la HS favorecieron los volúmenes del pan y la extensibilidad de las masas, observándose una relación importante entre estos parámetros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC, 1995. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 9th Ed. The Association, St. Paul, MN, USA.
- AACC, 2000. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 10th Ed. The Association, St. Paul, MN, USA. Methods 56-11, 76-21.
- Amquerétaro. 2017. Sorgo blanco, una alternativa en la canasta básica en México. Querétaro, México. Recuperado de <http://www.amqueretaro.com>
- Berton, B., J. Scher, F. Villieras and J. Hardy. 2002. Measurement of hydration capacity of wheat flour: Influence of composition and physical characteristics. Powder Technology (128) 326-331.
- Boita, E.R.F., T. Oro, J. Bressiani, G.S. Santetti, T.E. Bertolin and L.C. Gutkoski. 2016. Rheological properties of wheat flour dough and pan bread with wheat bran. Journal of Cereal Science (71) 177-182.
- Cauvain, S.P., Hodge, G., Muir, D.M., Dodds, N.J. 1976. Treatment of grain. U.S., A23B 4/04.
- Equinlab. 2018. La importancia de la actividad de agua. Capital Federal Argentina. Recuperado de <http://www.equinlab.com>
- Gélinas, P., C.M. Mckinnon, N. Rodrigue and D. Montpetit. 2001. Heating conditions and bread-making potential of substandard flour. Journal of Food Science (66) 627-632.
- Gilbert, E. J. 2002. Medidas del color. Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia.

- Goesaert, H., K. Brijs, W.S. Veraverbeke, C.M. Courtin, K. Gebruers and J.A. Delcour. 2005. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology* (16) 12-30.
- Gómez, M.H., L.W. Rooney, R.D. Waniska and R.L. Pflugfelder. 1987. Dry corn masa flours for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World* 32, 372.
- Hanamoto, M. and M. Bean. 1979. Process for improving baking properties of unbleached cake flours. US, A21D6/00.
- Haynes, L.C., A.D. Bettge and L. Slade. 2009. Soft wheat and flour products methods review: Solvent retention capacity equation correction. *AACC International Report* (54) 174-175.
- Kieffer, R., H. Wieser, M.H. Henderson and A. Graveland. 1998. Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale. *Journal of Cereal Science* (27) 53-60.
- Ktenioudaki, A., N. O'shea and E. Gallagher. 2013. Rheological properties of wheat dough substituted with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace. *Journal of Food Engineering* (116) 362-368.
- Marston, K., H. Khouryieh and F. Aramouni. 2016. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. *LWT-Food Science and Technology* (65) 637-644.
- Nakamura, C., K. Yoshiki and M. Seguchi. 2008. Increased volume of Kasutera cake by dry heating of wheat flour. *Food Science and Technology Research* (14) 431-436.
- Opportimes. 2017. México romperá record en sus importaciones de trigo en el Ciclo 2016/17: USDA. Ciudad de México, México. Recuperado de <http://www.opportimes.com>
- Oro, T., V.M. Limberger, M.V. Miranda, N.S.P.S. Richards, L.C. Gutkoski and A. Francisco. 2013. Pasting properties of whole and refined wheat flour blends used for bread production. *Ciencia Rural* (43) 754-760.
- Protonotariou, S., A. Drakos, V. Evangeliou, C. Ritzoulis and I. Mandala. 2014. Sieving fractionation and jet mill micronization affect the functional properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering* (134) 24-29.
- Pylar, E.J. 1988. *Cake baking technology. Baking science and technology* (979-1027). Kansas City: Sosland Publishing.
- Ragae, S. and E. Abdel-Aal. 2006. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. *Food Chemistry* (95) 9-18.
- Russo, J.V. and C.A. Doe. 1970. Heat treatment of flour as an alternative to chlorination. *Journal of Food Technology* (5) 363-374.
- Shittu, T. A., A.O. Raji and L.O. Sanni. 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) 280-290.
- Singh, S., N. Singh and F. Mac Ritchie. 2011. Relationship of polymeric proteins with pasting, gel dynamic- and dough empirical-rheology in different Indian wheat varieties. *Food Hydrocolloids* (25) 19-24.
- Vásquez, F., S. Verdú, A.R. Islas, J.M. Barat and R. Grau. 2016. Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. *Revista Iberoamericana Tecnología Postcosecha Vol 17* (2) 307-317.
- Verdú, S., F. Vásquez, E. Ivorra, A.J. Sánchez, J.M. Barat and R. Grau. 2015. Physicochemical effects of chia (*Salvia hispánica*) seed flour on each wheat bread-making process phase and product storage. *Journal of Cereal Science* (65) 67-73.
- Weegels, P.L., A.M. Van de Pijpekam, A. Graveland, R.J. Hamer and J.D. Schofield. 1996. Depolymerization and re-polymerization of wheat glutenin during dough processing. I. Relationships between glutenin macropolymer content and quality parameters. *Journal of Cereal Science* 23 (2) 103-111.
- Wieser, H. and R. Kieffer. 2001. Correlations of the amount of gluten protein types to the technological properties of wheat flours determined on a microscale. *Journal of Cereal Science* (34) 19-27.