



EFFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN LA CAPACIDAD FERMENTATIVA DE HARINAS DE AVENA, MAÍZ Y SORGO PARA SER UTILIZADAS EN LA SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO

EFFECT OF THERMAL TREATMENT ON FERMENTATIVE CAPACITY OF OAT, CORN, AND SORGHUM FLOURS FOR USAGE IN WHEAT FLOUR SUBSTITUTION

Francisco Vásquez Lara*^{1,2}, Samuel Verdú Amat¹, Alma Rosa Islas Rubio², Benjamín Ramírez Wong³, José Manuel Barat Baviera¹, Raúl Grau Meló¹

¹ Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia, CP 46022, Valencia, España.

² Departamento de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., CP 83304, Hermosillo, Sonora, México.

³ Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Universidad de Sonora, CP 83000, Hermosillo, Sonora, México.

RESUMEN

Una parte importante del proceso de panificación es la fermentación. El objetivo fue evaluar el efecto de la temperatura (80, 100 o 130 °C) sobre la capacidad fermentativa de las harinas de avena (HA), maíz (HM) o sorgo (HS) al utilizarse en la sustitución de harina de trigo (HT) a niveles de 10 o 20 %. Se determinó la distribución del tamaño de partícula, capacidad de retención de agua (CRA), y perfil de viscosidad de las harinas utilizando el RVA (Rapid Visco Analyser) y la capacidad fermentativa (medida como volumen de la masa) después de una hora de fermentación. La CRA se vio favorecida cuando se utilizó HA al 20 % tratada térmicamente a 100 °C. Parámetros de viscosidad: temperatura de empaste, viscosidad pico y final fueron afectados al tratar térmicamente las harinas. Estos efectos fueron más notorios al ser sometidas a 130 °C. La capacidad fermentativa mejoró considerablemente cuando se utilizó HA al 20 % (163.93 cm³) tratada a 100 °C, incluso mayor a la alcanzada por HT (136.32 cm³). La utilización de HM y HS al 10% tratada a 130 °C también favoreció este parámetro, sin embargo, no al nivel alcanzado por HT.

Palabras clave: Harina de trigo, tratamiento térmico, sustitución, perfil de viscosidad, capacidad fermentativa.

ABSTRACT

An important part of the baking process is the fermentation step. The aim of this research was to evaluate the effect of heat treatment (80, 100, or 130 °C) on the fermentative capacity of oat (HA), corn (HM) and sorghum (HS) flours when used in the substitution of wheat flour (HT) at levels of 10 or 20 %. The distribution of particle size, water holding capacity (CRA), viscosity profile of flours using RVA (Rapid Visco Analyser), and the fermentative capacity (measured as dough volume) were determined after one hour of fermentation. The CRA was favored with the use of thermally treated (100 °C) 20 % HA. Heat-treatment of flours affected viscosity parameters such as pasting temperature, peak, and final viscosity. These effects were more noticeable when subjected at 130 °C. The fermentative capacity considerably improved when 20 %

HA (163.93 cm³) was treated at 100 °C, even higher than that obtained by HT (136.32 cm³). The use of 10 % HM, and HS treated at 130 °C also favored this parameter, however, not at the level reached by HT.

Key words: Wheat flour, heat treatment, substitution, viscosity profile, fermentative capacity.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de tratamientos térmicos son aplicados ocasionalmente en harina de trigo con el propósito de llevar a cabo modificaciones en sus propiedades físicas, reológicas o vida de anaquel (Bucella *et al.*, 2016). Este tratamiento térmico busca la remoción de humedad en la harina, sin embargo, es importante ajustar de nuevo la humedad a 12 % para desarrollar estos cambios que son requeridos (Neill *et al.*, 2012). Entre estos cambios se encuentran principalmente, pre gelatinización del almidón y una pérdida total de las propiedades funcionales de las proteínas del gluten debido a su desnaturalización. El uso de nuevas tecnologías para el tratamiento térmico sobre harinas permite ampliar el mercado y la utilización de productos preparados en todos los campos de la industria alimentaria. Así, la utilización de harinas tratadas térmicamente se ha incrementado de forma considerable, siendo productos tales como salsas, cremas y rellenos, alimentos infantiles, alimentos precocidos, alimentos instantáneos, salchichas, pan y productos derivados de trigo donde se ha observado una mayor utilización de este tipo de harinas. Estudios realizados por Sahin (2008) con pasteles hechos de harina tratada térmicamente reportó que estas masas muestran una mayor viscosidad comparada con masas hechas de harinas sin tratar. Ozawa *et al.* (2009) realizaron diferentes estudios sobre el efecto que tiene la aplicación de temperatura en las características físicas y químicas en harinas de trigo. No observaron cambios que afectaran la estructura del gránulo de almidón, sin embargo, si sucedieron cambios importantes en el gluten de las harinas afectando la viscosidad de las mismas al ser analizado su perfil amilográfico. Dentro de los beneficios observados al aplicar tratamientos térmicos en harinas están: inactivación

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

Recibido: 03 de octubre de 2017

Aceptado: 25 de abril de 2018

de enzimas que produce harinas más estables, disminución de la rancidez y procesos de oxidación, una reducción drástica del número de bacterias, mejora del color, aumento de la vida de anaquel y una forma más natural de agregar sabor a los alimentos generados con este tipo de harinas. Partiendo de los efectos positivos que podría introducir la aplicación de temperatura en las harinas es que se plantea como objetivo modificar las características de las harinas de avena, maíz y sorgo, mediante tratamientos térmicos, con la finalidad de incidir sobre su capacidad fermentativa al ser utilizadas en la sustitución de harina de trigo, de tal manera que estas puedan ser mejoradas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la temperatura (80, 100 o 130 °C) sobre la capacidad fermentativa de la HA, HM y HS al ser utilizadas en la sustitución de HT a niveles de 10 o 20 %.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

La materia prima fue HT, HA, HM y HS. Además, para la elaboración de las masas y medir la capacidad fermentativa de cada una se utilizó aceite de girasol (acidez máxima 0.2º Koipesol Semillas, S.L. España), levadura (*Saccharomyces cerevisiae*, Lesafre Ibérica, S.A. España), azúcar blanca (≥ 99.8 % of sacarosa, Azucarera Ebro, S.L. España) y NaCl (sal marina refinada ≥ 97 % NaCl Salinera Española. S.A. España), todas ellas compradas en una tienda local.

Preparación de las mezclas de harinas

Las formulaciones binarias que se evaluaron se basan en la mezcla de HA, HM o HS con HT. Estas harinas fueron utilizadas para elaborar las masas a las cuales se les midió su capacidad fermentativa. Para determinar el efecto del tratamiento térmico la HA, HM o HS, fueron sometidas a tres temperaturas diferentes: 80, 100 o 130 °C (Horno Modelo Fagor 2CF-3V) durante 30 min. Después de realizar el tratamiento térmico las harinas se acondicionaron a una temperatura de 25 °C y 15 % de humedad relativa en una cámara de fermentación (Modelo KBF720 Binder, Tuttlingen, Alemania) durante 17 h. Las HA, HM y HS obtenidas después de haberse sometido al tratamiento térmico y acondicionamiento, fueron mezcladas con la HT en las proporciones de 10/90 y 20/80 (peso/peso), respectivamente.

Distribución del tamaño de partícula (DTP)

Se analizó la distribución de tamaño de partícula de las harinas, $d(0.1)$ μm , $d(0.5)$ μm y $d(0.9)$ μm , representando el diámetro máximo de 10, 50 y 90 % de las partículas, además de la media del volumen ponderado $D[4,3]$ μm . Para ello se utilizó un Láser Scattering (Mastersizer 2000, Malvern, Instruments, UK), equipado con una unidad Scirocco (Dry Powder Unit) (Villarino *et al.*, 2015). La difracción láser mide las distribuciones de tamaño de las partículas a partir de la variación angular de la intensidad de la luz dispersada cuando un rayo láser pasa a través de una muestra de partículas dispersas. El equipo tiene un rango de medida de 0.02-2000

μm . Los parámetros de medida fueron fijados de acuerdo a la norma ISO 13320-1. Se aplicó la teoría Mie considerando un índice de refracción de 1.52 y de absorción de 0.1.

Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua se realizó en base al método 56-11 (AACC, 2000). Se colocaron 5 ± 0.05 g de harina en un tubo de 50 mL (Nalgene Centrifuge Ware) a la cual se le añadió 25 g de agua ± 0.05 g. La mezcla fue agitada vigorosamente por 5 s para hacer suspender la harina. Las muestras se mantuvieron 20 min en agitación intermitente 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 pellet húmedo fue decantado por 10 min para finalmente ser pesado. Los cálculos se realizaron de acuerdo a Haynes *et al.* (2009).

Análisis de viscosidad: Rapid Visco Analyzer (RVA)

El perfil de viscosidad de las harinas fue obtenido de acuerdo al método 76-21 (AACC, 2000). Las muestras de HT, HA, HM y HS 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) que fue de una temperatura inicial de 50 °C y 960 rpm, disminuyendo la velocidad a 160 rpm a los 10 s. Al minuto, la temperatura se mantuvo en 50 °C para aumentar hasta 95 °C a los 4.42 min, manteniéndose así hasta los 7.42 min. A los 11 min la temperatura bajo a 50 °C hasta terminar la prueba a los 13 min.

Capacidad fermentativa

Para realizar esta medición se elaboró la masa de la siguiente manera: Se colocaron 126 g de agua, 7.4 g de aceite, 4 g de sal y 14.8 g de azúcar en el tazón de la amasadora y se mezcló por 2 min a velocidad 3 (Thermomix Vorwerk, Wuppertal, Alemania). Transcurrido este tiempo se agregó 8.4 g de levadura y se procedió a mezclar durante 30 s. Después se adicionaron 110 g de harina y se mezclaron por 30 s, incorporándose finalmente el resto de la harina (105 g), mezclando durante 4.5 min más a 37 °C. El programa del equipo está enfocado a la mezcla de los ingredientes por medio de unas hélices que giran al azar en ambas direcciones a una velocidad de 550 rpm, con el objetivo de obtener una masa homogénea. Para llevar a cabo la medición del volumen se tomaron 70 g de la masa que se colocaron en un tubo cilíndrico graduado de vidrio (Soleimani Pour-Damanab *et al.*, 2011) (5.5 cm de diámetro y 15.5 cm de alto), el cual se introdujo a la cámara de fermentación (Modelo KBF720 Binder, Tuttlingen, Alemania) con humedad relativa y temperatura controlada (90 % HR y 40°C) por una hora. Mediante el registro del volumen inicial de la masa y el

obtenido a la hora de fermentación se calculó la capacidad de la masa para ser fermentada.

Diseño de experimentos y análisis estadístico

Se utilizó un diseño de experimento factorial 2x3, donde los factores fueron el grado de sustitución de la harina de trigo (10 o 20 %) y la temperatura (80, 100 o 130 °C). Los resultados se analizaron aplicando un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras ($P < 0.05$). 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 confianza del 95 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de tamaño de partícula (DTP)

En la Tabla 1 se presenta la distribución del tamaño de partícula obtenidos para las mezclas de harinas resultado de la sustitución de HT con HA, HM o HS al 10 o 20 % (tratadas térmicamente a 80, 100 o 130 °C durante 30 min). Al analizar los valores de $D[4,3]$ μm obtenidos cuando la harina de sustitución fue HA, el análisis estadístico mostró que la temperatura, % de sustitución y la interacción entre ambos tuvieron un efecto significativo ($P < 0.05$) en la DTP. El análisis del efecto

del tratamiento térmico cuando el grado de sustitución fue del 10 % o del 20 % no mostró diferencias significativas por el efecto de las diferentes temperaturas empleadas salvo para las mezclas HT: HA al 10 % con tratamiento térmico de 130 °C/30 min y HT: HA al 20 % con tratamiento térmico de 80 °C/30 min, las cuales obtuvieron el menor DTP (105.53 ± 1.10) y mayor valor de DTP (147.03 ± 13.33), respectivamente. Al utilizar HM en la sustitución de HT, igual que en el caso anterior el análisis mostró que los factores temperatura o porcentaje de sustitución tuvieron un efecto significativo. Las únicas mezclas que presentaron valores iguales a la harina patrón HT fueron las tratadas térmicamente a mayor temperatura (130 °C), para ambos grados de sustitución (10 y 20 %) siendo los valores obtenidos de DTP 103.05 ± 1.28 y 105.94 ± 0.76 , respectivamente. Para el resto de mezclas los valores obtenidos de DTP fueron superiores al de HT y también superiores al obtenido por la harina sustituida al 10 % sin tratamiento térmico, lo que podría mostrar que la aplicación de un tratamiento térmico suave incrementa el tamaño de partícula, pero que con uno más intenso este se reduce incluso llegando al valor del tamaño de la harina HT. Los resultados obtenidos al utilizar HS tratada térmicamente a 80, 100 o 130 °C a un nivel de sustitución del 10 % no mostraron diferencias significativas con respecto a HT. En cambio, cuando el nivel de sustitución fue del 20 %, si se tuvieron

Tabla 1. Distribución del tamaño de partícula de HT¹ sustituida con HA, HM o HS al 10 o 20 % tratadas térmicamente a 80, 100 o 130 °C durante 30 min.

Table 1. Particle size distribution of HT¹ substituted with HA, HM or HS at 10 or 20 %, heat-treated at 80, 100 or 130 °C for 30 min.

Harina	d(0.1) μm	d(0.5) μm	d(0.9) μm	D[4,3] μm
Trigo	25.53 \pm 1.15h	92.32 \pm 0.63e	181.11 \pm 0.80a	92.42 \pm 0.88a
HT:HA 10% (80°C/30 min)	21.01 \pm 0.07c	89.82 \pm 0.30a	198.14 \pm 1.86bcde	113.21 \pm 2.28bc
HT:HA 10% (100°C/30 min)	21.07 \pm 0.16c	90.44 \pm 0.50ab	200.29 \pm 2.47cde	113.92 \pm 3.07bc
HT:HA 10% (130°C/30 min)	21.28 \pm 0.09c	89.98 \pm 0.26a	195.53 \pm 1.47bcd	105.53 \pm 1.10ab
HT:HA 20% (80°C/30 min)	20.08 \pm 0.21ab	94.23 \pm 1.72f	260.95 \pm 21.39i	147.03 \pm 13.33f
HT:HA 20% (100°C/30 min)	19.88 \pm 0.11a	91.28 \pm 0.59bcd	226.57 \pm 4.03g	118.61 \pm 2.6cd
HT:HA 20% (130°C/30 min)	19.93 \pm 0.12a	91.10 \pm 0.63bc	224.54 \pm 3.58g	116.78 \pm 4.48cd
HT:HM 10% (80°C/30 min)	22.43 \pm 0.23de	94.75 \pm 0.26fg	206.64 \pm 1.71ef	119.42 \pm 0.86cd
HT:HM 10% (100°C/30 min)	22.94 \pm 0.14fg	95.54 \pm 0.52gh	209.57 \pm 1.98f	124.19 \pm 2.92de
HT:HM 10% (130°C/30 min)	22.29 \pm 0.14d	92.15 \pm 1.06de	195.45 \pm 2.55bc	103.05 \pm 1.28a
HT:HM 20% (80°C/30 min)	21.23 \pm 0.13c	96.05 \pm 0.87h	209.27 \pm 6.43f	114.57 \pm 12.21bc
HT:HM 20% (100°C/30 min)	20.99 \pm 0.55c	97.30 \pm 1.90i	221.56 \pm 15.09g	132.30 \pm 23.44e
HT:HM 20% (130°C/30 min)	20.44 \pm 0.36b	94.92 \pm 0.51fg	204.13 \pm 1.98ef	105.94 \pm 0.76ab
HT:HS 10% (80°C/30 min)	22.11 \pm 0.15d	91.91 \pm 0.34cde	191.30 \pm 0.69b	101.30 \pm 0.44a
HT:HS 10% (100°C/30 min)	22.83 \pm 0.13f	94.10 \pm 0.45f	203.65 \pm 1.25def	107.18 \pm 0.82ab
HT:HS 10% (130°C/30 min)	22.83 \pm 0.09f	94.12 \pm 0.32f	203.46 \pm 0.93cdef	106.77 \pm 0.42ab
HT:HS 20% (80°C/30 min)	23.24 \pm 0.07g	100.68 \pm 0.25j	237.84 \pm 1.55h	119.88 \pm 0.77cd
HT:HS 20% (100°C/30 min)	23.35 \pm 0.13g	101.13 \pm 0.70j	240.02 \pm 4.37h	122.57 \pm 5.51cd
HT:HS 20% (130°C/30 min)	22.82 \pm 0.20ef	100.90 \pm 0.89j	240.21 \pm 9.83h	124.88 \pm 10.95de

¹HT, harina de trigo; HA, harina de avena; HM, harina de maíz; HS, harina de sorgo.

²Medias con la misma letra dentro de la columna no son significativamente diferentes ($p \geq 0.05$).

diferencias significativas con respecto a HT, siendo los valores obtenidos superiores cuanto mayor fue la intensidad del tratamiento térmico. Estudios realizados por Kim *et al.* (2004), observaron que la distribución del tamaño de partícula de las harinas de trigo era dependiente de la temperatura. La aplicación de 60 °C mostró cambios significativos en el tamaño y la distribución de las partículas de las harinas. Este resultado se lo atribuyeron al hinchamiento de los gránulos de almidón en respuesta al incremento de temperatura. Estudios realizados por Neill *et al.* (2012), determinaron que la harina tratada con calor puede ser usada en muchas aplicaciones en el procesamiento de alimentos. También concluyeron que la utilización de este tipo de harinas desarrolla productos con mayor vida de anaquel, textura más fina, miga más húmeda y sabor más dulce. Además, el tratamiento por calor disminuyó la extensibilidad del gluten y la parcial gelatinización de los gránulos de almidón. La aplicación de estos tratamientos con temperatura genera cambios en la distribución del tamaño de partícula de las harinas (Kim *et al.*, 2004), principalmente en la fracción amilosa, que por su característica lineal facilita su degradación en comparación con amilopectina que es mucho más ramificada (Labanowska *et al.*, 2013). Rasper y DeMan (1980) realizaron estudios en harinas de trigo y observaron que durante el calentamiento de estas se presenta un hinchamiento que contribuye significativamente al desarrollo de las propiedades reológicas.

Capacidad de retención de agua (CRA)

Las Figuras 1A, 1B y 1C presentan la capacidad de retención de agua en las mezclas de harinas HT: HA, HT: HM y HT: HS, respectivamente, para los dos niveles de sustitución evaluados (10 o 20 %) y tratadas a las tres temperaturas estudiadas (80, 100 o 130 °C) durante 30 minutos. Además, en las figuras en las que se muestran los datos como una superficie de respuesta también se muestran mediante una línea los valores obtenidos para HT. En la Figura 1A, se observa que las harinas con sustitución parcial de HT por HA fueron tratadas térmicamente, independientemente de la intensidad de éste y del grado de sustitución, la CRA aumentó, llegando en el caso de la harina con un 20 % de sustitución y con un tratamiento térmico a 100 °C a alcanzar un valor superior (69.32 ± 0.61) al de HT (69.15 ± 0.21). Además del tratamiento térmico, el grado de sustitución también fue significativo y como se puede apreciar en la figura, los valores para el nivel de sustitución 10 % fueron menores que para 20 %. La Figura 1B muestra los resultados de CRA cuando HT fue sustituida por HM obteniéndose valores muy lejanos a los observados por HT. Los valores más altos fueron observados cuando se utilizó HM al 10 % (66.76 ± 0.73) o 20 % (66.88 ± 0.44), ambas tratadas a 100 °C, temperatura que ya se mostró como la más influyente para las sustituciones realizadas con HA. Finalmente, los resultados obtenidos cuando se utilizó HS en la sustitución de HT bajo las mismas condiciones de tratamiento se muestran en la Figura 1C. Se observa que el efecto del tratamiento térmico fue muy influyente y más de forma negativa. Al tratar térmicamente las harinas HS, indepen-

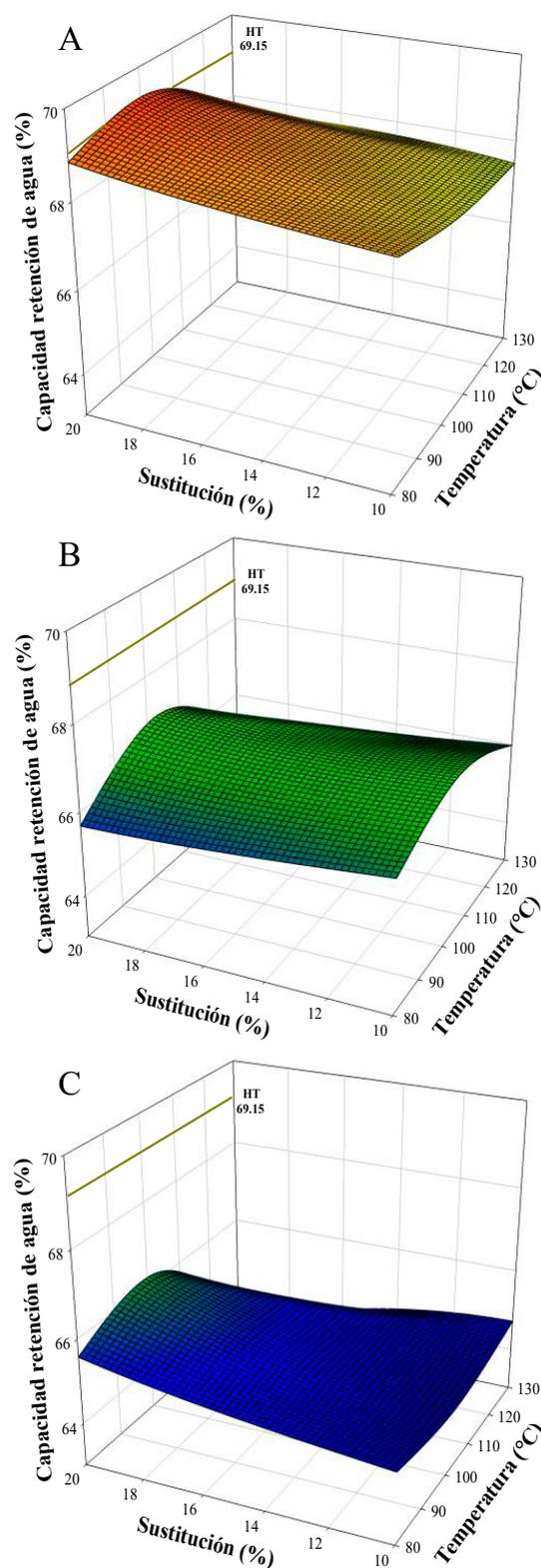


Figura 1. Capacidad de retención de agua de la HT sustituida al 10 o 20 % con HA (A), HM (B) o HS (C) tratadas térmicamente a 80, 100 o 130 °C por 30 min.

Figure 1. Water holding capacity of the HT substituted with HA (A), HM (B) or HS (C) at 10 or 20 %, heat-treated at 80, 100 or 130 °C for 30 min.

dientemente de la intensidad de este y del grado de sustitución de la harina, se produjo un descenso muy marcado en la CRA. La capacidad de retención de agua se refiere a la capacidad que tienen los alimentos o sus componentes a retener agua bajo ciertas condiciones (Labuza y Busk, 1979). En harinas, esta propiedad es usada para determinar su calidad y habilidad para formar una masa viscoelástica, la cual es esencial en la industria de los alimentos ya que determina las propiedades funcionales de las masas. Resultados obtenidos por 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. Esta relación no fue observada para las harinas en estudio, sin embargo, hay que considerar la composición química de las harinas ya que durante la molienda una parte de los gránulos de almidón se dañan parcialmente lo que permite la penetración del agua y el ataque enzimático, así la cantidad mayor de almidón dañado va a generar un aumento en la absorción de agua. El gránulo de almidón puede absorber entre 39 y 87 % de agua en peso (Larsen, 1964; Rasper y Deman, 1980), mientras que el almidón dañado entre 200 y 430 % (Bushuk, 1966; 1964), pentosanas entre 500 y 1500 % (Jelaca, 1971) y proteínas entre 114 y 215 % (Larsen, 1964; Bushuk, 1966). Así pues, a cierto nivel de daño las propiedades mecánicas de la masa pueden verse afectadas de forma negativa. La Figura 2 presenta los resultados obtenidos de temperatura de empaste, viscosidad pico y viscosidad final en las mezclas de HT con HA, HM o HS tratadas térmicamente en niveles de sustitución del 10 y 20 %, además de los resultados obtenidos en HT. Como se observa en el caso de las harinas sustituidas parcialmente con HA, el efecto del tratamiento térmico solo fue significativo cuando las harinas sustituidas al 10 y 20 % fueron tratadas a 130 °C, obteniéndose un descenso muy importante de este parámetro ($67.67\text{ °C} \pm 1.30$; $69.35\text{ °C} \pm 0$, respectivamente) hasta alcanzar casi el valor de la harina de referencia HT ($68.95\text{ °C} \pm 0.63$). Cuando la harina utilizada en la sustitución fue HM, el efecto del tratamiento térmico fue muy ligero, observándose un pequeño descenso para el nivel de sustitución 20 % tratadas a 80 y 100 °C ($82.22\text{ °C} \pm 1.09$ y $83.12\text{ °C} \pm 0.08$), respectivamente. Finalmente, al ser utilizada HS, el efecto del tratamiento térmico fue el menor con respecto al resto de las mezclas de harinas, solo evidenciándose diferencias significativas cuando se utilizó HS a un nivel de sustitución del 10 % y un tratamiento térmico de 130 °C. La temperatura de empaste da una idea de la temperatura mínima requerida para la transformación en pasta de la muestra, y puede tener implicaciones para la estabilidad de otros componentes en una fórmula y también en los costos de energía. Estos valores se ven afectados por las características propias de los cereales y la interacción con el agua, además de la temperatura y tiempo de la prueba. Una mayor temperatura de empaste puede ser reflejo de una mayor estabilidad interna del gránulo de almidón, normalmente asociada a una mayor presencia de zonas

semicristalinas y a un mayor contenido de amilosa (Imberty *et al.*, 1988). Por otra parte, harinas con más baja temperatura de empaste son generadas por una absorción rápida de agua por los gránulos de almidón debido al debilitamiento de las moléculas (amilosa-amilopectina), fenómeno asociado a una menor presencia de amilosa y a una mayor presencia de regiones cristalinas dentro del gránulo que requieren temperaturas más bajas de calentamiento (Alvis *et al.*, 2008). En relación a viscosidad pico, se observa como influyó el

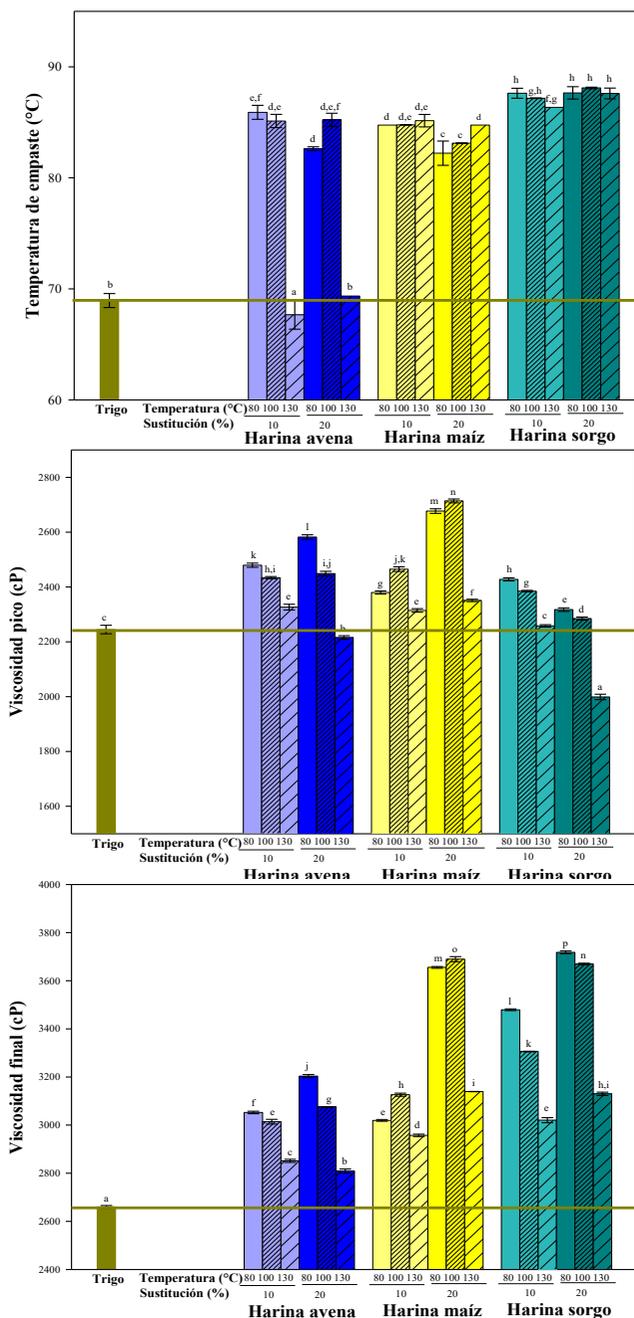


Figura 2. Temperatura de empaste, viscosidad pico y viscosidad final de la HT sustituida al 10 o 20 % con HA, HM o HS tratadas térmicamente a 80, 100 o 130 °C por 30 min.

Figure 2. Pasting temperature, peak and final viscosity of the HT substituted with HA (A), HM (B) or HS (C) at 10 or 20 %, heat-treated at 80, 100 and 130 °C for 30 min.

tratamiento térmico sobre este parámetro. En general, el tratamiento térmico más suave (80 °C) hizo incrementar los valores de éste en todas las harinas y para los dos niveles de sustitución (a excepción de la HS con un nivel de sustitución del 20 % y tratada térmicamente a 130 °C), alcanzando valores muy superiores a los de HT (2245 cP \pm 15.55), sin embargo, con el incremento de la intensidad de los tratamientos, los valores fueron disminuyendo alcanzando en algún caso (HT: HS 20 % a 130/30 min) un valor muy inferior al de HT. La viscosidad pico indica la capacidad de retención de agua del almidón o de la mezcla. Es frecuentemente correlacionada con la calidad del producto final y también nos proporciona una indicación de la viscosidad probable de una mezcla. La viscosidad pico puede alcanzarse antes de que se llegue a la temperatura máxima, o puede no ocurrir hasta después de alcanzar dicha temperatura. Aquellas muestras que llegan a la viscosidad máxima antes de la temperatura máxima son almidones que muestran un rápido hinchamiento de sus gránulos. La viscosidad pico se relaciona con una combinación de la cantidad de hinchamiento de los gránulos y la velocidad de rompimiento. Los gránulos que tienen un alto poder de hinchamiento también tienden a tener una alta viscosidad. Así, es importante considerar la velocidad de calentamiento ya que esta también tiene un efecto importante sobre la viscosidad pico (Batey, 2000). Estudios realizados por Ferreras-Charro (2009), con diferentes fracciones de la molienda del trigo y harina de trigo, obtuvo valores de viscosidad pico de 2298 cP, valor muy cercano al obtenido en nuestro estudio para HT (2245 cP). Con respecto a HA, estudios con harina de avena comercial (Hüttner *et al.*, 2010) encontraron rangos que van desde 3900 a 4900 cP, bastantes altos en comparación a los obtenidos en la HA (2887.5 cP) utilizada en nuestro estudio. Otros estudios (Tadeu Paraginski *et al.*, 2014) relacionados con las propiedades de viscosidad de harina de maíz almacenada a diferentes tiempos obtuvieron valores de viscosidad pico de 3100 cP, muy cercano al resultado obtenido en esta investigación. Estudios realizados por Lee *et al.* (2002) con harina de sorgo donde fueron analizadas sus propiedades de viscosidad, encontraron rangos de viscosidad pico de 2300 a 2500 cP. En el caso de la viscosidad final se observó un efecto del tratamiento térmico similar al observado en la viscosidad pico. En términos generales la aplicación del tratamiento térmico de 80 °C o 100 °C produjeron un incremento en la viscosidad final, la cual fue más evidente cuando el grado de sustitución fue mayor (20 %), alcanzando valores superiores a las obtenidas en HT, siendo este comportamiento más notorio para las sustituciones hechas con HM o HS. Además, con el incremento de la intensidad del tratamiento térmico se produjo un descenso de la viscosidad final, lo anterior fue para los dos niveles de sustitución. La viscosidad final es el parámetro más comúnmente utilizado para definir la calidad de una muestra en particular, ya que indica la capacidad del material para formar una pasta o gel después de la cocción y el enfriamiento. En relación al valor obtenido para HT, estudios

realizados por Ferreras-Charro (2009) encontraron valores de 2689 cP, muy similar al obtenido en nuestro estudio (2660 cP). Otro cereal que se destacó por el alto valor registrado con respecto al resto de las harinas fue HM, sin embargo, valores más altos (7099 cP) fueron encontrados para este mismo cereal por Tadeu-Paraginski *et al.* (2014). Hüttner *et al.* (2010) al trabajar con harinas de avena comercial encontró valores en un rango de 4400 a 4800 cP, valores ligeramente superiores al obtenido en nuestro estudio (4024 cP). En lo que respecta a HS, estudios realizados por Lee *et al.* (2002) observaron valores en un rango de 3400 a 3600 cP, rango en el que se encontró el valor obtenido en nuestras muestras (3461.5 cP). Los resultados obtenidos de viscosidad mínima, viscosidad de ruptura y viscosidad de restitución se muestran en la Tabla 2. La viscosidad mínima de las mezclas de harinas, mostraron diferencias significativas con respecto a HT (1421.5 cP \pm 4.94). Al ser utilizada HA en la sustitución se logra apreciar como disminuye la viscosidad a medida que se incrementa el tratamiento térmico para la sustitución de 10 o 20 %. Este mismo comportamiento es observado al utilizar HS en las mismas condiciones de sustitución o tratamiento térmico que HA. También se observa como al incrementar la temperatura de tratamiento a 130 °C los valores más bajos de viscosidad (1378.5 cP \pm 9.19 y 1335 cP \pm 11.31) son obtenidos para estos dos cereales sustitutorios (HA o HS). Al igual que la viscosidad final la influencia estadística significativa estuvo determinada por los factores temperatura, % de sustitución y la interacción de ambas. En lo que respecta al comportamiento de HM para este análisis, incrementos en esta medición en harinas tratadas a 80 o 100 °C/30 min fueron observados para los dos niveles de sustitución, sin embargo, una disminución importante es apreciada en HM tratada a 130 °C al ser utilizada al 10 o 20 % (1482.5 cP \pm 9.19 o 1541 cP \pm 5.65) en sustitución de HT. El análisis de varianza mostró el efecto significativo por los factores temperatura, % de sustitución y la interacción de ambos al igual que los observados al utilizar HA o HS. La viscosidad de ruptura no mostró diferencias significativas ($P > 0.05$) entre HT (823.5 cP \pm 10.6) y la HT sustituida al 20 % con HA tratada a 80 o 100 °C durante 30 min (821 cP \pm 9.89 o 825.5 cP \pm 3.53) respectivamente, así como cuando la HT fue sustituida con HM al 10 o 20 % tratadas a 130 °C/30 min (836 cP \pm 9.89 o 810 cP \pm 9.89) respectivamente. En cambio, cuando se utilizó HS en la sustitución, todas las mezclas obtenidas mostraron diferencias con respecto a HT, excepto cuando esta fue sustituida al 10 % con HS tratada a 130 °C (807.5 cP \pm 3.53). La tendencia en estas últimas sustituciones fue de disminuir el valor de viscosidad de ruptura a medida que incremento el nivel de sustitución y la temperatura de tratamiento térmico, comportamiento contrario al observado cuando se utilizó HA en las sustituciones. El análisis de varianza mostró como los factores temperatura, % de sustitución y la interacción de ambos tuvieron influencia en la significancia estadística observada, el mismo caso que cuando se utilizó HA en la sustitución de HT. Finalmente, la viscosidad de restitución mostró diferencias significativas entre HT (1238.5 cP \pm 10.6) y

Tabla 2. Perfil de viscosidad de la HT¹ sustituida al 10 o 20% con HA, HM o HS tratadas térmicamente a 80, 100 o 130 °C por 30 min.
Table 2. Viscosity profile of HT¹ substituted with HA, HM or HS at 10 or 20 %, heat-treated at 80, 100 or 130 °C for 30 min.

Harina	Viscosidad mínima (cP)	Viscosidad de ruptura (cP)	Viscosidad de restitución (cP)
Trigo	1421.5 ± 4.94 ^d	823.5 ± 10.6 ^{ef}	1238.5 ± 10.6 ^a
HT:HA 10% (80°C/30 min)	1633.5 ± 0.7 ^l	846 ± 7.07 ^g	1414 ± 11.31 ^b
HT:HA 10% (100°C/30 min)	1610 ± 4.24 ^k	849.5 ± 3.53 ^g	1408 ± 0 ^b
HT:HA 10% (130°C/30 min)	1393.5 ± 4.94 ^c	933 ± 5.65 ^l	1453 ± 8.48 ^d
HT:HA 20% (80°C/30 min)	1781 ± 4.24 ^o	821 ± 9.89 ^{def}	1437.5 ± 4.94 ^c
HT:HA 20% (100°C/30 min)	1623.5 ± 4.94 ^{kl}	825.5 ± 3.53 ^{ef}	1452 ± 4.24 ^d
HT:HA 20% (130°C/30 min)	1378.5 ± 9.19 ^b	843 ± 9.89 ^g	1434 ± 5.65 ^c
HT:HM 10% (80°C/30 min)	1477 ± 7.07 ^{ef}	897.5 ± 6.36 ⁱ	1546 ± 5.65 ^f
HT:HM 10% (100°C/30 min)	1541.5 ± 6.36 ^j	923.5 ± 2.12 ^j	1582 ± 4.24 ^h
HT:HM 10% (130°C/30 min)	1482.5 ± 9.19 ^f	836 ± 9.89 ^{fg}	1481.5 ± 4.94 ^e
HT:HM 20% (80°C/30 min)	1682 ± 5.65 ^m	1022.5 ± 4.94 ^k	1989 ± 9.89 ^l
HT:HM 20% (100°C/30 min)	1711 ± 7.77 ⁿ	1007 ± 8.48 ^k	1978 ± 2.82 ^l
HT:HM 20% (130°C/30 min)	1541 ± 5.65 ^{ji}	810 ± 9.89 ^{de}	1598.5 ± 4.94 ⁱ
HT:HS 10% (80°C/30 min)	1527 ± 2.82 ^{ghi}	901 ± 8.48 ^l	1947.5 ± 7.77 ^k
HT:HS 10% (100°C/30 min)	1517 ± 8.18 ^g	878 ± 5.65 ^h	1799 ± 9.89 ^j
HT:HS 10% (130°C/30 min)	1465.5 ± 6.36 ^e	807.5 ± 3.53 ^{cd}	1560 ± 2.82 ^g
HT:HS 20% (80°C/30 min)	1532.5 ± 7.77 ^{hij}	794 ± 11.31 ^c	2197.5 ± 6.36 ⁿ
HT:HS 20% (100°C/30 min)	1522.5 ± 7.77 ^{gh}	762.5 ± 2.12 ^b	2147 ± 4.24 ^m
HT:HS 20% (130°C/30 min)	1335 ± 11.31 ^a	674 ± 7.07 ^a	1795 ± 4.24 ^j

1HT, harina de trigo; HA, harina de avena; HM, harina de maíz; HS, harina de sorgo; cP, centipoise.

2Medias con la misma letra dentro de la columna no son significativamente diferentes ($p \geq 0.05$).

las sustituciones realizadas con HA, HM o HS en los diferentes niveles y tratamientos térmicos. Al utilizar HA o HM en las sustituciones no se observa un comportamiento regular, sin embargo, al utilizar HS si se observa la tendencia de disminuir a medida que se incrementó la temperatura de tratamiento. Este efecto se presentó para los dos niveles de sustitución al que se usó HS. Al observar los análisis de varianza para la sustitución de HT por HA, HM o HS, se logró apreciar que la diferencia estadística estaba determinada por los factores de temperatura, % de sustitución, así como la interacción de ambos. Con la finalidad de evaluar la capacidad fermentativa de las harinas se midió el volumen de la masa durante una hora de fermentación a 90 % de HR y 40 °C. La Figura 3 muestra el volumen para las mezclas de HT con las harinas tratadas térmicamente mediante graficas de superficie de respuesta, así como el obtenido de HT. La Figura 3A en la que HT fue sustituida por HA tratada térmicamente muestra como el tratamiento térmico fue muy influyente ya que generó un incremento importante en la capacidad fermentativa, siendo esta superior a la de HT ($136.32 \text{ cm}^3 \pm 4.62$). El volumen mayor de la masa se obtuvo cuando se aplicó una temperatura de 100 °C tanto para la sustitución del 10 % ($160.13 \text{ cm}^3 \pm 5.96$) como del 20 % ($163.93 \text{ cm}^3 \pm 4.11$). Este comportamiento posiblemente esté relacionado

con el aporte de β -glucanos de la avena, que, aunque normalmente son utilizados como ingrediente en alimentos funcionales, también son utilizados para mejorar las propiedades viscoelásticas de formulaciones de pan libre de gluten (Lazaridou y Biliaderis, 2007). Estudios realizados por Londono *et al.* (2015) mostraron como el contenido y viscosidad de β -glucanos afectan las propiedades tecnológicas de la masa de avena en un sistema libre de gluten y un sistema con gluten, encontrando un aumento en la capacidad de retención de gas. El tratamiento térmico a la HM también generó cambios en su capacidad fermentativa cuando esta fue combinada con HT. Como se puede observar en la Figura 3B, independientemente del grado de sustitución y de la intensidad del tratamiento térmico, se produjeron cambios importantes en el volumen de la masa, la mayoría de estos cambios tuvieron una influencia negativa en el volumen final de la masa, solo se alcanzó un valor aproximado al de la harina de referencia HT ($136.32 \text{ cm}^3 \pm 4.62$) para la combinación de HT: HM al 10 % que mostró su máxima capacidad fermentativa cuando HM fue tratada térmicamente a 130 °C durante 30 minutos ($135.89 \text{ cm}^3 \pm 6.14$). Este comportamiento puede estar relacionado con lo observado en estudios desarrollados por Van Hung y Morita (2004), sobre propiedades de la masa y la calidad del pan de harinas suplementados con almidones de maíz reticulados, donde

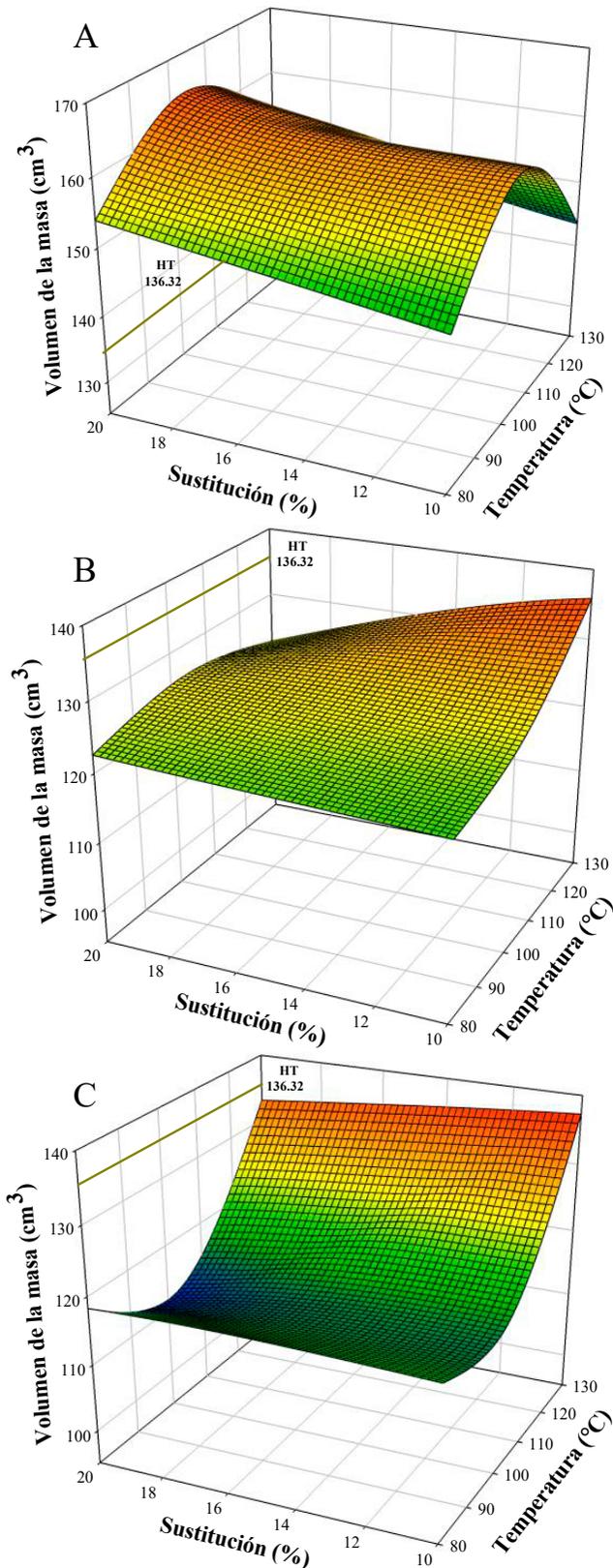


Figura 3. Volumen de la masa de HT sustituida al 10 o 20 % con HA (A), HM (B) o HS (C) tratadas térmicamente a 80, 100 o 130 °C por 30 min.
Figure 3. Dough volume of the HT substituted with HA (A), HM (B) or HS (C) at 10 or 20 %, heat-treated at 80, 100 or 130 °C for 30 min.

observaron que las harinas sustituidas con almidones de maíz con alto grado de hinchamiento generan una masa más fuerte con un volumen de pan mayor y una miga más blanda que al utilizar almidones de maíz de bajo grado de hinchamiento. En lo que respecta a los resultados obtenidos cuando se utilizó HS en la sustitución de HT, estos se pueden observar en la Figura 3C, se aprecia como la aplicación de tratamientos térmicos de 80 o 100 °C sobre HS utilizada en los dos niveles de sustitución de HT no produjo cambios importantes en el volumen de fermentación. En cambio, cuando la temperatura aplicada fue de 130 °C se produjo un incremento importante en la capacidad fermentativa de la harina llegando incluso, en el caso de la sustitución al 10 %, a valores ($137.32 \text{ cm}^3 \pm 6.37$) similares a los de HT. Este comportamiento puede estar relacionado con estudios realizados por Marston *et al.* (2016), donde observaron efectos positivos en harinas de sorgo utilizadas para elaborar pastel, las cuales fueron tratadas térmicamente, aumentando la viscosidad de la masa mientras se producía una disminución en la gravedad específica de la misma, haciendo que más burbujas de aire quedaran atrapadas en la masa. Además de generar una masa más fuerte, que ayudó a prevenir la coalescencia de las celdas de gas y el colapso durante el enfriamiento, mejoró la resistencia estructural y el volumen del pastel, que ésta relacionado directamente con el volumen de la masa durante la fermentación.

CONCLUSIONES

La DTP fue afectada por el % de sustitución y el tratamiento térmico, así como por la interacción de ambos, la tendencia en este parámetro fue de disminuir al incrementar la temperatura del tratamiento térmico. La CRA fue afectada significativamente por el % de sustitución y el tratamiento térmico, un incremento en este parámetro incluso mayor al obtenido por HT fue observado cuando se utilizó HA al 20 % tratada a 100 °C. El perfil de viscosidad también fue afectado por el % de sustitución y el tratamiento térmico, la viscosidad final fue uno de los parámetros donde se hizo más evidente este comportamiento, lográndose observar incrementos importantes cuando la sustitución de la HT se realizó con HM o HS al 20 % tratadas a 80 o 100 °C. Finalmente, el tratamiento térmico favoreció la capacidad fermentativa cuando se utilizó HA al 10 o 20 % tratada a 100 °C en la sustitución de HT, generó un volumen de la masa incluso mayor al observado cuando se utilizó HT, esto es deseable ya que se esperaría un volumen de pan mayor al que se obtendría con utilizar solo HT, además de obtener un pan mejorado nutrimentalmente por ser la avena uno de los cereales más completos en cuanto a aporte de aminoácidos limitantes (lisina) se refiere.

REFERENCIAS

- AACC, 2000. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 10th Ed. The Association, St. Paul, MN, USA. Methods 56-11, 76-21.
- Alvis, A., Vélez, C.A., Villada, H.S. y Rada-Mendoza, M. 2008. Análisis físico-químico y morfológico de almidones de

- ñame, yuca y papa y determinación de viscosidad de las pastas. *Información Tecnológica* Vol. 19 (1), 19-28.
- Batey, I.L. 2000. Interactions of starch with glutens having different glutenin sub-units. In: *Wheat Gluten*. P.R. Shewry and A.S. Tatham, Eds. Royal Society. Pp. 499-502.
- 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.
- Bucsellá, B., Takács, Á., Vizer, V., Schwendener, U. y Tömösközi, S. 2016. Comparison of the effects of different heat treatment processes on rheological properties of cake and bread wheat flours. *Food Chemistry* (190) 990-996.
- Bushuk, W. y I. Hilnka, I. 1964. Water as a constituent of flour, dough, and bread. *Baker's Dig.* (38) 43-46.
- Bushuk, W. 1966. Distribution of water in dough and bread. *Baker's Dig.* 40 (5) 38-40.
- Ferreras-Charro, R. 2009. Análisis reológico de las diferentes fracciones de harina obtenidas en la molienda del grano de trigo. Tesis Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad de Salamanca, España.
- Haynes, L.C., Bettge, A.D. y Slade, L. 2009. Soft wheat and flour products methods review: Solvent retention capacity equation correction. *AACC International Report* (54) 174-175.
- Hung, P.V. y Morita, N. 2004. Dough properties and bread quality of flour supplemented with cross-linked corn starches. *Food Research International* (37) 461-467.
- Hüttner, E.K., Dal Bello, F. y Arendt, E.K. 2010. Rheological properties and bread making performance of commercial wholegrain oat flours. *Journal of Cereal Science* (52) 65-71.
- Imberty, A., Chanzy, H., Pérez, S., Buléon, A. y Tran, V. 1988. The double helical nature of the crystalline part of A-starch. *Journal of Molecular Biology* Vol. 201 (2) 365-378.
- Jelaca, S.L. y Hlynka, I. 1971. Water-binding capacity of wheat flour crude pentosans and their relation to mixing characteristics of dough. *Cereal Chemistry* (48) 211-222.
- Kim, W., Choi, S.G. Kerr, W.L., Johnson, J.W. y Gaines, C.S. 2004. Effect of heating temperature on particle size distribution in hard and soft wheat flour. *Journal of Cereal Science* (40) 9-16.
- Labanowska, M., Weselucha-Birczyńska, A., Kurdziel, M. y Puch, P. 2013. Thermal effects on the structure of cereal starches. *EPR and Raman spectroscopy*. *Carbohydrate Polymers* (92) 842-848.
- Labuza, T.P. y Busk, C.G. 1979. An analysis of the water binding in gels. *Journal of Food Science* (44) 1379-1385.
- Larsen, R.A. 1964. Hydration as factor in bread quality. *Cereal Chemistry* (41) 181-187.
- Lazaridou, A. y Biliaderis, C.G. 2007. Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *Journal of Cereal Science* (46) 101-118.
- Lee, W.J., Pedersen, J.F. y Shelton, D.R. 2002. Relationship of sorghum kernel size to physiochemical, milling, pasting, and cooking properties. *Food Research International* (35) 643-649.
- Londono, D.M., Gilissen, Luud J.W.J., Visser, Richard, G.F., Smulders, Marinus, J.M. y Hamer, R.J. 2015. Understanding the role of oat β -glucan in oat-based dough systems. *Journal of Cereal Science* (62) 1-7.
- Marston, K., Khouryieh, H. y Aramouni, F. 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.
- Neill, G., Al-Muhtaseb, A.H. y Magee, T.R.A. 2012. Optimisation of time/temperature treatment, for heat treated soft wheat flour. *Journal of Food Engineering* (113) 422-426.
- Ozawa, M., Kato, Y. y Seguchi, M. 2009. Investigation of dry-heated hard and soft wheat flour. *Starch-Stärke* 61, 398-406.
- Rasper, V.F. y DeMan, J.M. 1980. Effect of granule size of substituted starches on the rheological character of composite doughs. *Cereal Chemistry* (57) 331-340.
- Sahin, S. 2008. Cake batter rheology. In: Sumnu, S.G., Sahin, S. (Eds.), *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods*. CSR Press, Boca Ratón, Florida, USA.
- 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) 280-290.
- Soleimani Pour-Damanab, A.R., Jafary, A. y Rafiee, Sh. 2011. Monitoring the dynamic density of dough during fermentation using digital imaging method. *Journal of Food Engineering* (107) 8-13.
- Tadeu-Paraginski, R., Levien-Vanier, N., Berrios, 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.
- Villarino, C.B.J., Jayasena, V. Coorey, R., Chakrabarti-Bell, S. y Johnson, S.K. 2015. The effects of Australian sweet lupin (ASL) variety on physical properties of flours and breads. *LWT-Food Science and Technology* (60) 435-443.