

Utilización de fibra de avena con diferente tamaño de partícula en panificación: efecto reológico y textural

Diana Laura Cordero Fernández¹

María del Carmen Granados Nevárez²

Alma Rosa Islas Rubio²

Samuel Verdú Amat³

Benjamín Ramírez-Wong⁴

Francisco Vásquez Lara^{2§}

¹Departamento de Ingeniería Agroindustrial-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (diana_cof@hotmail.com). ²Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal-Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC. Carretera Gustavo Astiazarán Rosas núm. 46, Col. La Victoria, Hermosillo, Sonora. CP. 83304. (pame@ciad.mx; aislas@ciad.mx). ³Departamento de Tecnología de Alimentos-Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, Valencia, España. CP. 46022. (saveram@upvnet.upv.es). ⁴Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos-Universidad de Sonora. Boulevard Luis Encinas y Rosales, Hermosillo, Sonora. CP. 83000. (bramirez@guaymas.uson.mx).

§Autor para correspondencia: fvas@ciad.mx.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la sustitución de harina de trigo (HT) con harina de fibra de avena (HFA) con diferente tamaño de partícula sobre las propiedades reológicas, texturales y de panificación. El tamaño de partícula obtenido después de la molienda de la fibra de avena fue de 250 y 177 μm (micrones). Los porcentajes de sustitución utilizados fueron de 10, 20 ó 30%. A las mezclas de harinas se les determinó color, capacidad de retención de agua (CRA) y perfil de viscosidad. A las masas se les midió fuerza y extensibilidad por la prueba de Kieffer, mientras que al pan se le midió volumen específico, actividad de agua y perfil de textura. Los resultados mostraron incrementos de fuerza en la masa cuando se utilizaron las dos fracciones de HFA (250 o 177 μm) en la sustitución de HT con respecto a la obtenida de HT (0.25 N). En extensibilidad, los incrementos más importantes fueron observados cuando se utilizó HFA de 177 μm . El volumen específico del pan se vio favorecido cuando se utilizó 10 o 20% de HFA (177 μm) observándose valores muy parecidos entre ellos (4.54 y 4.56 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$, respectivamente), sin mostrar diferencias significativas al obtenido de HT (4.57 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$). El perfil de textura mostró la obtención de panes más blandos cuando se utilizó HFA (177 μm), en sus tres diferentes porcentajes de sustitución (4.86, 4.71 y 7.05 N), incluso mejoró al medido en HT (7.84 N).

Palabras clave: harina de trigo, harina de fibra de avena, panificación.

Recibido: noviembre de 2019

Aceptado: febrero de 2020

Introducción

El desarrollo de productos alimenticios que utilizan harinas compuestas ha aumentado considerablemente, especialmente en la elaboración de productos de panadería y pastelería. La producción de alimentos a base de harinas compuestas puede mantener características similares a los productos elaborados solo de harina de trigo; sin embargo, son mucho más los efectos positivos que pueden ser alcanzados, entre ellos están, efectos en las propiedades funcionales, sensoriales, reológicas, fisicoquímicos y hasta en beneficios a la salud por su aporte nutricional.

Dentro de estas harinas vegetales empleadas en la sustitución de harina de trigo con la finalidad de mejorar las características nutrimentales, organolépticas e incluso bajar los costos de producción se encuentran principalmente las harinas de granos de sorgo, mijo, gluten de maíz, harinas de germen de maíz desgrasado, harinas de maíz germinado, avena, centeno, triticale, arroz, amaranto, harina de tapioca, cebada e incluso los destilados de cerveza, entre otras (Chavan *et al.*, 1993). Sin embargo, la sustitución de la harina de trigo por otras puede presentar cambios importantes para ser tomados en cuenta.

Se ha observado que la sustitución de harina de trigo disminuye las propiedades visco elásticas de la masa por la dilución del gluten. Es por lo anterior, que sustituciones de 10 a 20% han mostrado producir un pan de calidad aceptable y de buenas características organolépticas sin un impacto importante en el color, estructura de la miga, textura y vida de anaquel (Seibel, 2006).

Otros investigadores como Verdú *et al.* (2015), investigaron el efecto que tiene la sustitución de la harina de trigo con chíá a niveles del 5, 10 o 15% observando efectos favorables en la capacidad de retención de gas de la masa. Otros estudios han mostrado efectos positivos en la firmeza del pan cuando se ha utilizado harina de avena y de maíz al 10% en la sustitución de harina de trigo, además de favorecer el volumen de la masa durante la fermentación. Son muchos los cereales, vegetales o hasta subproductos de la industria alimentaria que pueden ser utilizados en la sustitución de la harina de trigo; sin embargo, la utilización de estos dependerá de gran manera de las propiedades finales que deseamos generar en el producto final.

En esta investigación se utilizó la avena, porque es el cereal más completo nutricionalmente, con altos contenidos de proteína (17%) y un porcentaje importante de aminoácidos esenciales como lisina (4.2 g 100 g⁻¹ de proteína), además de alto contenido de fibra dietaria soluble e insoluble (Serna-Saldívar, 1996). Con base a lo anterior, que el objetivo establecido en esta investigación fue evaluar el efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de fibra de avena con diferente tamaño de partícula sobre las propiedades reológicas, texturales y de panificación.

Materiales y métodos

Materia prima

Se utilizó harina de trigo (HT) y harina de fibra de avena (HFA). La fibra de avena se molió en un Molino Pulvex (Modelo Granulador, México, DF). La harina obtenida se hizo pasar por las mallas de 60 (250 µm) y 80 (177 µm) mesh (Dura Tap Sieve Shaker Modelo DT168, Advantech MFG, New Berlin, WI, USA) para obtener dos fracciones de tamaño de partícula, las cuales fueron mezcladas con la HT en las proporciones de: 10/90, 20/80 y 30/70 (peso/peso).

Caracterización de las harinas

Análisis de humedad y proteína

Los contenidos de humedad y proteína fueron determinados por los métodos siguientes: 44-15.02, 46-13.01 (AACC, 2000).

Determinación de color

Se utilizó el Colorímetro (Konica Minolta Modelo Chroma Meter CR-400, Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japón). Los parámetros evaluados fueron: L^* (luminosidad), a^* (variación de rojo a verde) y b^* (variación de amarillo a azul).

Análisis de viscosidad

El perfil de viscosidad de las harinas fue obtenido de acuerdo al método 76-21.02 (AACC, 2000). Se utilizó el viscosímetro Rapid Visco Analyser Super 4, Newport Scientific Australia (RVA). Mediante el software Thermocline del RVA se seleccionó el perfil de la prueba estándar 1.

Análisis de perfil de textura en geles

Se midió a los geles obtenidos después de llevar a cabo el perfil de viscosidad de las harinas. Estos se almacenaron por 24 h a 8 °C. Se empleó el Texturometro TA-XT2 (Texture Analyser Stable Micro Systems, Surrey, UK) y el dispositivo TA-3. El gel se comprimió 50% de su altura. Los parámetros obtenidos fueron: firmeza, elasticidad, cohesividad, gomosidad y masticabilidad (Verdú *et al.*, 2015).

Capacidad de retención de agua (CRA)

La CRA se realizó de acuerdo al método 56-11.02 (AACC, 2000). Los cálculos se desarrollaron de acuerdo a Haynes *et al.* (2009).

Análisis en masas

Fuerza (F) y extensibilidad (E)

La masa utilizada se obtuvo del Mixografo (National Mfg. Co. Lincoln, NE, USA), de acuerdo al método 54-40.02 (AACC, 2000). La determinación de F y E se realizó siguiendo la técnica descrita por Kieffer *et al.* (1998) a una velocidad de prueba de 3.3 mm s^{-1} , con un analizador de textura (TA-XT2, SMS/Kieffer dough extensibility Rig Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, England).

Análisis en pan

Proceso de panificación

El proceso de panificación se realizó por el método 10-10.03 (AACC, 2000). Los ingredientes (harina, levadura, solución azúcar-sal, manteca vegetal y agua) fueron mezclados en el tazón del Mixógrafo hasta el tiempo óptimo de amasado. La masa obtenida se introdujo a una cámara de fermentación a 30 °C y 90% HR por 40 min, para ser sometida a cocimiento a 215 °C por 17 min.

Propiedades físicas del pan

Peso del pan

El pan fue pesado en una balanza (Sartorius Basic Modelo BA 210, Göttingen, Deutschland) después de su horneado.

Medición de volumen

El volumen del pan fue calculado por el método de desplazamiento con la semilla de colza.

Análisis de perfil de textura en pan

El pan se cortó en rebanadas de 1.5 cm de grosor. Se empleó el Texturometro TA-XT2 (Texture Analyser Stable Micro Systems, Surrey, UK) y el dispositivo TA-40. La velocidad del ensayo fue de 1.7 mm s⁻¹ para comprimir la rebanada 50% de su altura. Los parámetros obtenidos fueron: firmeza, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia (Verdú *et al.*, 2015).

Actividad de agua (a_w)

De la miga del pan frío se tomó un disco de 4 cm de diámetro y un espesor de 5 mm. Para realizar el análisis se utilizó el equipo AquaLab (Dew Point Water Activity Meter 4TE, Pullman, WA, USA) (Vásquez, 2016).

Análisis estadístico

El diseño de experimentos fue completamente al azar de un factor, el grado de sustitución de la HFA en la HT. Los resultados se analizaron aplicando un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras con un nivel de significancia de 95%. 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.

Resultados y discusión

Análisis en harinas

Análisis de humedad, proteína y color de las harinas

Los resultados de humedad, proteína, capacidad de retención de agua (CRA) y color de las harinas se muestran en el Cuadro 1. Se observó un incremento del valor de proteína a medida que se incrementó el (%) de sustitución con harina de fibra de avena (HFA). Esto fue más evidente cuando el tamaño de partícula de dicha harina fue de 177 μm (micrones), alcanzando valores de proteína de 13.51% con una diferencia de 1.56% mayor al determinado en harina de trigo (HT). En harinas, este componente es muy importante por la capacidad que muestra en la retención de agua, lo que puede afectar la funcionalidad de las harinas.

Cuadro 1. Contenido de humedad, proteína y color de la harina de trigo (HT) y de las harinas sustituidas con harina de fibra de avena (HFA) en los diferentes porcentajes con diferente tamaño de partícula.

Harina	Tamaño de partícula (μm)	Humedad (%)	Proteína (%)	CRA (%)	Color		
					L*	a*	b*
HT	177	10.15	11.95	66.63 \pm 0.77 ^c	94.61 \pm 0.22	0.14 \pm 0.01	7.58 \pm 0.11
HT-HFA 10%	250	10.56	12.34	69.43 \pm 0.9 ^d	93.75 \pm 0.02	0.12 \pm 0.03	7.64 \pm 0.13
HT-HFA 20%	250	10.22	12.73	77.52 \pm 0.57 ^e	92.94 \pm 0.05	0.27 \pm 0.02	7.81 \pm 0.02
HT-HFA 30%	250	10.09	13.12	89.89 \pm 1.04 ^f	92.39 \pm 0.09	0.31 \pm 0.02	8.06 \pm 0.15
HT-HFA 10%	177	10.51	12.47	63.43 \pm 0.61 ^a	94.15 \pm 0.12	0.13 \pm 0.01	7.59 \pm 0.11
HT-HFA 20%	177	10.04	12.99	62.44 \pm 0.61 ^a	93.74 \pm 0.23	0.15 \pm 0.01	7.85 \pm 0.03
HT-HFA 30%	177	10.26	13.51	64.88 \pm 0.42 ^b	93.53 \pm 0.35	0.19 \pm 0.04	7.91 \pm 0.15

HT= harina de trigo; HFA= harina de fibra de avena; μm = micrones; CRA= capacidad de retención de agua; L= luminosidad; a= rojo a verde; b= amarillo a azul; (%)= nivel de sustitución de HT con HFA. El porcentaje de proteína esta expresado en base seca.

Sin embargo, en el proceso de panificación no solamente un (%) alto de proteínas de las harinas es importante, también lo es la calidad de estas. Esto trae como consecuencia la formación de un gluten (gliadinas y gluteninas) de mejores propiedades visco elásticas con posibilidades de formar un pan con mejor volumen específico, hogaza más alta y redondeada. En general, se supone que una presencia alta de proteínas y una calidad especial del pan demuestra que las propiedades visco elásticas de las proteínas son suficientes para explicar el buen volumen del pan (Kieffer, 1998).

En el caso de color se observó una disminución de L al aumentar el % de sustitución para los dos tamaños de partícula de HFA. Caso contrario sucedió con el valor de a y b.

Este mismo comportamiento fue observado por Hidalgo *et al.* (2014) en HT cuando la evaluación fue desarrollada en harinas con tamaño de 200 μm . Los parámetros de color en harinas pueden estar influenciados por el contenido de carotenoides y características genotípicas, además de las condiciones ambientales, molienda y condiciones de almacenamiento, entre otras.

Con respecto a CRA, se observaron incrementos importantes cuando la HFA utilizada en la sustitución de HT fue de 250 μm de tamaño de partícula, incluso se obtuvieron valores más altos al obtenido en HT (66.63%). Lo contrario sucedió cuando fue utilizada HFA de 177 μm , observándose valores más cercanos al obtenido en HT. Berton *et al.* (2002) atribuyeron este comportamiento al grado de molienda y al método utilizado de molienda. Además, observaron que la variación en el contenido de almidón dañado, así como la fuente de obtención de la harina son uno de los factores más importantes en la variación de la CRA en las harinas.

Análisis de viscosidad

El perfil de viscosidad de las harinas es observado en el Cuadro 2. Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas en la temperatura de gelatinización, observándose diferencias de 16.68 °C hasta 20.23 °C para las mezclas de harinas con respecto a la HT. El hinchamiento del gránulo de almidón comienza en el momento en que el gránulo empieza a hidratarse siendo esto un precursor esencial para la gelatinización, además cuando el almidón es sometido a tratamientos térmicos en un ambiente acuoso sufre una serie de cambios, absorbe agua y se hincha rompiendo la estructura cristalina formando un gel continuo.

Cuadro 2. Perfil de viscosidad de la harina de trigo (HT) y las harinas sustituidas con harina de fibra de avena (HFA) en los diferentes porcentajes con diferente tamaño de partícula.

Harina	Tamaño de partícula (μm)	Temperatura de gelatinización (°C)	Viscosidad (cP)				
			Inicial	Final	Mínima	Ruptura	Restitución
HT	177	69.38 \pm 0.02 ^a	2255 \pm 32.1 ^b	2787 \pm 31.8 ^d	1607 \pm 78.2 ^b	648 \pm 53.9 ^b	1180 \pm 46.4 ^b
HT-HFA 10%	250	89.61 \pm 0.87 ^d	1138 \pm 85.5 ^a	1649 \pm 74.6 ^a	822 \pm 62.1 ^a	316 \pm 24.8 ^a	826 \pm 23.1 ^a
HT-HFA 20%	250	86.06 \pm 0.44 ^b	2846 \pm 75.2 ^c	3522 \pm 14.4 ^e	1787 \pm 37.9 ^{cd}	1059 \pm 38.8 ^e	1734 \pm 48.6 ^c
HT-HFA 30%	250	86.61 \pm 0.46 ^b	2847 \pm 70.4 ^c	3764 \pm 87.3 ^f	1823 \pm 39.9 ^c	1024 \pm 33.5 ^{de}	1941 \pm 54.5 ^f
HT-HFA 10%	177	86.36 \pm 0.07 ^b	2587 \pm 6.65 ^c	3184 \pm 4.7 ^c	1721 \pm 35.5 ^c	866 \pm 28.9 ^c	1463 \pm 40.1 ^c
HT-HFA 20%	177	87.48 \pm 0.44 ^c	2737 \pm 52.7 ^d	3378 \pm 65.2 ^d	1753 \pm 69.6 ^{cd}	984 \pm 61.2 ^d	1625 \pm 58.1 ^d
HT-HFA 30%	177	88.05 \pm 0.05 ^c	2830 \pm 21.1 ^{de}	3596 \pm 25.7 ^e	1813 \pm 55.8 ^{cd}	1016 \pm 44.1 ^{de}	1782 \pm 80.1 ^e

HT= harina de trigo; HFA= harina de fibra de avena; μm = micrones; cP= Centipoise; (%)= nivel de sustitución de HT con HFA. Medias con la misma letra dentro de la columna no son diferentes significativamente $p < 0.05$.

Estudios realizados por Hüttner *et al.* (2010) trabajaron con tres harinas de avena diferentes para evaluar su capacidad de panificación, las cuales fueron analizadas en su perfil de viscosidad obteniendo valores de temperatura de gelatinización (82.37 a 83.57 °C) muy similares a los obtenidos en este estudio. Este comportamiento de gelatinización fue atribuido a la cantidad de almidón y al dañado de las harinas, así como al tamaño de partícula. En lo que respecta a la viscosidad inicial y final, parámetros fundamentales en el comportamiento reológico de las harinas, se observó la tendencia de incrementar a medida que aumentó el nivel de sustitución de HT.

Esto se pudo apreciar de mejor manera cuando se utilizó HFA de 250 μm en la sustitución de 30% de HT. La viscosidad inicial ésta relacionada con una combinación del hinchamiento de los gránulos de almidón y la velocidad de rompimiento de los gránulos. Harinas con alta capacidad de

hinchamiento de sus gránulos de almidón tienden a tener una alta viscosidad inicial. En lo que respecta a la viscosidad final, incrementos en este parámetro son asociados a la formación de un gel durante el enfriamiento debido a una re-asociación entre moléculas de almidón, principalmente por amilosa generando incrementos en la viscosidad final (Lei *et al.*, 2008).

Parámetros como viscosidad mínima, de ruptura y de restitución mostraron una tendencia a incrementar a medida que aumentó el % de sustitución, esto sucedió para los dos tamaños de partícula de HFA (250 y 177 μm) empleadas en este estudio. Estos parámetros mencionados anteriormente son resultado de una compleja interacción entre las harinas y el agua, afectadas por la temperatura y el tiempo y son frecuentemente alteradas por la misma harina al cambiar el tiempo o la temperatura de las diferentes etapas.

Análisis de perfil de textura en geles

El Cuadro 3 muestra los resultados de textura realizada a los geles obtenidos durante el análisis de viscosidad. El gel formado al final del ciclo de enfriamiento de RVA es esencialmente una red tridimensional de moléculas de amilosa entrelazadas que incorporan gránulos de almidón hinchados, rotos y dispersos. Baxter *et al.* (2004), observaron una relación importante con la viscosidad final del gel y la reducción de firmeza y adhesividad. Sin embargo, en nuestro estudio, aunque si se observaron diferencias significativas en la viscosidad inicial y final de los geles obtenidos de las diferentes harinas, no se observó un patrón de comportamiento.

Cuadro 3. Perfil de textura de los geles obtenidos del perfil de viscosidad de la harina de trigo (HT) y de las harinas sustituidas con harina de fibra de avena (HFA) en los diferentes porcentajes con diferente tamaño de partícula.

Gel	Tamaño de partícula (μm)	Firmeza (N)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad
HT	177	20.33 \pm 6.08 ^d	1.11 \pm 0.15 ^b	0.52 \pm 0.01 ^{ab}	10.72 \pm 3.32 ^c	11.68 \pm 2.05 ^c
HT-HFA 10%	250	3.4 \pm 0.26 ^a	0.97 \pm 0.01 ^a	0.45 \pm 0.07 ^a	1.21 \pm 0.24 ^a	1.51 \pm 0.35 ^a
HT-HFA 20%	250	14.72 \pm 4.58 ^c	0.96 \pm 0.01 ^a	0.51 \pm 0.02 ^{ab}	7.42 \pm 2 ^b	7.17 \pm 1.9 ^b
HT-HFA 30%	250	10.15 \pm 1.21 ^{bc}	0.97 \pm 0.01 ^a	0.53 \pm 0.03 ^b	5.38 \pm 0.34 ^b	5.24 \pm 0.31 ^b
HT-HFA 10%	177	4.89 \pm 0.14 ^{ab}	1 \pm 0.01 ^{ab}	0.52 \pm 0.02 ^{ab}	2.54 \pm 0.03 ^a	2.55 \pm 0.06 ^a
HT-HFA 20%	177	3.22 \pm 0.61 ^a	0.97 \pm 0.01 ^{ab}	0.48 \pm 0.01 ^{ab}	1.58 \pm 0.33 ^a	1.54 \pm 0.33 ^a
HT-HFA 30%	177	14.18 \pm 0.23 ^c	0.94 \pm 0.01 ^a	0.53 \pm 0.03 ^b	7.55 \pm 0.33 ^b	7.08 \pm 0.25 ^b

HT= harina de trigo; HFA= harina de fibra de avena; μm = micrones; N= Newton; (%)= nivel de sustitución de HT con HFA. Medias con la misma letra dentro de la columna no son diferentes significativamente $p < 0.05$.

La medición de firmeza mostró diferencias significativas entre los geles obtenidos de las diferentes mezclas de harinas y el de HT, examinándose en esta última el valor mayor para este parámetro de firmeza. En lo que respecta a elasticidad se observaron diferencias significativas entre HT y los valores de los geles obtenidos al utilizar HFA de 250 μm en la sustitución de HT. Contrario a esto la determinación de cohesividad no mostró diferencias significativas. Por otro lado, los resultados de gomosis y masticabilidad si mostraron diferencias significativas entre los geles obtenidos de las diferentes sustituciones; sin embargo, estas diferencias fueron más evidentes cuando se compararon con los valores obtenidos de HT.

El comportamiento anterior observado para este perfil de textura pudo haber sido influenciado por la concentración de almidón, proteína, tiempo y temperatura, agitación, así como tamaño de partícula que son determinantes en el perfil de viscosidad de las harinas, lo cual trae como consecuencia influir en el gel resultante que fue utilizado para medir el perfil de textura.

Análisis en masas

Fuerza (F) y extensibilidad (E)

Los resultados de F y E son mostrados en la Figura 1. La F incrementó en todas las masas obtenidas de las mezclas de harinas que se hicieron con HFA y HT en los diferentes (%) de sustitución, siendo más evidente cuando se utilizó HFA (250 μm) al 30%, registrando valores de 0.61 N, más del doble al obtenido de HT (0.25 N). Se observaron también valores semejantes en este parámetro de F cuando se utilizó HFA (177 μm) obteniendo valores con rangos de 0.32 a 0.39 N. Siendo los obtenidos en las sustituciones del 20 y 30% los más parecidos (0.33 y 0.32 N), respectivamente.

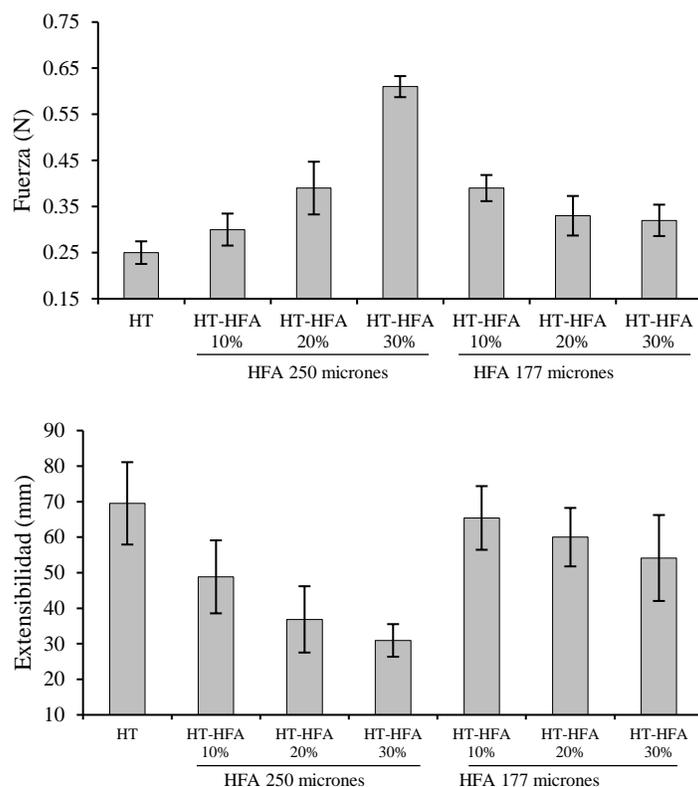


Figura 1. Fuerza y extensibilidad de la masa obtenida de harina de trigo (HT) y de las harinas sustituidas con harina de fibra de avena (HFA) en los diferentes porcentajes con diferente tamaño de partícula.

La fuerza de la masa puede ser un factor determinante en la calidad del pan. La falta de fuerza o el exceso de esta es capaz de provocar problemas de regularidad en la calidad de los productos de panificación. Factores importantes que pueden influir en este parámetro son la cantidad y calidad del gluten presente en las harinas, así como las condiciones de amasado. Estudios realizados por

Islas *et al.* (2005), encontraron que la extensibilidad y fuerza de la masa depende en diferentes grados de la composición proteínica, de la cantidad total de glutenina en las harinas y de la proporción de proteínas poliméricas y monoméricas.

En el caso de E se registró un comportamiento muy particular cuando se utilizó HFA (250 μm), la E tendió a disminuir a medida que se incrementó el (%) de sustitución, un comportamiento inverso al de F. Los valores más bajos (30.94 mm) fueron observados cuando la sustitución fue de 30%. Este mismo comportamiento se observó también cuando se utilizó HFA (177 μm). La tendencia fue a disminuir al igual que la sustitución con HFA (250 μm); sin embargo, no en la misma magnitud. La sustitución al 30% (54.14 mm) con HFA (177 μm) mostró valores de más de 23 mm de diferencia con respecto al mismo porcentaje de sustitución con la HFA (250 μm).

Las características industriales de las masas como son fuerza y extensibilidad, y la calidad del producto final derivadas del trigo son determinadas parcialmente por la cantidad de proteína. Efectos importantes sobre extensibilidad están determinados por gluteninas de alto peso molecular y de bajo peso molecular, además de las gliadinas, fracciones proteicas encontradas en cereales. Sin embargo, el alto peso molecular de las gluteninas no es solo la razón de la aparición de extensibilidad. Es el hecho de que las proteínas del gluten son excepcionalmente cohesivas, principalmente debido a su capacidad de formar enlaces de hidrógeno entre las cadenas laterales de la amida del aminoácido glutamina, que representó 35% de todos los residuos (Kieffer, 1998).

En términos generales, se pudo observar que los valores más altos en extensibilidad (69.52, 65.41 y 60.01 mm) junto con valores de fuerza de 0.25, 0.39 y 0.33 N respectivamente, fueron las masas que produjeron los volúmenes específicos más altos del pan.

Análisis en pan

Propiedades físicas del pan

Dentro de las propiedades físicas analizadas en pan fueron: peso (g), volumen (cm^3), volumen específico ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$) y actividad de agua. Estos resultados son observados en la Figura 2. En cuanto a peso del pan que tiene una relación importante con la pérdida de masa durante la cocción, esto es la pérdida de agua después de ser elaborado el pan. Estudios realizados por Verdú *et al.*, (2015) con harina de chía a diferentes porcentajes de sustitución (5, 10 y 15%) de harina de trigo obtuvieron una reducción en la pérdida de peso del pan al incrementar el grado de sustitución.

En nuestro estudio no se observó dicho comportamiento, contrario a esto se obtuvo un incremento mínimo (1.48 g) del peso del pan al utilizar HFA (250 μm) a un nivel de sustitución de 30%, con respecto al obtenido de HT (47.69 g). En cambio, al utilizar HFA (177 μm) al mismo nivel de sustitución de 30% se analizó una tendencia a disminuir (47.61 g) aunque muy cercano al obtenido en HT. En cambio, cuando fue analizado el volumen de pan, se obtuvo una disminución de este al incrementar el (%) de sustitución con HFA, esto fue más evidente cuando se realizó la sustitución al 30% con HFA de 250 μm (116.65 cm^3) con respecto al elaborado solo de HT (217.68 cm^3).

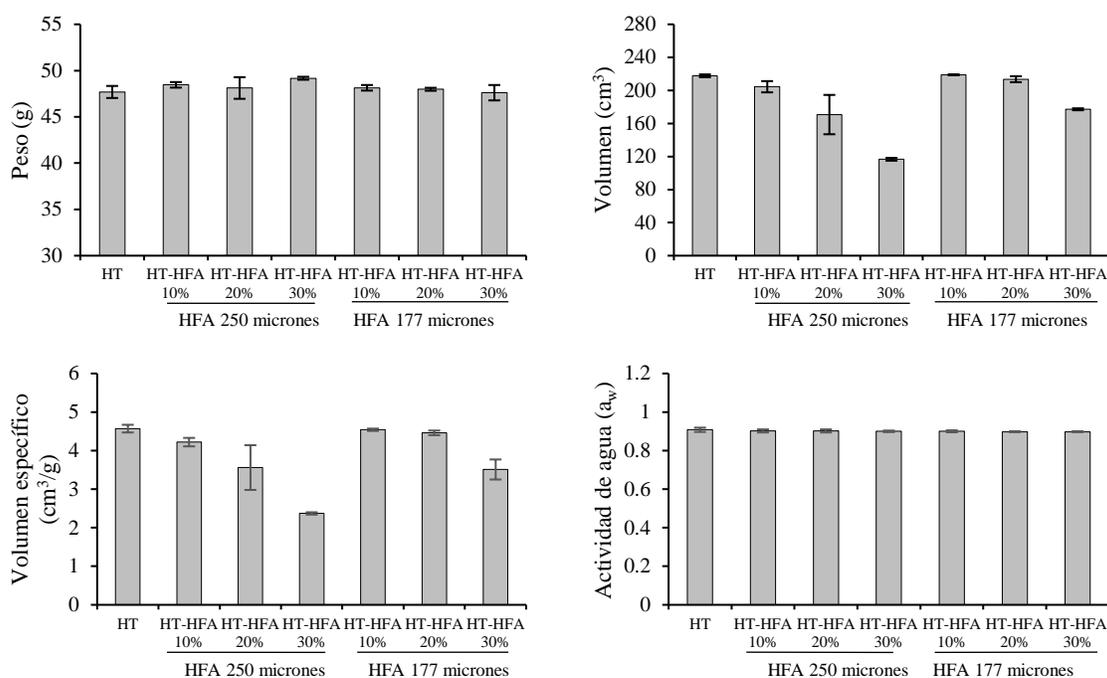


Figura 2. Peso (g), volumen (cm³), volumen específico (cm³ g⁻¹) y actividad de agua (a_w) del pan obtenido de harina de trigo (HT) y de las harinas sustituidas con harina de fibra de avena (HFA) en los diferentes porcentajes con diferente tamaño de partícula.

También se advirtió que cuando se utilizó HFA (177 μm) al 10 o 20% (218.88 y 213.56 cm³, respectivamente) en la sustitución de HT los valores obtenidos fueron muy parecidos a los de HT. Esto es posible de explicar cómo una dilución del gluten de la HT al incrementar el % de sustitución con HFA. El desarrollo óptimo del gluten es vital para el desarrollo del pan y la estructura de la miga, esto tiene una relación importante con el volumen específico del pan.

En lo que respecta al volumen específico, mejoras importantes fueron registradas cuando se utilizó HFA de 177 μm , el tamaño de partícula más pequeño favoreció las sustituciones al 10 o 20% de HT, observándose valores muy semejantes al obtenido de HT (4.57 cm³ g⁻¹). Este parámetro es influenciado por la calidad y cantidad de las proteínas capaces de formar un gluten de buenas características visco elásticas y masas con fuerza para encapsular el aire generado durante el proceso de fermentación.

Finalmente, en lo que respecta a la actividad de agua de los panes obtenidos de las diferentes mezclas, podemos decir que no se observaron cambios significativos, se alcanzaron valores de alrededor de 0.9, valor considerado como normal en panificación.

Este parámetro es importante mantenerlo debajo de 0.95 para evitar el rápido desarrollo de hongos y levaduras que podrían afectar la vida de anaquel del producto. Estudios realizados por Verdú *et al.* (2015) al elaborar pan con mezclas de harina de trigo y chía obtuvo valores mayores a los encontrados en nuestro estudio con rangos que van de 0.96 a 0.98.

Análisis de perfil de textura

El perfil de textura de los panes obtenidos se presenta en la Figura 3. Este análisis es una técnica que trata de utilizar bases comunes para los métodos subjetivos y objetivos empleados para estimar la calidad asociada a la palatabilidad/masticabilidad. Los panes con valores de firmeza más bajos o blandos fueron obtenidos cuando se utilizó HFA de 177 μm en la sustitución de HT en los 3 diferentes % de sustitución (4.86, 4.71 y 7.05 N, respectivamente), contrario a esto sucedió cuando se utilizó HFA de 250 μm , lo anterior fue evidente cuando la sustitución se dio al 30% (57.39 N).

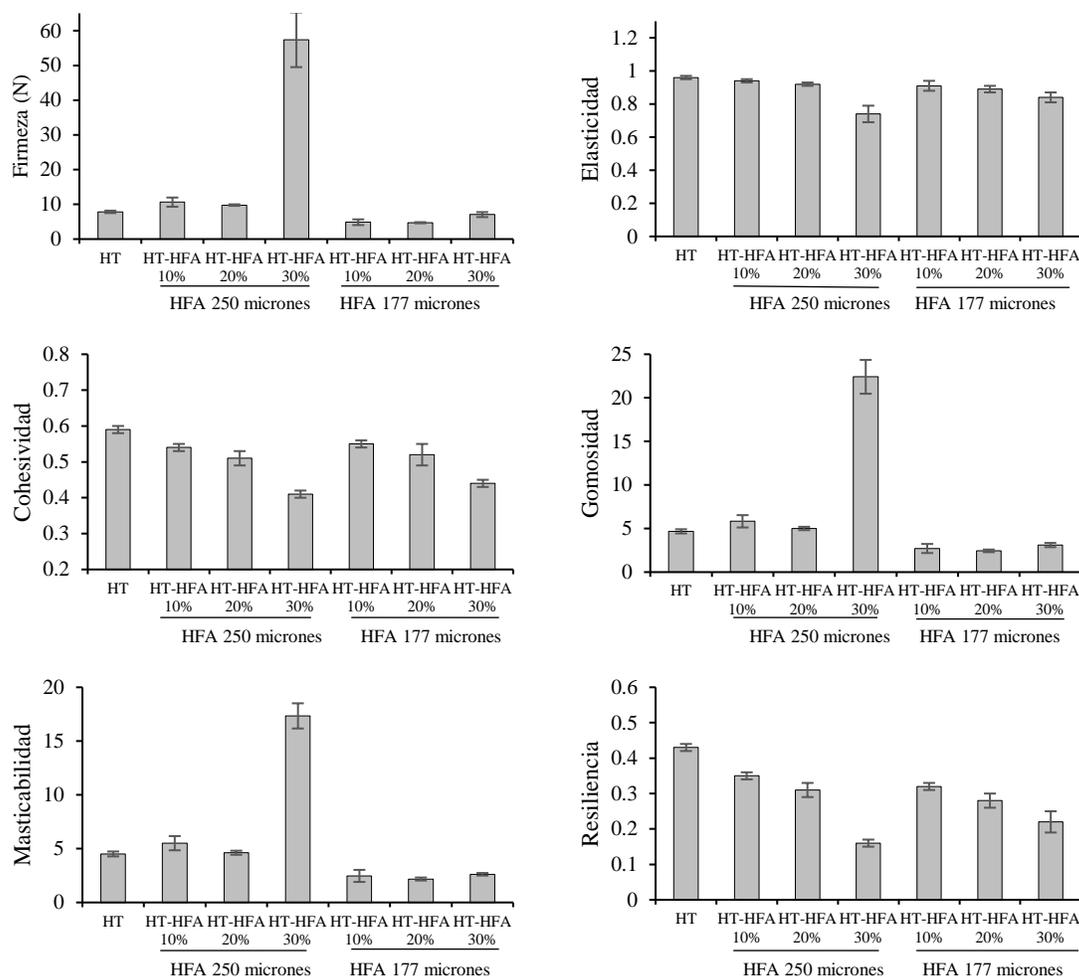


Figura 3. Perfil de textura del pan obtenido de harina de trigo (HT) y de las harinas sustituidas con harina de fibra de avena (HFA) en diferentes porcentajes con distinto tamaño de partícula.

Estudios realizados por Gianonne *et al.* (2016) relacionados con el envejecimiento de pan de trigo, observaron que altos valores de firmeza fueron atribuidos a una baja capacidad fermentativa junto con el bajo contenido de gluten y la excesiva tenacidad del gluten. En lo que respecta a elasticidad y cohesividad, estos parámetros mostraron una tendencia a disminuir a medida que aumentó el % de sustitución para los dos tamaños de partícula de HFA (250 y 177 μm).

Además, encontraron que la cohesividad del pan ésta relacionada con el grado de integración de los componentes de la harina en la matriz de la masa. En lo que se refiere a gomosidad y masticabilidad no mostraron diferencias significativas cuando se utilizó HFA (177 μm) en los tres (%) de sustitución, sin embargo, si se observó una tendencia a aumentar al incrementar el (%) de sustitución con HFA (250 μm), esto pudo ser apreciado de mejor manera cuando se utilizó al 30%, observándose valores de 22.41 y 17.34, muy por encima de los encontrados en HT (0.59 y 4.68, respectivamente) para estos mismos parámetros.

En cuanto a gomosidad, estudios realizados por Bhol y Bosco (2014), observaron efectos importantes en este parámetro con la influencia en la capacidad de absorción de agua y en variaciones en la composición química de la miga del pan. Con respecto a la masticabilidad, estudios realizados por López y Goldner (2015), observaron una relación importante con el nivel de deshidratación de la miga. A mayor deshidratación, las migas mostraron valores de masticabilidad más bajos. Finalmente, el parámetro de resiliencia mostró la misma tendencia que la cohesividad.

Se produjo una disminución al incrementar el (%) de sustitución para los dos tamaños de partícula (250 y 177 μm) de HFA utilizados en este estudio. Esta disminución fue más notable al utilizar HFA (250 μm) para sustituir HT en 30%. Estudios realizados por Vásquez (2016), observó este mismo comportamiento cuando en la elaboración del pan utilizó harina de avena, maíz o sorgo en la sustitución de harina de trigo.

Lo anterior tal vez relacionado con la disminución en la CRA de las mezclas de harinas al aumentar el (%) de sustitución de la HT. Estudios realizados por López y Goldner (2015) concluyeron que los parámetros relacionados con el perfil de textura en panificación están determinados por la calidad, variedad y composición química de las harinas involucradas en el proceso de panificación.

Conclusiones

La utilización de HFA de un tamaño de partícula más pequeño (177 μm) en la sustitución de HT al 10 o 20%, favoreció un mejor balance de fuerza y extensibilidad en las masas, consecuencia de esto fue la obtención de panes con volumen muy similar al elaborado solo de HT. También se obtuvieron panes más blandos cuando se utilizó este mismo tamaño de partícula de HFA en los tres % de sustitución, incluso mejoró al obtenido solo HT, sin importar que la CRA observada en estas mezclas de harinas haya sido menor a la cuantificada en harina de trigo.

Literatura citada

- AACC. 2000. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 11th Ed. The association, St. Paul, MN, USA. Method 10-10.03 Optimized straight-dough bread-baking, method 44-15.02 moisture-air-oven, method 46-13.01 crude protein-micro Kjeldhal, Method 54-40.02 Mixograph, Method 56-11.02 solvent retention capacity profile, method 76-21.02 General Pasting Rapid Visco Analyser.
- Baxter, G.; Blanchard, C. and Zhao, J. 2004. Effects of prolamin on the textural and pasting properties of rice flour starch. *J. Cereal Sci.* 3(40):205-211.

- Berton, B.; Scher, J.; Villieras, F. and Hardy, J. 2002. Measurement of hydration capacity of wheat flour: Influence of composition and physical characteristics. *Powder Technol.* 2(128):326-331.
- Bhol, S. and Don Bosco, S. 2014. Influence of malted finger millet and red kidney bean flour on quality characteristics of developed bread. *LWT-Food Sci. Technol.* 55(1):294-300.
- Chavan, J. K.; Kadam, S. S. and Ramka, R. N. 1993. Nutritional enrichment of bakery products by supplementation with nonwheat flours. *Critical Reviews Food Sci. Nutr.* 33(3):189-226.
- Giannone, V.; Lauro, M. R.; Spina, A.; Pasqualone, A.; Auditore, L.; Puglisi, I. and Puglisi, G. 2016. A novel α -amylase-lipase formulation as anti-staling agent in durum wheat bread. *LWT-Food Sci. Technol.* 65(2):381-389.
- Haynes, L. C.; Bettge, A. D. and Slade, L. 2009. Soft wheat and flour products methods review: Solvent retention capacity equation correction. *AACC International Report.* 4(54):174-175.
- Hidalgo, A.; Fongaro, L. and Brandolini, A. 2014. Wheat flour granulometry determines colour perception. *Food Res. Inter.* 64(10):363-370.
- Hüttner, E. K.; Dal Bello, F. and Arendt, E. K. 2010. Rheological properties and bread making performance of commercial wholegrain oat flours. *J. Cereal Sci.* 1(52):65-71.
- Islas, A. R.; MacRitchie, F.; Gandikota, S. and Hou, G. 2005. Relationships of protein composition and dough rheological measurements with breadmaking performance of wheat flours. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(3):243-251.
- Kieffer, R.; Wieser, H.; Henderson, M. H. and Graveland, A. 1998. Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale. *J. Cereal Sci.* 1(27):53-60.
- Lei, F.; Ji Chung, T.; Cai Ling, S. and Chun, L. 2008. RVA and farinograph properties study on blends of resistant starch and wheat flour. *Agric. Sci. China.* 7(7):812-822.
- López, E. P. and Goldner, M. C. 2015. Influence of storage time for the acceptability of bread formulated with lupine protein isolate and added brea gum. *LWT-Food Sci. Technol.* 64(2):1171-1178.
- Seibel, W. 2006. Composite flours. In *future of flour: a compendium of flour improvement*. Popper, L. (Ed.). Verlag AgriMedia. 193-198 pp.
- Serna-Saldívar, S. O. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT, Editor, SA. México, DF. 61-65 pp.
- Vásquez, F. 2016. Control y mejora de la panificación de masas bajas en harina de trigo. Universidad Politécnica de Valencia, España. Tesis de doctorado. 76-102 pp.
- Verdú, S.; Vásquez, F.; Ivorra, E.; Sánchez, A. J.; Barat, J. M. and Grau, R. 2015. Physicochemical effects of chía (*Salvia hispanica*) seed flour on each wheat bread-making process phase and product storage. *J. Cereal Sci.* 1(65):67-73.