



INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN INGENIERÍAS

Efectos del reemplazo parcial de harina de trigo con harina de banano verde sobre las propiedades reológicas de la masa y las propiedades de calidad de pan

Effect of partial replacement of wheat flour with green
banana flour on the rheological properties of dough and the
quality properties of bread

Gustavo Manjarres
Pinzon



Adriana Castro
Sanchez



Jesús Gil Gonzalez



Juan David
Lopez Ochoa



Eduardo Rodríguez
Sandoval



Corporacion Natural SIG

Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín

OPEN ACCESS

Recibido: 11/12/2023

Aceptado: 15/01/2024

Publicado: 18/03/2024

Correspondencia de
autores:

edrodriguez@unal.edu.co



Copyright 2024
by Investigación
e Innovación en
Ingenierías

Resumen

Objetivo: Evaluar la sustitución parcial de harina de trigo con harina de banano verde verificando las propiedades de calidad del pan molde. **Metodología:** Se caracterizó la harina de banano verde en sus propiedades fisicoquímicas, de empastamiento y composicionales. Se evaluaron las propiedades reológicas y farinográficas de las masas, y se determinaron las propiedades fisicoquímicas, texturales, de color y macroestructurales por análisis de imágenes de los panes con sustitución del 5%, 10% y 20% con harina de banano verde. **Resultados:** La harina de banano verde mostró un alto contenido de almidón y fibra dietaria con valores de 85.1 g/100 g y 8.6 g/100g, respectivamente. El incremento en el porcentaje de sustitución con harina de banano de rechazo resultó en mayores valores de G' y G'', y menor estabilidad en las masas con respecto al tratamiento control. No se observaron diferencias significativas en las propiedades fisicoquímicas de los panes con los diferentes tratamientos. A mayor sustitución de la harina de trigo por harina de banano (20%) se aumentó la firmeza de la miga, la dureza y la masticabilidad, y disminuyó su cohesividad y resiliencia. El color de la miga es más oscuro y con una tonalidad marcada a amarillo a medida que se aumenta la sustitución por harina de banano verde. **Conclusiones:** La sustitución de harina de trigo por harina de banano verde por encima del 10% puede presentar deficiencias en la calidad del pan molde, siendo más evidente en las propiedades texturales y de color.

Palabras clave: Sustitución de harina, harina de banano verde, reología, farinografo, textura.

Abstract

Objective: Evaluate the partial substitution of wheat flour with green banana flour, verifying the quality properties of bread. **Methodology:** Green banana flour was characterized in its physicochemical, pasting, and compositional properties. The rheological and farinographic properties of the doughs were evaluated, and the physicochemical, textural, color, and macrostructural properties by image analysis were determined on breads with 5%, 10%, and 20% replacement with green banana flour. **Results:** The green banana flour showed a high content of starch and dietary fiber with values of 85.1 g/100 g and 8.6 g/100g, respectively. The increase in the substitution percentage with green banana flour resulted in higher values of G' and G'', and less stability in the doughs with respect to the control treatment. No significant differences were observed in the physicochemical properties of the breads with the different treatments. The higher substitution of wheat flour by banana flour (20%), the crumb firmness, hardness, and chewiness increased, and its cohesiveness and resilience decreased. The crumb color was darker and with a marked yellow hue as the substitution for green banana flour increased. **Conclusions:** The wheat flour replacement by green banana flour at a level above 10% may present deficiencies in the quality of the loaf, being more evident in its textural and color properties.

Keywords: Flour replacement, green banana flour, rheology, farinograph, texture.

Como citar (IEEE): G. Manjarres Pinzon, A. Castro Sanchez, J. D. Lopez Ochoa, J. Gil Gonzalez, and E. Rodríguez Sandoval, "Efectos del reemplazo parcial de harina de trigo con harina de banano verde sobre las propiedades reológicas de la masa y las propiedades de calidad de pan," Investigación e Innovación en Ingenierías, vol. 12, no. 1, pp. 45-54, 2024, doi: <https://doi.org/10.17081/invinno.12.1.6573>.

Introducción

El banano es una fruta tropical con alto valor nutricional, y una de las dos frutas más consumidas a nivel mundial [1]. El banano Cavendish de exportación es sometido a un proceso de control de calidad intensivo, debido a esto el porcentaje de producto no apto para exportación denominado de “rechazo” suele ser alto (20% a 25%), generando así grandes cantidades de residuos [2]. El cultivar Cavendish en estado verde posee un alto valor nutricional gracias al contenido de almidón resistente, fibra dietética, compuestos fenólicos, flavonoides y carbohidratos no digeribles. Algunos estudios han reportado valores de compuestos fenólicos en esta materia prima de 907 y 232 mg/100 g de muestra seca en la cáscara y la pulpa, respectivamente [3]. Estas características nutricionales han convertido este producto en una materia prima con gran potencial, especialmente para la producción de harina, la cual puede ayudar a reducir el índice glicémico, la diabetes y prevención del cáncer de colon [1].

En los últimos años, uno de los focos en la industria de la panificación ha sido el de incorporar ingredientes ricos en compuestos fenólicos, fibra dietaria, proteínas, vitaminas, minerales y con actividad antioxidante, buscando además alternativas sensorialmente aceptables para el desarrollo de productos libres de gluten, los cuales son demandados, entre otros, por consumidores con enfermedades celíacas que sufren de diversas intolerancias al gluten. Recientemente, la harina producida a partir de banano verde ha atraído la atención por su valor nutricional, particularmente su alto contenido de almidones resistentes (40.9 a 58.5%), fibra dietaria (6.0 a 15.5%), y compuestos bioactivos tales como ácidos fenólicos [4].

El reemplazo de harina de trigo por harinas obtenidas a partir de frutas puede tener efectos positivos en la producción de diversos productos de panificación, que van desde mejoras en las características a nivel nutricional de los productos, hasta en las características estructurales de los mismos, esto debido a las diferencias en las propiedades tecno funcionales y contenido de compuestos bioactivos y nutricionales de estas harinas respecto a la harina de trigo. Sin embargo, el reemplazo de la harina de trigo en productos de panificación presenta retos debido a sus efectos sobre algunas de las características del producto final, tales como debilidad de las masas debido a la reducción o eliminación de gluten, dificultando su procesamiento, o efectos sobre el color, sabor o textura del producto terminado, lo que sugiere la necesidad de evaluar los efectos de la sustitución de harinas y así realizar los ajustes necesarios para garantizar la factibilidad del reemplazo a nivel productivo y la aceptabilidad del producto por parte del consumidor final. [5, 6, 7].

Debido a su estructura y composición, la harina de banano ha sido empleada en productos basados en cereales, principalmente en panes, pasta, confitería y productos libres de gluten [6]. Andrade et al. [8] evaluaron la sustitución parcial de harina de trigo por harina de banano verde en la elaboración de panes con buenos resultados sensoriales y de calidad para un nivel de sustitución del 15%.

El objetivo de este estudio fue determinar el potencial de la harina obtenida de banano verde (cv. Cavendish) de rechazo como reemplazante parcial de la harina de trigo en pan molde, evaluando sus efectos a nivel tecno funcional sobre las propiedades reológicas y farinográficas de las masas, así como las propiedades fisicoquímicas, reológicas, texturales, de color y macroestructurales de los panes.

Metodología

Materiales

La harina de trigo comercial (Molino 3 Castillos, Cartagena) se utilizó en la preparación de las muestras. La harina de banano verde fue proporcionada por la Universidad Nacional de Colombia (Medellín, Colombia); elaborada a partir de bananos verdes (cv. Cavendish) frescos, provenientes del corregimiento de Orihueca, Municipio de Zona Bananera (Magdalena, Colombia), a través de secado convectivo (55°C, 15h) hasta una humedad de 5 a 7% (bh). El azúcar, margarina, sal refinada, levadura seca instantánea (Instant Success, Lesaffre, Francia) y demás ingredientes fueron obtenidos de distribuidoras locales.

Caracterización de la harina de banano verde

La humedad de la harina fue evaluada con base en el método AOAC 925.10 [9]. Los valores de actividad de agua (aw) de las muestras se determinaron mediante un higrómetro de punto de rocío (AquaLab Serie 3TE, Decagon Devices, Inc., Pullman WA) [9]. Para la evaluación del pH y acidez de las muestras de harina se preparó inicialmente una solución acuosa. 100 mL de agua destilada fueron adicionados a una muestra de 10 g de harina, la mezcla obtenida se agitó a temperatura ambiente durante 30 min, se dejó reposar por 10 min y se extrajo el sobrenadante. Posteriormente, el pH fue determinado de acuerdo con el método AOAC 943.02 [9] mediante un potenciómetro (pH 211, HANNA Instruments, Italia).

Adicionalmente, 10 mL del sobrenadante fueron diluidos hasta 50 mL con agua destilada, y titulados con solución de NaOH 0.1 M bajo agitación constante y fenolftaleína como indicador. La acidez de la muestra se expresó como porcentaje de ácido málico [10]. La densidad aparente de la harina fue determinada por métodos gravimétricos [11].

La caracterización proximal de la harina de banano verde se enfocó en mediciones de almidón nativo [12], contenido de proteína cruda [12], cenizas [12], contenido de grasa [9], fibra dietaria total [9] y materias volátiles [12].

Las propiedades de empastamiento de la harina de banano verde (temperatura de empastamiento, viscosidad pico, breakdown, setback y viscosidad final) fueron medidas en un micro-visco amilógrafo (Brabender® GmbH & Co. KG, Duisburg, Alemania) [13].

Análisis reológico y farinográfico de las masas

Las pruebas reológicas para determinar el comportamiento viscoelástico de las masas de los panes fueron realizadas en un reómetro (Anton Paar, MCR 302, Austria), empleando una geometría de platos paralelos con diámetro de 25 mm y espacio de 2.0 mm. La región viscoelástica lineal (LVR) de la muestra fue determinada mediante un barrido de deformación (0.01-100 %) a una frecuencia fija de 0.5 Hz. Posteriormente, se seleccionó una deformación de 0.5%, y se realizó un barrido de frecuencia (0.01-100 rad/s) a esfuerzo constante. A partir de este barrido se obtuvieron las componentes viscoelásticas de la masa en función de la frecuencia angular (ω , rad/s), módulo de almacenamiento (G' , Pa) y módulo de pérdida (G'' , Pa) [14].

El comportamiento de las propiedades farinográficas de las masas elaboradas con cada tratamiento fue evaluado mediante un farinógrafo (Farinógrafo®-AT, Brabender® GmbH y Co. KG, Duisburg, Germany) conforme al método AACC 54-21 [15]. Las mezclas de harina fueron sometidas a una prueba de amasado de 40 min. El tiempo de desarrollo de las masas (TDM), la absorción de agua, la estabilidad de las masas, el número de calidad farinográfico (FQN), el drop off y el breakdown farinográfico fueron evaluados para cada tratamiento.

Elaboración de muestras de pan

En la elaboración de los panes se empleó una formulación con base de harina de trigo (100%) o harina de trigo sustituida, azúcar (8%), margarina (6%), levadura instantánea (1.5%), sal (2%) y un porcentaje de agua determinado según la capacidad de absorción de cada mezcla de harina. Se elaboraron 4 tratamientos variando el porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de banano verde así: un tratamiento control con harina de trigo (100%), y muestras con sustituciones del 5%, 10% y 20% de harina de trigo por harina de banano verde. Se utilizó el método esponja con un pre-fermento constituido por un 40% de la harina total de la formulación, a los cuales fueron añadidos el total de la levadura instantánea y un 40% de agua con base al 100% de la harina. Esta mezcla se dejó a 37°C durante 35 min. Posteriormente, el resto de los ingredientes secos fueron incorporados al pre-fermento y el agua restante fue añadida lentamente a la mezcla, la cual fue amasada por 10 min en una mezcladora (Artisan KSM150, KitchenAid, St Joseph, MI.) hasta alcanzar el desarrollo de la red de gluten. La masa obtenida fue formada y dispuesta en moldes de aluminio, los cuales fueron llevados a una cámara de fermentación por 45 min a 37°C, y luego horneado en un horno a gas (FO-4B, Guangzhou Youjia Machinery Co., China) a 180°C por 15 min. Después del horneado, los panes se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 60 min antes de ser empacados en bolsas de polipropileno y almacenados a temperatura ambiente para su posterior análisis.

Propiedades fisicoquímicas, texturales y color del pan

Las propiedades de calidad de los panes (altura, peso, volumen específico, rendimiento, actividad de agua, humedad, color, pH y acidez) fueron evaluadas [16]. La firmeza del pan se determinó por medio de un equipo de análisis de textura (TA-XT2i, Stable Micro Systems, Godalming, U.K.) equipado con una celda de 50 kg. Muestras cilíndricas de 25 mm de altura y 35 mm de diámetro, previamente cortadas de la zona central de los panes, fueron comprimidas en el equipo hasta un 40% de su altura inicial (10 mm) mediante un husillo cilíndrico de aluminio (SMS P/35). La firmeza de la miga fue determinada como el valor máximo de fuerza en N. Muestras cortadas con las mismas características fueron posteriormente sometidas a un análisis de perfil de textura (TPA) empleando un accesorio cilíndrico de 75 mm (SMS P/75). La prueba se realizó con una compresión del 60% (15 mm). La dureza (N), elasticidad, cohesividad, masticabilidad (N) y resiliencia del producto fueron evaluadas para cada tratamiento [16].

El color de los panes fue evaluado mediante un colorímetro (Chroma Meter CR-400/410, Konica Minolta Sensing Americas, Inc., NJ USA), en el espacio CIE Lab con iluminante D65 10°. Los valores de L^* (luminosidad), a^* (variación entre rojo y verde) y b^* (variación entre amarillo y azul) fueron tomados y en base a estos se calcularon h^* (tono), C^* (saturación), WI (Índice de blancura) y ΔE (diferencia total de color) de la miga del producto respecto al tratamiento control [16].

La estructura de la miga de los panes fue evaluada por análisis de imagen. Rodajas de 25 mm de la sección central del pan fueron cortadas y escaneadas a una resolución de 300dpi. Las imágenes obtenidas fueron convertidas a escala de grises y analizadas usando el software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD). El conteo de poros, el porcentaje de área de poro de la miga y el diámetro Feret fueron determinados para cada tratamiento [17].

Análisis estadístico

Para la evaluación de los resultados obtenidos, en las harinas, las masas y los panes molde, se empleó un análisis de varianza de una sola vía (tratamiento). El análisis estadístico se efectuó en el programa Minitab (Minitab Inc. EE. UU.) y las medias se analizaron con un test de Tukey, con un nivel de significancia de 0.05. Los datos se reportaron como la media \pm la desviación estándar.

Resultados

Caracterización de la harina de banano verde

Los resultados de las propiedades fisicoquímicas y de empastamiento de la harina de banano verde de rechazo son presentados en la Tabla 1. Las propiedades de humedad, y proteína fueron similares a los reportados por Aguirre-Cruz et al. [18]; sin embargo, el contenido de grasa fue mucho menor. Las harinas evaluadas mostraron contenidos de almidón superior a los reportados por otros autores, 58.01 g/100g a 68.74 g/100g en harina de banano verde de diferentes variedades [19], pero similares a los encontrados en harina de trigo (74 g/100g a 86.6 g/100g) [20]. De igual manera, el contenido de fibra dietaria de la harina superó al reportado por Thakaeng et al. [21] en harina de banano (7,11g / 100g), pero fue inferior al encontrado en harinas producidas a partir de cascara de banano (27.77g / 100g) [22]. Las propiedades de empastamiento de la harina dependen de múltiples factores, el tipo de procesamiento empleado para su obtención, el contenido de amilosa en la harina, así como del contenido de proteínas, lípidos y de la rigidez de los gránulos de almidón. Los valores encontrados en este estudio fueron similares a los reportados para harinas elaboradas a partir de plátanos de diversas variedades [23].

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica y bromatológica de la harina de banano verde

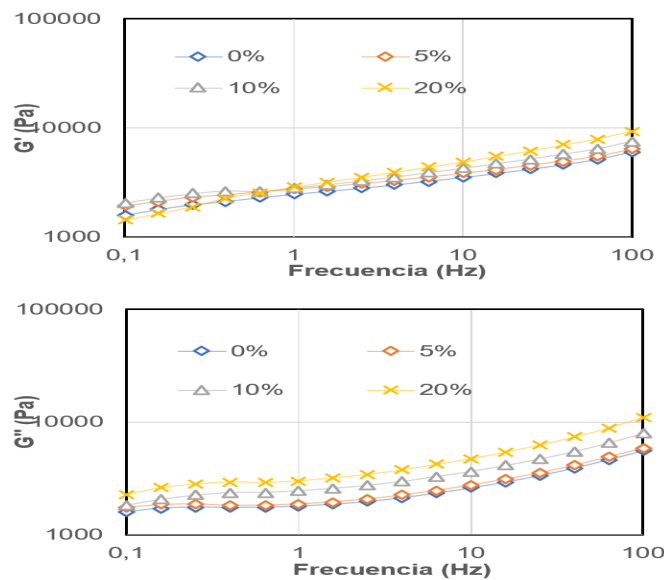
Característica	Resultado
Humedad (%)	6.91 \pm 0.92
aw	0.22 \pm 0.04
pH	5.37 \pm 0.15
Acidez (%)	0.17 \pm 0.04
Densidad aparente (g/mL)	0.52 \pm 0.03
Almidón nativo (g/100g)	85.10
Proteína cruda (g/100g)	4.70
Cenizas (g/100g)	3.27
Grasa (g/100g)	0.50
Fibra dietaria (g/100g)	8.60
Materiales volátiles (g/100g)	9.90
T empastamiento (°C)	78.19 \pm 4.80
Viscosidad de pico (BU)	117.00 \pm 11.10
Breakdown (BU)	9.60 \pm 7.72
Setback (BU)	21.53 \pm 8.80
Viscosidad final (BU)	139.73 \pm 14.36

Fuente: elaboración propia

Análisis reológico y farinográfico de las masas

La reología de una masa durante el tiempo posterior al mezclado puede verse afectada por varios factores, incluida la relajación de las tensiones inducidas durante el mezclado, la hidratación de los componentes de la harina y la redistribución del agua [24]. En la Figura 1 se presentan los resultados reológicos obtenidos para las masas elaboradas con diferentes niveles de reemplazo de harina de trigo por harina de banano. Todas las muestras evaluadas presentaron valores mayores del módulo elástico (G') en contraste con el módulo viscoso (G''). El módulo de almacenamiento (G'), representa la energía almacenada por el material durante un ciclo de deformación y se encuentra relacionado con el componente elástico del producto, mientras el módulo de pérdida (G''), mide la energía disipada como calor por ciclo y se relaciona con el componente viscoso del material [25], lo que se traduce en un mayor carácter sólido del producto. El incremento en el porcentaje de sustitución con harina de banano de rechazo resultó en mayores valores de G' y G'' respecto al tratamiento control (0%) (Figura 1). Un comportamiento semejante fue observado al evaluar el reemplazo de grasa por pastas de harinas extruidas y emulsificantes en masas de torta de harina de trigo [26], encontrando que, en cada uno de los niveles de reemplazo de grasas, G' y G'' aumentaron significativamente con la adición de emulsificante.

Figura 1. Análisis reológico de las masas con harina de banano de rechazo A) Módulo de almacenamiento B) Módulo de pérdida



Fuente: elaboración propia

Los resultados de las pruebas farinográficas se muestran en la Tabla 2. Mientras el tiempo de desarrollo de la masa se relaciona con el tiempo necesario para que la muestra alcance la máxima consistencia antes que el gluten comience a romperse, la estabilidad de las masas corresponde al tiempo durante el cual la masa permanece sin cambio durante el amasado. Estos parámetros son un buen indicador de la fuerza de la masa [27]. La estabilidad de las masas se redujo de manera significativa con respecto al reemplazo con harina de banano, posiblemente debido al debilitamiento de la red de gluten con menores cantidades de harina de trigo [16, 27]. La adición de agua necesaria para lograr una consistencia adecuada en las mezclas disminuyó con el aumento en la concentración de harina de banano. Comportamientos diferentes han sido reportados en otros estudios de sustitución de harinas; por ejemplo, con adición de harinas, fibra de yuca y germen de trigo se observaron incrementos significativos en la absorción de agua, mientras que no se encontraron diferencias significativas respecto a los resultados obtenidos con sólo harina de trigo. Este comportamiento se debe a una mayor cantidad de grupos hidroxilo disponibles para la formación de puentes de hidrogeno [16, 28]. Sin embargo, se reportó una menor absorción de agua a mayores porcentajes de sustitución de harina de castaña en harinas de trigo, debido a la disminución en las propiedades de la mezcla de harina relacionadas a la unión con las moléculas de agua y por tanto de la fuerza de la masa [29]. El número de calidad farinográfica (FQN) disminuyó con el incremento en el reemplazo de harina de banano, siendo los tratamientos 10% y 20% significativamente inferiores a los demás.

Tabla 2. Resultados farinográficos para muestras de mezclas de harina

	0%	5%	10%	20%
Tiempo desarrollo masa (min)	2.19±0.23a	1.88±0.22a	1.72±0.05a	1.81±0.06a
Absorción (%)	59.35±0.07a	59.30±0.00a	58.80±0.00b	57.45±0.07c
Estabilidad (Min)	19.28±0.15a	15.11±0.13b	13.69±0.06c	13.39±0.37c
FQN	208.00±2.83a	165.50±2.12b	149.00±0.00c	136.00±5.66c
Drop off (FE)	24.50±0.71c	54.00±1.41b	52.50±0.71b	62.50±3.54a
Breakdown (Min)	20.79±0.30a	16.56±0.20b	14.90±0.00c	13.60±0.59c

Fuente: elaboración propia

Propiedades fisicoquímicas y texturales del pan

Los resultados de las propiedades fisicoquímicas de los diferentes tratamientos son presentados en la Tabla 3. Se encontró un incremento significativo en el peso de los panes elaborados con reemplazo de harina de banano, dicho incremento podría estar relacionado a una mayor capacidad de absorción de agua de la harina de banano respecto a la harina de trigo, a pesar de esto, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en el rendimiento, el contenido de humedad, el volumen específico, la altura y la actividad de agua.

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas de panes

Tratamiento	0	5%	10%	20%
Rendimiento (%)	89.92±0.95a	90.45±0.50a	89.46±0.57a	90.61±1.30a
Vol. específico (mL/g)	6.34±0.27a	5.96±0.37a	5.78±0.21a	5.19±0.27a
Altura (mm)	80.99±2.51a	79.52±2.59a	80.56±8.10a	74.13±5.57a
aw	0.91±0.01a	0.92±0.01a	0.92±0.00a	0.92±0.00a
Humedad (%)	31.46±1.97a	30.50±0.96a	30.94±1.84a	31.15±0.18a
pH	5.25±0.06a	5.25±0.10a	5.23±0.06a	5.26±0.04a
Acidez (%)	0.15±0.02a	0.17±0.01a	0.20±0.03a	0.21±0.02a

Medias en la misma fila seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($P>0.05$)

Fuente: elaboración propia

Los resultados de firmeza y análisis de perfil de textura (TPA) para los panes molde se relacionan en la Tabla 4. La firmeza de los panes fue mayor para el tratamiento con 20% de harina de banano verde, y sin diferencias significativas para los demás niveles evaluados. El pan es una matriz porosa de aspecto sólido cuya calidad depende de múltiples factores. Se deben tener en cuenta las propiedades fisicoquímicas, tecnológicas, funcionales y nutricionales tanto del material vegetal como de los productos finales para describir adecuadamente la complejidad de los productos horneados [30]. La mayor sustitución de la harina de trigo por harina de banano (20%) tuvo un efecto perjudicial en la textura del pan, como una mayor dureza y masticabilidad [16]. Resultados similares se tuvieron con sustituciones de harina de banano verde en pan de trigo integral [8]. Mientras que los demás tratamientos no tuvieron diferencias significativas ($p<0,05$) en la firmeza de la miga, la dureza, la cohesividad, la resiliencia, y la masticabilidad (Tabla 4). El pan suplementado con harina de banano al 20 % tuvo una mayor elasticidad y menor cohesividad. Se debe destacar que sustituciones del 5% y 10% con harina de banano no afectan las propiedades texturales del pan. La dureza de la miga aumentó al aumentar la adición de harina de banano, lo que puede haber aumentado la viscosidad de la masa, el período de máxima formación y escape de gas y también puede haber disminuido la actividad proteolítica y amilolítica, la capacidad de retención de gas, la estabilidad de la masa y la estabilidad de la red proteica [31].

Tabla 4. Análisis de perfil de textura de panes.

Tratamiento	0%	5%	10%	20%
Firmeza (N)	1.62±0.04b	2.11±0.53ab	1.88±0.02b	3.11±0.19a
Dureza (N)	5.08±1.36b	6.53±0.29b	6.52±0.16b	10.96±0.14a
Elasticidad	0.92±0.01a	0.92±0.00a	0.92±0.01a	0.89±0.01a
Cohesividad	0.59±0.01a	0.59±0.02a	0.58±0.00a	0.51±0.00b
Resiliencia	0.23±0.01a	0.22±0.01a	0.22±0.01a	0.19±0.00b
Masticabilidad	2.78±0.67b	3.56±0.05b	3.47±0.12b	5.02±0.03a

Medias en la misma columna seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($P>0.05$).

Fuente: elaboración propia

Análisis de color e imagen del pan

Los parámetros de color de los panes son presentados en la Tabla 5. La tendencia de comportamiento en cuanto al color indica una disminución en la luminosidad (miga más oscura) a medida que se incrementa el contenido de harina de banano verde, comportamiento que se notó igualmente reflejado en el índice de blancura de los diferentes tratamientos. En general los panes presentaron valores positivos de a^* y b^* , indicando una tendencia a tonalidades rojizas y amarillas siendo esta última la dominante. Se logró observar una reducción significativa en la intensidad de los tonos amarillos (b^*) respecto a la adición de harina de banano, al igual que en el nivel de saturación del color de la miga del producto, lo cual representaría una tendencia hacia tonos más grisáceos. Los resultados obtenidos en el h^* de los productos indican un cambio hacia tonos más rojizos con el incremento de harina de banano. El parámetro ΔE fue calculado con respecto al tratamiento control (0%). Se encontró que los tratamientos 5%, 10% presentan diferencias levemente perceptibles respecto al control, mientras el tratamiento 20% presenta diferencias perceptibles a simple vista en comparación a los panes elaborados sin harina de banano [32] (Figura 2).

Tabla 5. Color de la miga de panes.

	0%	5%	10%	20%
L^*	80.41±0.35a	76.33±0.11b	72.69±0.61c	67.56±0.91d
a^*	0.41±0.20b	0.52±0.22b	0.77±0.16ab	1.29±0.03a
b^*	15.55±1.02a	12.51±0.76b	10.91±0.23b	10.02±0.24b
C^*	15.56±1.01a	12.52±0.75b	10.94±0.22b	10.10±0.24b
h^*	88.45±0.83a	87.61±1.16a	85.95±0.92ab	82.64±0.01b
WI	74.97±0.35a	73.22±0.26a	70.58±0.64b	66.03±0.94c
ΔE		5.09	9.01	14.02
Conteo de poros	3015.17±278.84a	2759.5±703.57a	2757.67±46.2a	3090.50±170.41a
Área de poro (%)	32.72±0.10a	34.28±1.51a	36.02±2.96a	36.01±0.21a
Diámetro Feret (mm)	0.42±0.00a	0.43±0.02a	0.40±0.02a	0.41±0.03a

Medias en la misma fila seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($P>0.05$).

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos con el análisis de imagen de la miga de los panes son presentados en la tabla 5, donde se evidencia la información cuantitativa obtenida por medio del análisis de imagen y las imágenes escaneadas de los diferentes tratamientos, respectivamente. Las diferentes muestras mostraron una estructura porosa debido a la expansión de las burbujas de gases durante el proceso de fermentación y horneado. No se encontraron diferencias significativas en el conteo

total de poros entre los tratamientos evaluados; sin embargo, esto posiblemente se debe a la alta desviación estándar de los resultados. De igual manera, el porcentaje de área de poro y el diámetro de Feret tampoco presentaron diferencias significativas, con valores de 35% y 0.4 mm, respectivamente.

Figura 2. Análisis de imagen de miga en panes molde. De izq a der. Tratamiento 0%, Tratamiento 5%, Tratamiento 10%, Tratamiento 20%.



Fuente: elaboración propia

Conclusiones

La harina de banano verde, caracterizada por un alto contenido de almidón y fibra dietaria, tiene un gran potencial para ser aplicado como sustituto parcial en productos elaborados con harina de trigo. A medida que aumenta la sustitución de harina de trigo por harina de banano verde se aumenta las características elásticas, y se disminuye la estabilidad y la calidad farinográfica de las masas empleadas para panificación. El porcentaje de sustitución aplicado no afecta las propiedades fisicoquímicas del pan molde; sin embargo, las características texturales se ven ampliamente afectadas con un nivel de sustitución del 20%, reportando los mayores valores de firmeza de la miga, dureza y masticabilidad del pan, y lo menores valores de cohesividad y resiliencia. Asimismo, a medida que se aumenta el contenido de harina de banano verde se disminuye la luminosidad y la blancura de la miga, y aumenta su tonalidad amarilla, siendo más perceptible la diferencia con las muestras que tuvieron un nivel de sustitución del 20%. Se concluye que un nivel adecuado de sustitución de harina de trigo por harina de banano verde que no afecte las propiedades de calidad de un pan molde es cercano al 10%. Se recomienda realizar estudios de análisis sensorial para verificar la aceptación del producto.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la Gobernación del Magdalena y Minciencias a través del Sistema General de Regalías (SGR) (BPIN 2020000100698) y proyecto código Hermes 51045.

Referencias bibliográficas

1. C. Martínez-Cardozo, G. Cayón-Salinas y G. Ligarreto-Moreno, "Composición química y distribución de materia seca del fruto en genotipos de plátano y banano", *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, vol 17, no 2, pp. 217 - 227, 2016. Disponible en línea: <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v17n2/v17n2a06.pdf>
2. A. M. Afanador, "El banano verde de rechazo en la producción de alcohol carburante", *Revista EIA*, vol 3, pp. 51 - 68, 2005. Disponible en línea: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372005000100005&lng=en&tlng=es

3. C. Choo, y N. Aziz, "Effects of banana flour and β -glucan on the nutritional and sensory evaluation of noodles", *Food Chemistry*, vol 119, no. 1, pp. 34-40, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.004>
4. T. B. Tribess, J. P. Hernández-Urbe, M. G. C. Mênendez-Montealvo, E. W. D. Menezes, L. A. Bello-Perez y C. C. Tadini, "Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendish*) produced at different drying conditions", *LWT-Food Science and Technology*, vol. 42, no. 5, pp. 1022 - 1025, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.12.01>
5. A. P. Q. Larrosa y D. M. Otero, "Flour made from fruit by-products: Characteristics, processing conditions, and applications", *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 45, no. 5, e15398, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.15398>
6. F. A. Mabogo, M. E. Mashau y S. E. Ramashia, "Effect of partial replacement of wheat flour with unripe banana flour on the functional, thermal, and physicochemical characteristics of flour and biscuits", *International Food Research Journal*, vol. 28, no. 1, pp. 138 - 147. 2021. DOI: <https://doi.org/10.47836/ifrj.28.1.14>
7. A. Saeid y M. Ahmed, "A Review on Effects of Pseudo Cereals Flour on Quality Properties of Biscuit, Cookies and Cake". In A. O. de Barros y I. Gouvinhas (Eds.), *Innovation in the Food Sector Through the Valorization of Food and Agro-Food By-Products*. IntechOpen. (2020). DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.94972>
8. B. A. Andrade, D. B. Perius, N. V. D., Mattos, M. D. M. Luvielmo y M. S. Mellado, "Produção de farinha de banana verde (*Musa spp.*) para aplicação em pão de trigo integral", *Brazilian Journal of Food Technology*, vol. 21, e2016055, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.5516>
9. AOAC. Official Method of analysis. Association of Official Analytical Chemist. 943.02, 925.10, 985.29, 978.18. 1997
10. S. Padhi y M.V. Dwivedi, "Physico-chemical, structural, functional and powder flow properties of unripe green banana flour after the application of refractance window drying", *Future Foods*, vol 5, 100101, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100101>
11. J. E. Ortega-Alvarado, "Estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de banana (*Musa acuminata* AAA) de rechazo en el desarrollo de películas biodegradables", Thesis Bachelor, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería en Alimentos, Ambato, Ecuador, 2016. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22874/1/AL599.pdf>
12. ISO - International Standards Organization. Methodology. ISO 10520, ISO 5983, ISO 5984, ISO 6496, 2017
13. J. A. Figueroa-Flórez, E. M. Cadena-Chamorro, E. Rodríguez-Sandoval, J.G. Salcedo Mendoza, H.J. Ciro Velásquez, "Cassava starches modified by enzymatic biocatalysis: Effect of reaction time and drying method", *Revista DYNA*, vol 86, no. 208, pp. 162 - 170, 2019. DOI: <http://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.72976>
14. Y.Y. Feng, T.H. Mu, M. M. Zhang, M. Meng, "Effects of different polysaccharides and proteins on dough rheological properties, texture, structure and in vitro starch digestibility of wet sweet potato vermicelli", *International Journal of Biological Macromolecules*, vol 148, pp 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.225>
15. AACC (American Association of Cereal Chemists). *Approved Methods of Analysis*, 10th ed. Methods 54-21. American Association of Cereal Chemists. AACC International, St Paul, MN, USA. 2000.
16. E. Rodríguez-Sandoval, L. Polanía-Gaviria, G. Lorenzo, "Effect of dried cassava bagasse on the baking properties of composite wheat bread", *Journal of Texture Studies*, vol. 48, no. 1, pp. 76 - 84, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/jtxs.12212>
17. H. A. Rathnayake, S. Navaratne y C. Navaratne, "Improving porous crumb structure of rice-related leavened food products by fermentation and gelatinization at slightly higher air pressure conditions", *Journal of Texture Studies*, vol. 50, no. 6, pp. 564-570, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/jtxs.12465>
18. Aguirre-Cruz, A. Alvarez-Castillo, H. Yee-Madeira y L. A. Bello-Pérez, "Production of fiber-rich powder by the acid treatment of unripe banana flour", *Journal of Applied Polymer Science*, vol.109, no. 1, pp. 382-387, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.28095>
19. H. J., Liao, y C. C. Hung, "Chemical composition and in vitro starch digestibility of green banana (cv. Giant Cavendish) flour and its derived autoclaved/debranched poder", *LWT-Food Science and Technology*, vol. 64, no. 2, pp. 639-644, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.058>
20. B. Berton, J. Scher, F. Villieras y J. Hardy, "Measurement of hydration capacity of wheat flour: influence of composition and physical characteristics", *Powder Technology*, vol. 128, no. 2-3, pp. 326-331, (2002). DOI:[https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(02\)00168-7](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(02)00168-7)
21. P. Thakaeng, T. Boonloom y S. Rawdkuen, "Physicochemical properties of bread partially substituted with unripe green banana (*Cavendish spp.*) flour", *Molecules*, vol. 26, no. 7, 2070, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26072070>
22. L. M. G. E. da Silva, A. Rezende, H. Valadão, K. D. T. C. Muller y L. F. de Lara, "Development, bromatological and sensory evaluation between flours prepared from pineapple fruit peels (*Ananas Comosus*) and banana (*Musa Ssp*)" *Brazilian Journal of Development*, vol. 7, no. 9, pp. 92300-92318, 2021. Disponible en: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/36369>

23. C. Tortoe, P-N Johnson y A. I. Nyarko, "Effects of osmo-dehydration, blanching and semi-ripening on the viscoelastic, water activity and colorimetry properties of flour from three cultivars of plantain (*Musa AAB*)", *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 10, pp. 82–86, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.08.003>
24. S. Punia, A. K. Siroha, K. S. Sandhu y M. Kaur, "Rheological and pasting behavior of OSA modified mungbean starches and its utilization in cake formulation as fat replacer", *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 128, pp. 230 – 236, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.107>
25. E. Rodríguez Sandoval, A. Fernández Quintero, A. Ayala Aponte, "Reología y textura de masas: Aplicaciones en trigo y maíz", *Ingeniería e Investigación*, vol. 25, no. 1, pp. 72–78, 2005. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/643/64325110.pdf>
26. L. Román, I. Santos, M. Martínez y M. Gómez. "Effect of extruded wheat flour as a fat replacer on batter characteristics and cake quality", *Journal of Food Science and Technology*, vol 52, no. 12, pp. 8188–8195, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/S13197-015-1909-X>
27. C. Nindjin, G. N. Amani y M. Sindic, "Effect of blend levels on composite wheat doughs performance made from yam and cassava native starches and bread quality", *Carbohydrate Polymers*, vol. 86, no. 4, pp. 1637–1645, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.076>
28. R. Sun, Z. Zhang, X. Hu, Q. Xing y W. Zhuo, "Effect of wheat germ flour addition on wheat flour, dough and Chinese steamed bread properties", *Journal of Cereal Science*, vol. 64, no. 153-158, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.04.011>
29. R. Krishnaiya, C. Kasar y S. Gupta, "Influence of water chestnut (*Trapa natans*) on chemical, rheological, sensory and nutritional characteristics of muffins", *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 10, pp. 210-219, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11694-015-9295-7>
30. A. Angioloni y C. Collar, "Physicochemical and nutritional properties of reduced-caloric density high-fibre breads", *LWT Food Science and Technology*, vol. 44, pp. 747–758, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.09.00>
31. K. Kaack, L. Pedersen, H. N. Laerke y A. Meyer, "New potato fibre for improvement of texture and colour of wheat bread", *European Food Research and Technolog*, vol. 224, pp. 199–207, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0301-5>
32. D. Goswami, R.K. Gupta, D. Mridula, M. Sharma, S.K. Tyagi, "Barnyard millet based muffins: physical, textural and sensory properties", *LWT Food Science and Technology*, vol. 64, no. 1, pp. 374–380, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.060>