Transformación y agroindustria

Artículo de investigación científica y tecnológica

Textura, color y aceptación sensorial de tortillas y pan producidos con harina de ramón (*Brosimum alicastrum*) para incrementar la fibra dietética total

Texture, color and sensory acceptance of tortilla and bread elaborated with Maya nut (*Brosimim alicastrum*) flour to increase total dietary fiber

Pedro Antonio Domínguez Zárate,[1*] Ignacio García Martínez,[2] Norma Güemes-Vera,[3] Alfonso Totosaus[4]

[1] Profesor asociado, Instituto Tecnológico Superior de Cintalapa, División de Ingeniería en Industrias Agroalimentarias. Cintalapa, México. Correo: pantonio_2205@hotmail.com. Orcid: https://orcid.org/0000-0002-4562-6336
[2] Profesor-investigador, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, División de Ingeniería Química y Bioquímica, Ecatepec de Morelos, México. Correo: dr_igm@yahoo.com.mx. Orcid: https://orcid.org/0000-0003-3582-0642
[3] Profesora-investigadora, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias. Tulancingo, México. Correo: njgv2002@yahoo.com.mx. Orcid: https://orcid.org/0000-0003-4754-4331
[4] Profesor-investigador, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, División de Ingeniería Química y Bioquímica. Ecatepec de Morelos, México. Correo: atotosaus@tese.edu.mx. Orcid: https://orcid.org/0000-0003-1965-9510

Editor temático: Catarina Pedro Pássaro Carvalho (Centro de Comercio SENA Regional Antioquia)

Fecha de recepción: 13/02/2019
Fecha de aprobación: 07/06/2019

Para citar este artículo: Domínguez Zárate, P. A., García Martínez, I., Güemes-Vera, N., Totosaus, A. (2019). Textura, color y aceptación sensorial de tortillas y pan producidos con harina de ramón (*Brosimum alicastrum*) para incrementar la fibra dietética total. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *20*(3), 699-719

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1590

Esta licencia permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de la obra de modo no comercial, siempre y cuando se dé el crédito y se licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

* Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Av. Tecnológico S/N, 55210 Ecatepec de Morelos, Méx., México

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Resumen

Dentro de los cultivos ancestrales subutilizados que tienen un potencial agroindustrial está el ramón (*Brosimum alicastrum*), ya que su semilla es fuente de proteína, almidón y fibra. En este trabajo se investigó el efecto de incorporar harina de semilla de ramón en diferentes proporciones, evaluando su efecto sobre la textura, el color, la aceptación y el contenido de fibra dietética total de tortillas y de pan de caja. Las masas de harina de maíz aumentaron su adhesividad al incorporar harina de semilla de ramón (de 3,97 a 4,96 N), además de resultar menos duras, pero más cohesivas. Las tortillas fueron a su vez más dúctiles al ser más deformables (de 3,73 a 4,84 N). Las menores diferencias de color con respecto al control fueron observadas al incorporar 10 % de harina de semilla de ramón ($\Delta E = 7{,}77$ y 22,95 para tortilla y pan de caja, respectivamente). El contenido de fibra dietética total aumentó en un 26 % en tortillas y 54 % en pan de caja al utilizar 10 % de harina de semilla de ramón. En contraste, para el pan de caja sí hubo diferencias detectables por los consumidores, sobre todo en el color desarrollado. Los resultados indican que se puede utilizar un 10 % de harina de ramón en tortillas o panes sin afectar las propiedades de textura; además, a pesar de los cambios en la coloración, no son considerados importantes por los consumidores, y su uso incrementa el contenido de fibra dietética total.

Palabras clave: coloración, estructura, fibra, maíz, trigo.

Abstract

Among ancestral underutilized crop species of high agroindustrial potential, the Maya nut (*Brosimum alicastrum*) is a source of protein, starch, and fiber. In this study, the effect of incorporating different proportions of Maya nut flour on the texture, color, acceptance, and total dietetic fiber of tortillas and white bread was assessed. Maize flour dough adhesiveness increased when Maya nut flour was incorporated (from 3.97 to 4.96 N), obtaining less hard but more cohesive doughs. Tortillas were more ductile, so they were more deformable (from 3.73 N to 4.84 N). Lower color differences were observed when 10% of Maya nut flour was employed ($\Delta E = 7.77$ and 22.95 for tortilla and bread, respectively). Total dietary fiber content increased by 26 % in tortillas and 54 % in bread when 10 % Maya nut flour was incorporated. In contrast, detectable differences were observed by consumers in bread, especially regarding color development. Results indicate that 10 % of the Maya nut flour can be employed in tortillas and bread without affecting the texture properties; and despite changes in coloration, these were not considered important by consumers, and its use increases the total dietary fiber content. Replacement of the wheat flour with the Maya nut flour affected the texture of the bread to a greater extent due to the weakening of the gluten network, resulting in a harder texture and smaller crumb size, but with the improvement in the dietary fiber content.

Keywords: coloration, fiber, maize, structure, wheat

Introducción

El maíz *Zea mays* L. (Poaceae) y el ramón *Brosimum alicastrum* Sw. (Moraceae) fueron en tiempos ancestrales las principales fuentes de alimentación de la población maya, quienes cultivaron extensivamente el árbol de ramón y lo utilizaron como parte de su dieta diaria (Ortiz, Azañon, Melgar, & Ellias, 1995; Peters & Pardo-Tejeda, 1982). El ramón es un cultivo subutilizado de alto valor nutricional, que puede mejorar la seguridad alimentaria al proveer un medio de subsistencia a la comunidad, ya que disminuye los riesgos de pérdidas por cambios ambientales, fluctuaciones en el precio, o enfermedades, además de promover la agricultura sustentable al reducir la necesidad de agua o combustibles y, sobre todo, por la preservación y celebración de la diversidad cultural (Lander & Monro, 2015). El uso de especies subutilizadas como el ramón es limitado por la falta de conocimiento sobre su manejo y forma de preparación para el consumo (Sánchez, Muschler, Prins, Solano, & Astorga, 2014). Las semillas de ramón hervidas o tostadas son comestibles, y se comen solas o con maíz, miel o plátano, o en forma de bebidas fermentadas o calientes como el atole. Tostadas y molidas, las semillas se usan como sustituto de café; además, de las semillas molidas se hace una harina negra usada para confeccionar pan o tortillas (figura 1). La semilla de ramón es de alta digestibilidad, con un considerable contenido de taninos y de fibra (Castro-González, Alayón-Gamboa, Ayala-Burgos, & Ramírez-Avilés, 2008), lo que la hace una fuente de ingredientes funcionales, como la fibra dietética y los antioxidantes.

Recientemente, la semilla del árbol de ramón ha cobrado importancia comercial por dos razones: primero, como una alternativa para la seguridad alimentaria, debido a sus propiedades nutricionales (Ramírez-Sánchez et al., 2017) y, segundo, para la obtención de bioetanol (Olguín-Maciel et al., 2017). El almidón de semilla de ramón se ha propuesto como ingrediente alimentario, así como para la fabricación de materiales biodegradables (Pérez-Pacheco et al., 2014) y para la producción de materiales termoplásticos (Ríos-Soberanis et al., 2016), además de poder utilizarse como excipiente en la formulación de tabletas en la industria farmacéutica (Moo-Huchin et al., 2015). La oxidación del almidón de semilla de ramón resultó en un gel más claro, lo que potencializa su aplicación industrial (Pérez-Pacheco et al., 2016). Del mismo modo, la semilla contiene una importante cantidad de compuestos fenólicos (ácido gálico, ácido clorogénico y ácido vainílico) con actividad antioxidante (Moo-Huchin, Canto-Pinto, Cuevas-Glory, Sauri-Duch, & Pérez-Pacheco, 2019).

Un problema con los productos industrializados como la tortilla y el pan es que el proceso de elaboración implica la transformación y refinamiento de maíz y trigo, respectivamente, modificando su composición química y nutricional, con la correspondiente disminución o remoción de la fibra dietética como factor destacado de consideración en la compensación de las propiedades nutricionales de los alimentos. La fibra tiene un papel fisiológico y nutricional muy importante en la dieta humana, pues comprende una amplia variedad de compuestos químicos con diferentes características físicas. Cada fuente de fibra dietética tiene propiedades intrínsecas que se basan en su composición y propiedades químicas, que a su vez determinan las propiedades biológicas y fermentativas de las bacterias intestinales, directamente a través de la regulación catabólica e indirectamente a través de cambios físicos en el medio ambiente del tracto gastrointestinal (Lewis, Hall, & Van Soest, 2001).

La fibra dietética en el maíz consiste principalmente de celulosa, hemicelulosa y β-glucanos, muchos de los cuales se pierden durante el proceso de nixtamalización por la remoción del pericarpio. La intensidad del proceso de nixtamalización afecta la concentración y composición de los diferentes componentes de la fibra, así como sus propiedades nutricionales. El proceso de convertir el maíz en masa o harina disminuye la fibra insoluble e incrementa la fibra soluble, en la que el hidróxido de calcio utilizado y el proceso térmico hidrolizan la fibra insoluble, que aumenta después durante el cocimiento por la pérdida de humedad (Serna-Saldivar, 2015).

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Figura 1. Semilla de ramón y sus usos en alimentos tradicionales. a. Semilla de ramón recién recolectada; b. Semilla de ramón seca; c. Atole con harina de semilla de ramón; d. Tortillas hechas a mano con harina de ramón.
Fuente: Elaboración propia

Como el pan llega a gran parte de la población y es muy aceptado, puede ser utilizado como acarreador de compuestos bioactivos u otros componentes nutricionales importantes, de modo que otras harinas (derivadas de semillas, frutas, legumbres, raíces o tubérculos) pueden ser consideradas como materia prima no convencional en su elaboración (Sehn, Nogueira, & Steel, 2016). La fortificación del pan con diferentes tipos de nutrientes es una tendencia común que se espera crezca en el futuro. En algunos países la suplementación con fibra dietética es de particular importancia debido a la poca fibra dietética que se consume, a pesar del incremento en el conocimiento acerca de su valor (Fechner, Scweiggert, Hasenkopf, & Jahreis, 2011).

Es importante para la agroindustria proponer semillas subutilizadas como fuentes alternativas de ingredientes para la fortificación de alimentos procesados, aprovechando el conocimiento ancestral de su uso como alimento. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la incorporación de diferentes proporciones de harina de semilla de ramón, reemplazando harina de maíz en tortillas y harina de trigo en pan de caja (pan blanco), sobre las propiedades de textura instrumental, color y aceptación sensorial, con el fin de incrementar el contenido de fibra dietética total.

Materiales y métodos

Materias primas y elaboración de tortillas y pan de caja

Las tortillas se elaboraron con harina de maíz nixtamalizada marca Hari-MASA® (Hari MASA S. A., Santa

Catarina, N. L., México). Los panes de caja se elaboraron con harina de trigo marca Selecta® (Molinera de México, S. A., Guadalupe, N. L., México). La harina de ramón Maya Óox® se adquirió de la Sociedad de Producción Rural Kishur (Chocholá, Yucatán, México). Se uso la harina de ramón para reemplazar diferentes proporciones de harina de maíz o de trigo en la elaboración de tortillas o pan de caja, respectivamente (0:100 —como control—, 10:90, 20:80 y 30:70), en base seca.

Para la elaboración de las tortillas de maíz, las mezclas de harinas se hidrataron con agua a un contenido de humedad del 60 %. Se amasó manualmente hasta la completa hidratación de las mezclas de harina formando una masa homogénea; estas fueron almacenadas en bolsas de polietileno con cierre hermético y en refrigeración hasta su uso dentro de las 24 h siguientes. Las masas de las diferentes mezclas fueron utilizadas para elaborar tortillas con una máquina tortilladora manual marca Monarca TT1 (Inmeza, S. A, Tlaquepaque, Jalisco, México), equipada con un cilindro de corte de 135 mm a un espesor de 2,0-2,3 mm. Las tortillas fueron cocidas en un comal de acero calentado a 290 ± 20 °C, volteándolas después de aproximadamente 30 s para un cocimiento uniforme. Las tortillas cocidas fueron guardadas en bolsas de polietileno con cierre hermético hasta su posterior análisis. Se elaboró un total de tres lotes de 1 kg de masa para cada uno de los diferentes tratamientos (0:100, 10:90, 20:80 y 30:70 de harina de semilla de ramón: harina de maíz).

Para la elaboración de pan de caja, a las diferentes mezclas de harinas se les incorporó sal (1,2 %), levadura (1,2 %), azúcar (0,4 %), manteca vegetal (4,6 %) y agua (35 %). El proceso de amasado manual fue de 30 min dejando reposar por 40 min para que la masa fermentara. La masa fue otra vez amasada para eliminar el gas producido, y dividida y colocada en moldes para su cocimiento a 200 °C durante 40 min. Los moldes con los panes se enfriaron a temperatura ambiente, se desmoldaron y se guardaron en bolsas de polietileno hasta su posterior análisis. Se elaboró un total de tres lotes de 1 kg de masa para cada uno de los diferentes tratamientos (0:100, 10:90, 20:80 y 30:70 de harina de semilla de ramón: harina de trigo).

Textura instrumental de masas y tortillas y pan de caja

La textura de las masas para tortillas de maíz y pan de caja con diferentes proporciones de harina de ramón se determinó por pruebas de compresión y de penetración. Para la prueba de compresión, se llevó a cabo un análisis del perfil de textura de las masas crudas de las diferentes mezclas. 50 g de masa fueron moldeados en forma esférica y comprimidos con una celda de acrílico de 4 cm de diámetro, en dos ciclos consecutivos en un equipo analizador de textura Brookfield LFRA 4500 (Brookfield Engineering Laboratories, Middleboro, N. J., EE. UU.). De las curvas *fuerza-tiempo* se determinaron los parámetros texturales de la siguiente manera: dureza (fuerza necesaria para alcanzar una deformación), cohesividad (fuerza de uniones internas que proporcionan el cuerpo a la muestra), adhesividad (trabajo necesario para superar las fuerzas atractivas entre la superficie del alimento y la superficie de otro), y resorteo (relación en la que un material deformado regresa a su condición original después de que la fuerza de deformación es removida), de acuerdo con lo reportado por Szczesniak (1963) y Bourne (1978). Para la prueba de penetración, 50 g de masa moldeada en forma de cilindro (5,0 cm de diámetro por 2,0 cm de altura, aproximadamente) fueron penetrados con una sonda esférica de 1,27 cm de diámetro, a una velocidad de 1 mm/s, hasta una profundidad de 18 mm, en el mismo texturómetro. Se calculó de las curvas *fuerza-tiempo* la firmeza (fuerza máxima detectada durante la penetración) y la fuerza de adhesión (fuerza máxima detectada al retirar la sonda de la muestra) (Flores-Farías et al., 2000). Todos los análisis se llevaron a cabo por quintuplicado para cada tratamiento.

Las propiedades texturales de las tortillas elaboradas con las diferentes masas se determinaron mediante

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

la prueba de punción, de acuerdo con el método descrito por Sobral, Menegalli, Hubinger y Roques (2001). La tortilla fue fijada en una celda de acrílico con una cámara de 52,4 mm de diámetro y perforada en el centro con una sonda esférica de 1,27 cm de diámetro a una velocidad de 1 mm/s en el mismo texturómetro, hasta una distancia de 25 mm para su rompimiento. De las gráficas *fuerza-deformación* se calculó la fuerza de deformación (fuerza máxima detectada en el punto de rompimiento) y el porcentaje de deformación se calculó utilizando, por una parte, la distancia recorrida por la sonda hasta el punto de rompimiento y, por otra, el radio de la cámara de la celda como valores de los catetos del teorema de Pitágoras. Para determinar la capacidad de deformación de las tortillas, se calculó el porcentaje de deformación (hipotenusa), llevando a cabo cinco réplicas de cada tratamiento, considerando el radio como la longitud original, con la ecuación 1:

Ecuación 1

$$\%\text{Deformación} = \frac{\sqrt{\text{Distancia recorrida}^2 + \text{radio}^2}}{\text{radio}} \times 100$$

La textura del pan de caja se determinó de acuerdo con las condiciones reportadas por Gámbaro, Varela y Giménez (2002), mediante un análisis del perfil de textura. Se llevó a cabo la prueba utilizando dos rebanadas de pan (15,0 ± 1,0 mm) cortadas del centro de la hogaza para ser comprimidas (40 %) en dos ciclos consecutivos con un periodo de reposo de 5 s a una velocidad de 1 mm/s, por medio de una sonda de acrílico de 40 mm de diámetro adaptada al mismo texturómetro. De las curvas *fuerza-tiempo* se determinó la dureza (fuerza necesaria para alcanzar una deformación), la cohesividad (fuerza de uniones internas que proporcionan el cuerpo a la muestra), el resorteo (relación en la que un material deformado regresa a su condición original después de que la fuerza de deformación es removida) y la masticabilidad (energía requerida para masticar el alimento para ser deglutido) (Bourne, 1978; Szczesniak, 1963). Todos los análisis se llevaron a cabo por quintuplicado para cada tratamiento.

Calidad de miga y volumen del pan de caja

La calidad de miga se determinó por análisis de imagen. Rebanadas del centro de la hogaza fueron escaneadas a 600 DPI en un escáner HP Photosmart Plus B210 (HP Inc., Palo Alto, California, EE. UU). El análisis se llevó a cabo en un área de muestra de 64×64 mm, tomada del centro de la imagen. La imagen se analizó con el *software* Digimizer Image Analysis (MedCalc Software, Mariakerke, Bélgica), calculando el número total de celdas, el número de celdas menores a 4 mm2, el área total de las celdas, el número de celdas por centímetro cuadrado y la relación de área de celdas entre el área total, de acuerdo con lo reportado por Paraskevopoulou, Provatidou, Tsotsiou y Kiosseoglou (2010). El volumen del pan se determinó por el método de desplazamiento de semilla de linaza de la American Association of Cereal Chemists (AACC, 2014) por triplicado para cada tratamiento.

Color instrumental

El color instrumental se determinó en coordenadas CIE-Lab, utilizando la aplicación Color Analysis para Android O.S. (Research Lab Tools, São Paulo, Brasil). Los estándares de CIE de la aplicación fueron una Iluminante de D65, que corresponde a la iluminación de luz de día, y una función del ángulo del observador de 2°. Los resultados son el promedio de las lecturas al rotar 90° cada una cada una de las muestras. De los valores de CIE-Lab se calcularon el ángulo de tono (H) y el índice de saturación (S), de acuerdo con lo descrito por Little (1975), con las ecuaciones 2 y 3:

Ecuación 2

$$\text{Ángulo de tono (H)} = \text{Tan}^{-1}\frac{b^*}{a^*}$$

Ecuación 3

$$\text{Índice de saturación (S)} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

La diferencia total de color se calculó de acuerdo con la ecuación 4 (Sivam, Sun-Waterhouse, Waterhouse, Quek, & Perera, 2011):

Ecuación 4

$$\text{Diferencia de color } (\Delta E) = \sqrt{(L^*_{0:100} - L^*)^2 + (a^*_{0:100} - a^*)^2 + (b^*_{0:100} - b^*)^2}$$

Los resultados son los datos de al menos cinco réplicas de cada tratamiento.

Contenido de fibra dietética total

El contenido de fibra dietética total se llevó a cabo por el método oficial de prueba 992.16 de la Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 1999), utilizando el kit de ensayo para fibra dietética total TDF100A-1KT (Sigma-Aldrich, Saint Louis, Misuri, EE. UU.). La muestra de cada uno de los tratamientos de tortillas y pan de caja (1 g) se sometió a digestión enzimática con α-amilasa, proteasa y amiloglucosidasa. Se filtró y se lavó con agua destilada a 80 °C. Esta solución fue precipitada con etanol al 95 %, se filtró y se secó para pesar el residuo, corrigiendo el cálculo final restando el contenido de proteína (como nitrógeno total por el método de Kjeldahl), cenizas y el blanco. Este análisis se llevó a cabo por duplicado para cada uno de los tratamientos tanto de pan como de tortilla.

Aceptación sensorial

Se llevó a cabo una prueba de aceptación sensorial con potenciales consumidores de tortilla y pan de caja. Se utilizó una escala hedónica de 10 cm de largo con un ancla al extremo izquierdo marcada como "me disgusta bastante", y un ancla al extremo derecho marcada como "me gusta bastante". Un total de 40 participantes fueron reclutados voluntariamente, entre estudiantes y personal del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (18♀/22♂, en un rango de edades entre 25 y 40 años). Al ser una prueba de aceptación, no hubo un entrenamiento sensorial previo. En la hoja de registro solo se dio información de la incorporación de harina de ramón para mejorar el contenido de fibra de tortillas y pan de caja, respectivamente. Las muestras fueron presentadas al mismo tiempo a los consumidores, distribuidas al azar e identificadas con números aleatorios de tres dígitos. En la primera sesión, se presentaron las cuatro muestras de los diferentes tratamientos de tortillas (¼ de tortilla, elaboradas el día anterior, calentadas 30 s a potencia media en un horno de microondas). En una sesión posterior, se presentaron las cuatro muestras de los diferentes tratamientos de los panes horneados como bollos de 20 g, elaborados el día anterior a la prueba. Los participantes marcaron sobre la línea su percepción personal, entre "me disgusta bastante" y "me gusta bastante", de cada uno para los atributos de color, aroma, textura, sabor y aceptación general, enjuagando con agua entre cada muestra. Las marcas fueron convertidas a valores numéricos midiendo la distancia en centímetros desde el ancla izquierda de la escala. Como criterio de aceptación, el valor medio fue ≥ 5, que corresponde al punto medio de la escala, correspondiente a "ni me desagrada, ni me agrada" (Clark & Johnson, 2002).

Diseño experimental y análisis de datos

Para valorar el efecto de la incorporación de la harina de ramón en las propiedades de textura y color de las tortillas y pan de caja, elaborados con diferentes proporciones de harina de semilla de ramón, se aplicó el modelo expresado en la ecuación 5:

Ecuación 5

$$y = \mu + \alpha i + \in$$

Donde μ es la media experimental, αi es el efecto principal por la incorporación de diferentes porcentajes de harina de ramón (0:100, 10:90, 20:80 y 30:70), y ∈ es el error experimental. Los resultados de los análisis (al menos cinco ensayos reproducibles) de cada uno de los tratamientos

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

fueron analizados por Anova en el programa estadístico SAS versión 9.0, y la diferencia entre medias se determinó con la prueba de medias de Duncan (Der & Everitt, 2008).

Los resultados de aceptación fueron analizados mediante un t-test pareado, usando el programa estadístico SAS versión 9.0. La significancia fue establecida a $p < 0,05$ (Clark & Johnson, 2002).

Resultados y discusión

Textura instrumental de masa de maíz y tortillas

La incorporación de diferentes proporciones de harina de ramón modificó la textura de la masa y de las tortillas elaboradas. En la prueba del análisis del perfil de textura para la masa de harina de maíz nixtamalizada, el aumento en la proporción de harina de ramón disminuyó significativamente ($p < 0,05$) la dureza de las masas. La cohesividad de las masas fue significativamente ($p < 0,05$) mayor a proporciones de 10:90, y la menor cohesividad fue detectada en las masas control sin harina de ramón. Se observó el mismo comportamiento para la adhesividad y resorteo de las masas, en las que las muestras con proporciones de 10:90 fueron significativamente ($p < 0,05$) las más adhesivas y elásticas. En la prueba de penetración con la esfera, los valores significativamente ($p < 0,05$) mayores fueron para las muestras con harina de ramón, y la menor fuerza se observó en las muestras con una proporción 30:70; la fuerza de adhesión fue significativamente ($p < 0,05$) mayor con la proporción 10:90, y la menor, en la proporción 0:100 (tabla 1).

Para la prueba de textura de las tortillas, la fuerza de deformación significativamente ($p < 0,05$) mayor se observó en las muestras con proporción 30:70, seguidas de la proporción 20:80, y las menos deformables fueron las muestras de la proporción 10:90. Sin embargo, las muestras con valores significativamente ($p < 0,05$) mayores de porcentaje de deformación fueron las muestras control, sin harina de ramón, y las menos deformables fueron las muestras con proporción 30:70 (tabla 1).

La textura de la masa en la elaboración de tortillas es fundamental, ya que una masa debe tener la consistencia adecuada para adherirse a los rodillos de la máquina tortilladora y separarse después del corte para su cocimiento (Gasca-Mancera & Casas-Alencáster, 2007).

El tipo de almidón afecta la textura de la masa y de la tortilla durante su cocimiento. Los almidones están clasificados de acuerdo con el largo de las cadenas de amilopectina y la capacidad de la amilopectina para formar cristales al momento de gelatinizar. Dependiendo del largo de la cadena de amilopectina, los almidones se clasifican en A, B y C, formando diferentes tipos de estructuras cristalinas. Los almidones tipo C pueden formar cualquier tipo de estructura cristalina al gelatinizar, mientras que los tipos A y B no lo son (Hizukuri, 1985). El almidón de semilla de ramón es considerado un almidón tipo C (Moo-Huchin et al., 2015), con un contenido de amilopectina del 74,64 % (Pérez-Pacheco et al., 2014).

En la masa de maíz, durante el proceso de elaboración de las tortillas, se observan gránulos irregulares e hinchados que actúan como estructura cohesiva que sirve para mantener la estructura de la masa junta, que es una mezcla de almidón gelatinizado y gránulos dispersos dentro de la matriz de proteína hidratada y desnaturalizada (Gómez, Lee, McDonough, Waniska, & Rooney, 1992). Para el maíz, el patrón de cristalización del almidón es del tipo A, característico de los cereales, ya que durante la nixtamalización el calentamiento y molienda causan solamente ligeros cambios en el almidón del maíz nativo. Sin embargo, cuando la masa se transforma en tortilla, la cristalinidad de los gránulos nativos se ve afectada por el cocimiento (Campus-Baypoli, Rosas-Burgos, Torres-Chávez, Ramírez-Wong, & Serna-Saldívar, 1999). De este modo, la harina de semilla de ramón con almidón tipo C, además de modificar la textura de la masa, forma geles cristalinos durante el cocimiento de las tortillas que afecta el color. La incorporación de almidón y proteínas diferentes a las del maíz resultó en diferentes tipos de interacciones entre estos componentes al momento de hidratar, amasar y cocinar las tortillas, mejorando la textura

de la masa y tortillas. El incorporar proporciones mayores al 10 % de harina de ramón disminuyó la dureza y maleabilidad de las masas (resultan menos cohesivas y más adhesivas). La incorporación de proteínas diferentes a las del maíz modifica la dureza de las tortillas (Chuck-Hernández et al., 2015), haciéndolas —como en esta investigación— más resistentes a la deformación.

Textura instrumental de masa de trigo y pan de caja

En las masas de harina de trigo, la incorporación de diferentes proporciones de harina de ramón afectó las propiedades texturales de las masas y del pan de caja elaborado. La dureza de las masas de harina de trigo fue significativamente ($p < 0,05$) mayor al incorporar una proporción de 30:70 de harina de ramón, mientras que la menos dura fue la muestra control. En contraste, la muestra control presentó los valores de cohesividad significativamente ($p < 0,05$) más altos, y los menores fueron para la proporción 30:70. La adhesividad fue significativamente ($p < 0,05$) mayor en las muestras de 20:80, y las menos adhesivas las de proporción 30:70. Finalmente, las muestras control 0:100 fueron significativamente ($p < 0,05$) más elásticas y las que presentaron menores valores de resorteo fueron las de una proporción 30:70 de harina de ramón (tabla 1).

En la prueba del análisis del perfil de textura del pan de caja las muestras con una proporción de 30:70 de harina de ramón presentaron los valores significativamente ($p < 0,05$) mayores de dureza, siendo el pan control sin harina de ramón el más suave. Los parámetros texturales de cohesividad, resorteo y masticabilidad fueron todos significativamente ($p < 0,05$) más altos en las muestras control sin harina de ramón. En cambio, las muestras con una proporción 30:70 de harina de ramón tuvieron los valores de cohesividad y resorteo significativamente ($p < 0,05$) menores. Las muestras con una proporción 10:90 tuvieron los valores menores de masticabilidad (tabla 1).

Tabla 1. Propiedades de textura de las masas y tortillas elaboradas con diferentes proporciones de harina de ramón

	Proporción de harina de ramón y harina de maíz o trigo			
	0:100	**10:90**	**20:80**	**30:70**
Masa de harina de maíz para tortilla con harina de ramón				
Dureza (N)	44,56 ± 1,25 a	35,67 ± 0,98 c	31,96 ± 0,87 d	37,38 ± 0,95 b
Cohesividad	0,1180 ± 0,01 d	0,2006 ± 0,09 a	0,1725 ± 0,02 b	0,1543 ± 0,03 c
Adhesividad (N)	3,63 ± 0,05 c	23,01 ± 1,15 a	15,22 ± 0,95 b	5,62 ± 0,89 c
Resorteo	0,052 ± 0,001 c	0,126 ± 0,001 a	0,085 ± 0,002 b	0,072 ± 0,001 b
Fuerza máxima de penetración (N)	3,43 ± 1,15 a	2,11 ± 0,77 c	1,65 ± 0,99 d	3,05 ± 1,25 b
Fuerza de adhesión (N)	3,97 ± 0,95 c	4,96 ± 0,89 a	4,61 ± 0,78 b	4,68 ± 0,81 b

(Continúa)

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

(Continuación tabla 1)

	Proporción de harina de ramón y harina de maíz o trigo			
	0:100	**10:90**	**20:80**	**30:70**
Tortillas de maíz con harina de ramón				
Fuerza de deformación (N)	3,73 ± 0,78 c	3,28 ± 0,69 d	4,30 ± 0,81 b	4,84 ± 0,79 a
Deformación (%)	285 ± 15 a	256 ± 8 c	271 ± 11 b	225 ± 8 d
Masa de harina de trigo para pan de caja con harina de ramón				
Dureza (N)	1,52 ± 0,15 d	1,84 ± 0,09 b	1,62 ± 0,21 c	2,20 ± 0,17 a
Cohesividad	0,5021 ± 0,02 a	0,4530 ± 0,03 b	0,343 ± 0,05 c	0,295 ± 0,07 d
Adhesividad (N)	0,140 ± 0,01 b	0,128 ± 0,01 b	0,344 ± 0,03 a	0,434 ± 0,01 c
Resorteo	0,591 ± 0,025 a	0,502 ± 0,031 b	0,386 ± 0,015 c	0,313 ± 0,021 d
Fuerza máxima de penetración (N)	1,04 ± 0,01 a	1,02 ± 0,01 a	0,72 ± 0,02 b	1,06 ± 0,03 a
Fuerza de adhesión (N)	0,902 ± 0,012 d	1,98 ± 0,021 b	2,938 ± 0,015 a	1,114 ± 0,016 c
Pan de caja con harina de ramón				
Dureza (N)	10,92 ± 1,54 d	11,71 ± 1,21 c	24,81 ± 1,25 b	28,12 ± 0,92 a
Cohesividad	0,489 ± 0,056 a	0,310 ± 0,061 b	0,278 ± 0,045 c	0,273 ± 0,036 c
Resorteo	0,794 ± 0,023 a	0,459 ± 0,035 b	0,444 ± 0,036 c	0,409 ± 0,075 d
Masticabilidad (N mm)	4,624 ± 0,98 a	1,648 ± 0,85 d	3,058 ± 0,99 b	3,136 ± 0,43 c

a, b, c, d. Medias con la misma letra en el mismo renglón no son significativamente ($p < 0,05$) diferentes para la proporción de harina de ramón utilizada.
Fuente: Elaboración propia

La adición de otras proteínas diferentes a las de la harina de trigo provoca una disminución del contenido de gluten por la sustitución de estas proteínas por otras que no forman la misma estructura del gluten, debilitando la fuerza de las masas, que resultaron más duras y adhesivas, pero menos cohesivas (Paraskevopoulou et al., 2010). Del mismo modo, otras proteínas vegetales afectan la textura del pan haciéndolo más duro, debido a la competencia por el agua libre con la red de gluten (Mohammed, Ahmed, & Senge, 2012). Así como las proteínas de la harina de trigo tienen un papel fundamental en la textura, el almidón tiene también un papel muy importante. El endospermo del trigo contiene almidón tipo A y tipo B, y en menor proporción almidón tipo C (≈ 3 %), pero después de la molienda, el almidón de trigo que predomina es del tipo A (variando entre 50-87 %).

La proporción de almidón de tipo A al tipo B tiene un efecto sobre la calidad de los productos de panificación (Geera, Nelson, Souza, & Huber, 2006). Durante el mezclado de la masa para pan, el almidón del trigo forma una superficie para la unión del gluten que disminuye su adhesividad, dándole una consistencia deseable para su manejo, ya que la masa del pan es considerada como una espuma estructurada consistente de celdas de gas dispersas en una matriz de proteína-almidón con una humedad ≈ 45 % (Maningat & Seib, 2010). De este modo, en la incorporación de harina de ramón con almidón predominantemente tipo C no se observó un efecto contraproducente sobre la textura del pan, ya que al aumentar paulatinamente la concentración de harina de semilla de ramón en el pan reemplazando la harina de trigo la dureza del pan aumentó con la concomitante disminución de la cohesividad.

Calidad de miga y volumen del pan

La tabla 2 muestra que la incorporación de harina de ramón modificó la estructura del pan de caja. El volumen de los panes de caja formulados con fue significativamente ($p < 0,05$) mayor (4,896 ± 0,257 g/mL) para la formulación control 0:100. La incorporación paulatina de harina de ramón disminuyó el volumen del pan de manera escalonada, siendo de 3,166 ± 0,123 g/mL para 10:90; 1,962 ± 0,101 g/mL para 20:80 y 1,722 ± 0,203 g/mL para 30:70. El pan de harina de trigo es un sólido suave que tiene dos fases: una fase fluida (aire entre las celdas) y una fase sólida (material de pared de las celdas). El número de celdas y su tamaño disminuyó con la incorporación de la harina de ramón, lo que explica el menor volumen y las diferencias en textura observadas. En la figura 2 se observa que la muestra sin harina de ramón tiene una fase sólida completamente conectada y homogénea.

La fracción volumen de las fases y la naturaleza de su conectividad, que es el resultado de la formación de las celdas durante el proceso de elaboración del pan, determinan la estructura y las propiedades mecánicas del pan (Scanlon & Zghal, 2001). La interferencia en la formación de la red de gluten por la harina de semilla de ramón resultó en la disminución de la expansión de las celdas por la presión del gas durante la fermentación, creando una estructura de miga más compacta. Las celdas en pan sin harina ramón fueron más redondas y uniformes con una pared celular más delgada y lisa, de mayor tamaño y homogéneas (Angioloni & Collar, 2009). La incorporación de otras harinas en el pan de caja disminuye la cantidad de vapor generado como resultado de una mayor capacidad de absorción de agua, disminuyendo el volumen del pan y el número de células formadas con mayor firmeza en la miga (Mohammed et al., 2012). El menor volumen y peso del pan (relacionado con una masa más dura y menos cohesiva) concomitantemente resultó en el desarrollo de un pan con textura más dura. Las celdas más grandes en el pan control sin harina de ramón se deben a la elasticidad del gluten que permitió la expansión de las celdas debido a la presión del gas producido durante la fermentación y el horneado, ya que una masa más elástica forma una estructura de pan más suave y elástica. Por lo tanto, la incorporación de harina de semilla de ramón en proporciones 10:90 es lo más recomendado para minimizar cambios texturales de la masa y pan de caja, ya que la textura es esencial en el desarrollo de la estructura del pan, lo que se refleja en la calidad de miga y volumen del pan.

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Tabla 2. Calidad de miga del pan de caja elaborados con diferentes proporciones de harina de ramón

	Proporción de harina de ramón y harina de trigo			
	0:100	**10:90**	**20:80**	**30:70**
Número total de celdas	67	49	27	41
Número de celdas < 4 mm^2	56	31	20	8
Área total de celdas (mm^2)	157	142	239	311
Número de celdas por cm^2	1,62	1,19	0,66	0,99
Área total de celdas/área total	0,037	0,076	0,057	0,033

a, b, c, d. Medias con la misma letra en el mismo renglón no son significativamente ($p < 0,05$) diferentes para la proporción de harina de ramón utilizada.
Fuente: Elaboración propia

Color instrumental de tortillas

La incorporación de diferentes proporciones de harina de ramón provocó cambios en la coloración de las tortillas de maíz. Las muestras con proporción 0:100 fueron significativamente ($p < 0,05$) más luminosas, mientras que la incorporación gradual de harina de ramón hizo las tortillas más oscuras (valores de L* menores). Para las componentes a* y b*, coloración verde-roja y amarilla-azul, respectivamente, las muestras con proporción de 30:70 de harina de ramón tuvieron valores significativamente ($p < 0,05$) mayores, mientras que los valores menores de coloración verde-roja y amarilla-azul fueron para la muestra control. La incorporación de diferentes proporciones de harina de ramón aumentó la tonalidad (H) de las tortillas, ya que las muestras sin harina de ramón presentaron los valores significativamente ($p < 0,05$) menores. El mismo comportamiento se observó en el índice de saturación o intensidad del color (S), en el que los valores significativamente ($p < 0,05$) menores fueron observados en las muestras 0:100 de harina de ramón. De este modo, la mayor diferencia de color con respecto al control fue significativamente ($p < 0,05$) para las muestras con mayor proporción de harina de ramón, 30:70 (tabla 3).

El color de las tortillas es el resultado del contenido de carotenoides en el maíz, así como del proceso de nixtamalización. Sin embargo, la incorporación de otras proteínas tiene diferente efecto sobre el color de las tortillas de maíz, sin causar variación, como sucede con el fríjol (Cuevas-Martínez, Moreno-Ramos, Martínez-Manrique, Moreno-Martínez, & Méndez-Albores, 2010), o bien aumentando la luminosidad con soya (Chuck-Hernández, Pérez-Carrillo, Soria-Hernández, & Serna-Saldívar, 2015). En el caso de la incorporación de harina de ramón, el color de las tortillas se tornó más oscuro y verdoso, con una diferencia muy marcada al utilizar mayor proporción de harina de ramón (figura 2).

Color instrumental de pan de caja

Utilizar harina de semilla de ramón provocó cambios en el desarrollo del color de los panes de caja formulados con diferentes proporciones de esta harina. La luminosidad fue significativamente ($p < 0,05$) mayor en las muestras control, y los valores menores se observaron en las muestras con proporción 30:70 de harina de ramón. La componente de color a* rojo-verde fue significativamente ($p < 0,05$) menor en las muestras control, y mayor en los panes con proporción de 30:70. Los panes sin harina de ramón

presentaron valores significativamente ($p < 0,05$) mayores para la coloración b* amarillo-azul, y las muestras con proporción 30:70 tuvieron los valores más bajos. Los valores de tonalidad (H) fueron significativamente ($p < 0,05$) mayores en las muestras control, y más bajos a mayor proporción de harina de ramón. La intensidad del color (S) fue significativamente ($p < 0,05$) menor en las muestras control y con menor proporción de harina de ramón (10:90). Así, a mayor proporción de harina de ramón en la formulación del pan, la diferencia de color fue significativamente ($p < 0,05$) mayor (tabla 3).

El desarrollo del color en el pan es diferente al de la tortilla, debido a las reacciones de oscurecimiento no enzimático que tienen lugar en la superficie del pan durante su cocimiento. Sin embargo, el reemplazo de harina de trigo por otras proteínas hace que los panes sean más oscuros y que el contenido de pigmentos en estas harinas cambie la tonalidad del pan (Güemes-Vera, Peña, Jiménez, Dávila, & Calderón, 2008). La semilla de ramón tiene un alto contenido de compuestos fenólicos totales (Ozer, 2017), lo que resulta en una harina de color oscuro que puede interferir con el desarrollo del color del pan de caja.

Tabla 3. Color instrumental de tortillas y pan de caja elaborados con diferentes proporciones de harina de ramón

	Proporción de harina de ramón y harina de maíz o trigo			
	0:100	**10:90**	**20:80**	**30:70**
Tortillas de maíz con harina de ramón				
Luminosidad L*	70,86 ± 2,35 a	69,00 ± 1,25 b	66,80 ± 1,64 c	55,52 ± 0,99 d
Componente a*	0,76 ± 0,02 b	-1,30 ± 0,03 d	-0,58 ± 0,01 c	3,78 ± 1,26 a
Componente b*	4,06 ± 0,51 d	11,32 ± 1,11 c	13,28 ± 0,98 b	21,82 ± 1,97 a
Ángulo de tono (H)	1,386 ± 0,025 d	1,456 ± 0,019 b	1,527 ± 0,012 a	1,399 ± 0,021 c
Índice de saturación (S)	4,13 ± 0,78 d	11,39 ± 1,12 c	13,29 ± 1,73 b	22,14 ± 2,01 a
Diferencia total de color		7,77 ± 0,75 c	10,16 ± 0,95 b	23,66 ± 1,75 a
Pan de caja con harina de ramón				
Luminosidad L*	67,80 ± 2,14 a	45,25 ± 1,17 b	40,23 ± 1,25 c	37,80 ± 1,73 d
Componente a*	1,22 ± 0,09 d	5,41 ± 1,73 c	5,81 ± 1,49 b	6,40 ± 1,57 a
Componente b*	17,6 ± 1,12 a	16,85 ± 1,98 b	17,20 ± 1,69 a	16,40 ± 1,11 c
Ángulo de tono (H)	1,502 ± 0,035 a	1,260 ± 0,045 b	1,245 ± 0,039 c	1,199 ± 0,029 d
Índice de saturación (S)	17,64 ± 1,31 b	17,69 ± 1,01 b	18,15 ± 1,83 a	17,10 ± 1,07 c
Diferencia total de color		22,95 ± 1,05 c	27,95 ± 1,18 b	30,47 ± 2,05 a

a, b, c, d. Medias con la misma letra en el mismo renglón no son significativamente ($p < 0,05$) diferentes para la proporción de harina de ramón utilizada.
Fuente: Elaboración propia

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

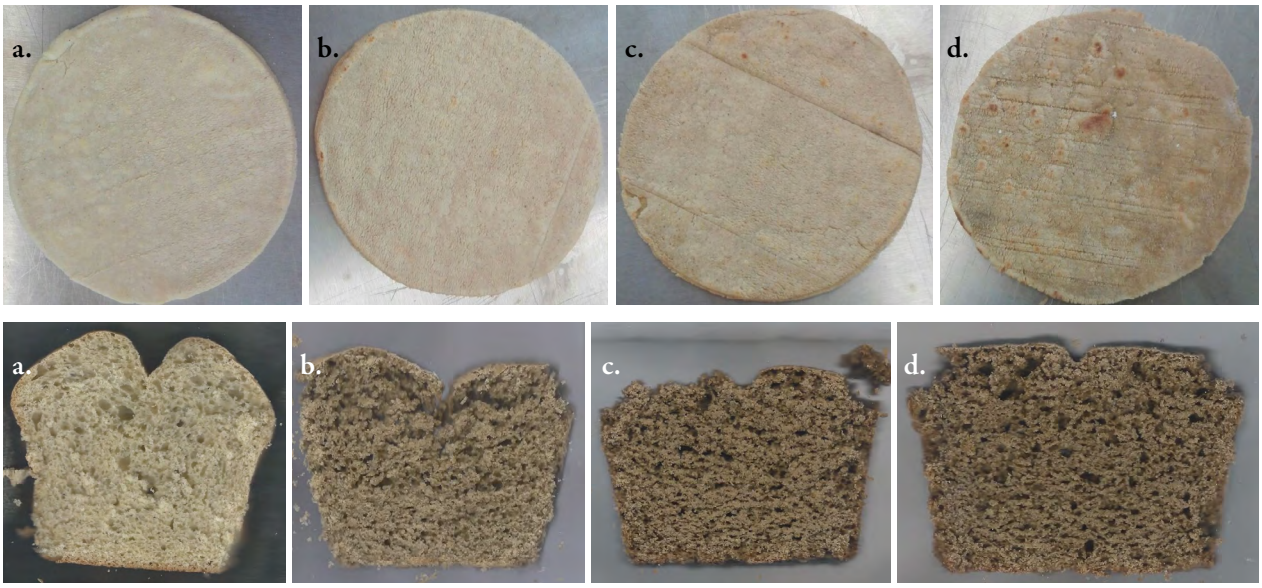

Figura 2. Muestras de la incorporación de harina de ramón en diferentes proporciones (a = 0:100, b = 10:90, c = 20:80 y d = 30:70) para tortilla de maíz y pan de caja.

Contenido de fibra dietética total

Como era de esperarse, la incorporación de harina de semilla de ramón aumentó la cantidad de fibra dietética total en las tortillas y los panes. A proporciones de 30:70 de semilla de ramón se obtuvo el contenido de fibra significativamente ($p < 0,05$) mayor tanto en tortillas como en pan de caja, en contraste con el control sin harina de ramón (tabla 4).

Actualmente, uno de los problemas importantes para mejorar la calidad nutricional de alimentos

Tabla 4. Contenido de fibra dietética total de tortillas y pan de caja elaborados con diferentes proporciones de harina de ramón

	Proporción de harina de ramón y harina de maíz o trigo			
	0:100	**10:90**	**20:80**	**30:70**
Tortillas de maíz con harina de ramón				
Fibra dietética total (%)	8,53 ± 0,49 d	10,8 ± 2,83 c	15,1 ± 2,12 b	18,7 ± 2,12 a
Pan de caja con harina de ramón				
Fibra dietética total (%)	9,9 ± 11,31 d	15,25 ± 0,35 c	17,6 ± 0,42 b	18,43 ± 0,42 a

a, b, c, d. Medias con la misma letra en el mismo renglón no son significativamente ($p < 0,05$) diferentes para la proporción de harina de ramón utilizada.
Fuente: Elaboración propia

es el aumento del consumo de fibra. A pesar de las recomendaciones en la ingesta diaria de fibra dietética, por lo general el consumo está por debajo de esos niveles, ya que la fibra dietética reduce riesgos de enfermedades crónicas como enfermedades del corazón y cáncer, además de reducir el índice glicémico y evitar elevar el nivel de azúcar en sangre, parámetros relacionados con la prevención de la diabetes, y ayudar a regular la actividad intestinal (Cho, 2009). Se ha utilizado el nejayote (agua residual generada en la nixtamalización del maíz) (Acosta-Estrada, Lazo-Vélez, Nava-Valdez, Gutiérrez-Uribe, & Serna-Saldívar, 2014) o fríjol (Treviño-Mejía, Luna-Vital, Gaytán-Martínez, Mendoza, & Loarca-Piña, 2016) en tortillas de maíz. En pan se han utilizado fibra de harina de chícharos (*Pisum sativum*) o habas *Vicia faba* L. (Fabaceae) (Belghith-Fendri et al., 2016), avena *Avena sativa* L. (Poaceae) (Becceria, De la Torre, Sánchez, & Osella, 2011) o chía *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae) (Verdú et al., 2015), por mencionar algunas aplicaciones recientes.

Prueba de aceptación de tortillas

La diferencia de medias muestra que el color de las tortillas con proporciones de 10:90 y 20:80 fueron más aceptadas por los consumidores, sin diferencia significativa ($p > 0,05$) entre estas muestras y el control. La muestra con proporción 30:70 fue menos aceptada que las muestras control con una puntuación debajo de 5 (tabla 5a). Para el aroma, no se detectó diferencia significativa ($p > 0,05$) entre el control y las muestras con proporciones de 10:90 y 20:80 de harina de ramón (tabla 5b). Curiosamente, la textura de las tortillas no fue significativamente ($p > 0,05$) diferente entre el control y ninguno de los tratamientos (tabla 5c). En cuanto al sabor de las tortillas, las muestras con mayor proporción de harina de ramón fueron significativamente ($p < 0,05$) diferentes (tabla 5d). Finalmente, la aceptación general de las tortillas fue significativamente ($p < 0,05$) menor para las muestras con mayor proporción de harina de ramón (tabla 5e), aunado a su baja calificación en color, aroma y sabor.

Tabla 5. Valor medio, diferencia significativa e intervalo de confianza al 95 % de las diferencias en las calificaciones de los consumidores sobre las tortillas de harinas de maíz con diferentes proporciones de harina de ramón (n = 40)

Atributo	Puntuación media (harina de ramón)	Puntuación media (control, 0:100)	Diferencia significativa (harina de ramón-control)	95 % IC intervalo para la diferencia	
				Inferior	Superior
(a) Color					
10:90	8,71	7,00	1,7100	-6,2010	2,7810
20:80	5,84	7,00	1,1567	-0,0160	2,3290
30:70	4,85	7,00	2,1500*	0,9669	3,3332
(b) Aroma					
10:90	7,12	7,13	0,0033	-0,8350	0,8413
20:80	6,39	7,13	0,7367	-0,0930	1,5664
30:70	5,11	7,13	2,0133*	0,8469	3,1798

(Continúa)

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

(Continuación tabla 5)

Atributo	Puntuación media (harina de ramón)	Puntuación media (control, 0:100)	Diferencia significativa (harina de ramón-control)	95 % IC intervalo para la diferencia	
				Inferior	Superior
(c) Textura					
10:90	6,08	5,78	-0,307	-1,5230	0,9096
20:80	5,43	5,78	0,3433	-0,9490	0,3433
30:70	4,58	5,78	1,1933	-0,1160	2,5030
(d) Sabor					
10:90	6,81	5,67	-1,1370	-2,5530	0,2799
20:80	5,44	5,67	0,2333	-0,8680	0,3433
30:70	3,98	5,67	1,6867*	0,4191	2,5030
(e) Aceptación general					
10:90	6,99	6,30	-0,6900	-1,7670	0,3873
20:80	5,92	6,30	0,383	-0,7280	1,4942
30:70	4,44	6,30	1,8667*	0,6459	3,0874

* Valor para el porcentaje (%) de harina de ramón fue significativamente ($p < 0,05$) diferente del control equivalente.
Fuente: Elaboración propia

En la evaluación sensorial, la aceptación de las tortillas con harina de ramón fue buena cuando la proporción utilizada estaba por debajo de 30:70. De hecho, las muestras con proporción 10:90 obtuvieron calificaciones de aceptación incluso mayores que las muestras control. Si relacionamos estos resultados con los de textura y color de masa y tortillas, podemos establecer que el contenido de fibra dietética total puede mejorarse (del 8,5 al 10,8 %) incorporando al menos una proporción 10:90 de harina de ramón, sin efecto en las características sensoriales del producto. Una proporción de 20:80 casi duplica el contenido de fibra dietética total, pero las calificaciones obtenidas, aunque sin significancia estadística, estuvieron por debajo del puntajede la muestra control. Al utilizar fríjol en la fortificación de tortillas, Treviño-Mejía et al. (2016) indicaron que la aceptación general de estas tortillas fue de "ligeramente me gusta", con preferencia a tortillas más blancas. Las diferencias en la calificación promedio de las muestras con harina de ramón con esta proporción 10:90 no fue inferior a una categoría de calificación debajo de la muestra de control, con valores menores para el intervalo de confianza inferior del 95 % para la diferencia de medias (Clark & Johnson, 2002).

Prueba de aceptación de pan de caja

En la prueba sensorial de pan de caja se encontraron más diferencias en cuanto a la aceptación de los diferentes tratamientos. Para el color de los panes, todas las muestras tuvieron valores significativamente ($p < 0,05$) menores al pan control (tabla 6a). En el aroma, solo la muestras con proporción de harina de ramón 10:90 no tuvo diferencia significativa ($p > 0,05$) con el control (tabla 6b). Se observó el mismo comportamiento de aceptación para la textura y sabor, en la que los panes con proporciones de 20:80 y 30:70 fueron significativamente ($p < 0,05$) menos aceptados que los panes control. El pan con 10:90 de harina de ramón presentó calificaciones muy cercanas al control para textura (9,90 y 7,73, respectivamente) y sabor (7,30 y 7,35, respectivamente) (tablas 6c y 6d). Finalmente, la aceptación general de los panes con harina de ramón fue significativamente ($p < 0,05$) menor a la de los panes control (tabla 6e).

Tabla 6. Valor medio, diferencia significativa e intervalo de confianza al 95 % de las diferencias en las calificaciones de los consumidores sobre los panes de caja de harina de trigo con diferentes proporciones de harina de ramón (n = 40)

Atributo	Puntuación media (harina de ramón)	Puntuación media (control, 0:100)	Diferencia significativa (harina de ramón-control)	95 % IC intervalo para la diferencia	
				Inferior	Superior
(a) Color					
10:90	6,627	8,513	1,8967*	1,2374	2,5559
20:80	6,070	8,513	2,4467*	1,2558	3,6675
30:70	5,200	8,513	3,3113*	2,4648	4,1618
(b) Aroma					
10:90	7,903	8,483	0,5800	-0,0320	1,1920
20:80	7,057	8,483	1,4267*	0,5927	2,2606
30:70	6,543	8,483	1,9400*	1,0979	2,7820
(c) Textura					
10:90	6,903	7,730	0,8267	-0,0250	0,8267
20:80	5,260	7,730	2,4700*	1,2769	3,6831
30:70	5,110	7,730	2,6200*	1,7479	3,4921

(Continúa)

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

(Continuación tabla 6)

Atributo	Puntuación media (harina de ramón)	Puntuación media (control, 0:100)	Diferencia significativa (harina de ramón-control)	95 % IC intervalo para la diferencia	
				Inferior	Superior
(d) Sabor					
10:90	7,300	7,350	0,0500	-0,7720	0,8715
20:80	5,920	7,350	1,4300*	0,1016	2,7584
30:70	4,557	7,350	2,7933*	1,4707	4,1159
(e) Aceptación general					
10:90	7,370	8,196	0,8267*	0,2810	1,3724
20:80	6,226	8,196	1,9700*	0,8412	3,0988
30:70	5,153	8,196	3,0433*	2,1263	3,9604

* Valor para el porcentaje (%) de harina de ramón fue significativamente ($p < 0,05$) diferente del control equivalente.
Fuente: Elaboración propia

Definitivamente, la incorporación de harina de ramón provocó cambios importantes en la coloración del pan de caja, tanto instrumental como sensorialmente. El color desarrollado durante el horneado no fue del agrado de los consumidores, ya que todas las muestras tuvieron calificaciones menores al pan control, lo que se vio reflejado también en la aceptación general. Sin embargo, para el aroma y sabor, la puntuación media fue muy cercana y sin diferencia estadística en comparación con el pan de caja sin harina de ramón, a pesar de las marcadas diferencias en textura instrumental, calidad de miga y volumen de los panes elaborados con harina de ramón. Incluso el sabor mostró valores de preferencia cercanos a 7, sobre el lado de la escala "me gusta bastante". Si consideramos que el incorporar una proporción de 10:90 de harina de ramón incrementó el contenido de fibra dietética total en un 50 % (de 9,9 a 15,2 en pan control y pan con 10:90, respectivamente), el concientizar a la gente sobre los beneficios de un pan de caja enriquecido con fibra de un cultivo maya ancestral (Dussol, Elliott, Michelet, & Nondédéo, 2017) podría influenciar la apreciación de los consumidores (a pesar de que en la hoja de evaluación se indicaba que el pan contenía harina de ramón para mejorar el contenido de fibra).

Conclusiones

La incorporación de harina de ramón no modificó sustancialmente las propiedades de textura de las masas (relacionadas con la manipulación durante el proceso) ni de las tortillas ni de panes, respectivamente. Aunque las masas de harina de maíz con harina de ramón fueron menos duras, la cohesividad aumentó,

compensando la textura, dando como resultado tortillas más elásticas (deformables). En las masas de harina de trigo la dureza aumentó con la harina de ramón, pero la cohesividad disminuyó, con la consecuente compensación en la textura, lo que se vio reflejado en un pan más dúctil (menores valores de masticabilidad). Utilizar 10 % de harina de semilla de ramón tuvo los valores de textura más aceptables (menor dureza, mayor cohesividad, o viceversa). Las variaciones detectadas en color instrumental no son consideradas importantes por los consumidores, ya que este atributo no fue considerado diferente al control, sin harina de ramón. El aumento en el contenido de fibra dietética total aumentó al utilizar 10 % de harina de ramón en un 26 % para tortilla y 54 % para pan, siendo la característica más importante en la mejora nutricional de estos alimentos de alto consumo y aceptación, sin afectar su aceptación sensorial.

Agradecimientos

Este trabajo estuvo financiado dentro del proyecto N.º 666.18-PD "Propiedades tecno-funcionales de harina de semilla de ramón (*Brosimum alicastrum*) y su efecto sobre la textura de alimentos", del Tecnológico Nacional de México (TecNm), México. El autor Domínguez-Zarate agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT, México, la beca N.º 606073 para sus estudios de maestría.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento, están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

American Association of Cereal Chemists (AACC). (2014). Method 10-05.01. *Guidelines for measurement of volume by rapeseed displacement*. Saint Paul, Minnesota, EE. UU.: AACC International.

Acosta-Estrada, B. A., Lazo-Vélez, M. A., Nava-Valdez, Y., Gutiérrez-Uribe, J. A., & Serna-Saldívar, S. O. (2014). Improvement of dietary fiber, ferulic acid and calcium contents in pan bread enriched with nejayote food additive from white maize (*Zea mays*). *Journal of Cereal Science*, *60*(1), 264-269. doi:10.1016/j.jcs.2014.04.006.

Angioloni, A., & Collar, C. (2009). Bread crumb quality assessment: A plural physical approach. *European Food Research and Technology*, *229*(1), 21-30. doi:10.1007/s00217-009-1022-3.

Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). (1999). *AOAC Official Method 992.16 Total dietary fiber enzymatic–gravimetric method. Official Methods of Analysis of AOAC International* (16.ª edition). Washington, D. C., EE. UU.: AOAC International.

Beccerica, S., De la Torre, M. A., Sánchez, H. D., & Osella, C. A. (2011). Use of oat bran in bread: fiber and oil enrichment and technological performance. *Food and Nutrition Science*, *2*(6), 553-559. doi:10.4236/fns.2011.26079.

Belghith-Fendri, L., Chaari, F., Maaloul, M., Kallel, F., Abdelkafi, L., ... Ghribi-Aydi, D. (2016). Wheat bread enrichment by pea and broad bean pods fibers: Effect on dough rheology and bread quality. *LWT-Food Science and Technology*, *73*, 584-591. doi:10.1016/j.lwt.2016.06.070.

Bourne, M. C. (1978). Texture Profile Analysis. *Food Technology*, *32*(7), 62-66, 72.

Campus-Baypoli, O. N, Rosas-Burgos, E. C., Torres-Chávez, P. I., Ramírez-Wong, B., & Serna-Saldívar, S. O. (1999). Physiochemical changes of starch during maize tortilla production. *Starch/Stärke*, *51*(5), 173-177. doi:10.1002/(SICI)1521-379X(199905)51:5<173::AID-STAR173>3.0.CO;2-B.

Castro-González, A., Alayón-Gamboa, J. A., Ayala-Burgos, A., & Ramírez-Avilés, L. (2008). Effects of *Brosimum alicastrum* and mixtures on voluntary intake, nutrient digestibility and nitrogen balance in sheep fed tropical pastures. *Animal Feed Science and Technology*, *141*(3-4), 246-258. doi:10.1016/j.anifeedsci.2007.06.033.

Cho, S. (2009). Functional and dietary fibers: an introduction. En S. S. Cho, & P. Samuel (Eds.), *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits* (pp. 1-6). Boca Raton, EE. UU.: CRC Press.

Chuck-Hernández, C., Pérez-Carrillo, E., Soria-Hernández, C., & Serna-Saldívar, S. O. (2015). Functionality and organoleptic properties of maize tortillas enriched with five different soybean proteins. *Cereal Chemistry*, *92*(4), 341-349. doi: 10.1094/CCHEM-07-14-0154-R.

Clark, R., & Johnson, S. (2002). Sensory acceptability of foods with added lupin (*Lupinus angustifolius*) kernel fiber using pre-set criteria. *Journal of Food Science*, *67*(1), 356-362. doi:10.1111/j.1365-2621.2002.tb11410.x.

Cuevas-Martínez, D., Moreno-Ramos, C., Martínez-Manrique, E., Moreno-Martínez, E., & Méndez-Albores, A. (2010). Nutrition and texture evaluation of maize-white common bean nixtamalized tortillas. *Interciencia*, *35*(11), 828-832.

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Der, G., & Everitt, B. S. (2008). *A Handbook of Statistical Analyses using SAS* (3rd edition). (pp. 99-109). Londres, Inglaterra: Chapman & Hall/CRC.

Dussol, L., Elliott, M., Michelet, D., & Nondédéo, P. (2017). Ancient Maya sylviculture of breadnut (*Brosimum alicastrum* Sw.) and sapodilla (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen) at Naachtun (Guatemala): A reconstruction based on charcoal analysis. *Quaternary International*, *457*, 29-42. doi:10.1016/j.quaint.2016.10.014.

Fechner, A., Scweiggert, U., Hasenkopf, K., & Jahreis, G. (2011). Lupine kernel fiber: Metabolic effects in human intervention studies and uses as supplement in wheat bread. En V. R. Preedy, R. R. Watson & V. B. Patel (Eds), *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention* (pp. 463-474). Londres, Inglaterra: Academic Press.

Flores-Farías, R., Martínez-Bustos, F., Salinas-Moreno, Y., Kil-Chang, Y., González-Hernández, J., & Ríos, E. (2000). Physicochemical and rheological characteristics of commercial nixtamalised Mexican maize flours for tortillas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *80*(6), 657-664. doi:10.1002/(SICI)1097-0010(20000501)80:6<657::AID-JSFA576>3.0.CO;2-J.

Gámbaro, A., Varela, P., & Giménez, A. (2002). Textural quality of white pan bread by sensory and instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*, *33*(5), 401-413. doi:10.1111/j.1745-4603.2002.tb01356.x.

Gasca-Mancera, J. C., & Casas-Alencáster, N. B. (2007). Addition of nixtamalized corn flour to fresh nixtamalized corn masa. effect on the textural properties of masa and tortilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *6*(3), 317-328.

Geera, B. P., Nelson, J. E., Souza, E., & Huber, K. C. (2006). Composition and properties of A- and B-type starch granules of wild-type, partial waxy, and waxy soft wheat. *Cereal Chemistry*, *83*(5), 551-557. doi:10.1094/CC-830551.

Gómez, M. H., Lee, J. K., McDonough, C. M., Waniska, R. D., & Rooney, L. W. (1992). Corn starch changes during tortilla and tortilla chip processing. *Cereal Chemistry*, *69*(3), 275-279.

Güemes-Vera, N., Peña, R., Jiménez, C., Dávila, G., & Calderón, G. (2008). Effective detoxification and decoloration of *Lupinus mutabilis* seed derivatives, and effect of these derivatives on bread quality and acceptance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *88*(7), 1135-1143. doi:10.1002/jsfa.3152.

Hizukuri, S. (1985). Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystalline structure of starch granules. *Carbohydrate Research*, *141*(2), 295-306. doi:10.1016/S0008-6215(00)90461-0.

Lander, T. A., & Monro, A. (2015). Conservation of *Brosimum alicastrum*, an underutilized crop and keystone forest tree species; a potential win-win for conservation and development in Latin America. *Biodiversity and Conservation*, *24*(8), 1917-1930. doi:10.1007/s10531-015-0913-9.

Lewis, B. A., Hall, M. B., & Van Soest, P. J. (2001). Interaction between human gut bacteria and dietary fiber substrates. En G. A. Spiller (Ed), *Dietary Fiber in Human Nutrition* (3rd edition) (pp. 271-276). Boca Raton, EE. UU.: CRC Press.

Little, A. C. (1975). Off on a tangent. *Journal of Food Science*, *40*, 410-411.

Maningat, C. C., & Seib, P. A. (2010). Understanding the physicochemical and functional properties of wheat starch in various foods. *Cereal Chemistry*, *87*(4), 305-314. doi:10.1094/CCHEM-87-4-0305.

Mohammed, I., Ahmed, A. R., & Senge, B. (2012). Dough rheology and bread quality of wheat-chickpea flour blends. *Industrial Crops and Products*, *36*(1), 196-202. doi:10.1016/j.indcrop.2011.09.006.

Moo-Huchin, V.M., Cabrera-Sierra, M.J., Estrada-León, R.J., Ríos-Soberanis, C.R., Betancur-Ancona, D., ... Pérez-Pacheco, E. (2015). Determination of some physicochemical and rheological characteristics of starch obtained from *Brosimum alicastrum* Swartz seeds. *Food Hydrocolloids*, *45*, 48-54. doi:10.1016/j.foodhyd.2014.11.009.

Moo-Huchin, V. M., Canto-Pinto, J. C., Cuevas-Glory, L. F., Sauri-Duch, E., & Pérez-Pacheco, E. (2019). Effect of extraction solvent on the phenolic compounds content and antioxidant activity of Ramon nut (*Brosimum alicastrum*). *Chemical Papers*, *73*(7), 1647-1657. doi:10.1007/s11696-019-00716-x.

Olguín-Maciel, E., Larqué-Saavedra, A., Pérez-Brito, D., Barahona-Pérez, L. F., Alzate-Gaviria, L., ... Tapia-Tussell, R. (2017). *Brosimum alicastrum* as a novel starch source for bioethanol production. *Energies*, *10*(10), 1574, doi:10.3390/en10101574.

Ortiz, M., Azañon, V., Melgar, M., & Ellias, L. (1995). The corn tree (*Brosimum alicastrum*): a food source for the tropics. En A. P. Simopoulos (Ed.), *Plants in Human Nutrition* (pp. 135-146). Basilea, Suiza: Karger.

Ozer, H. K. (2017). Phenolic compositions and antioxidant activities of Maya nut (*Brosimum alicastrum*): Comparison with commercial nuts. *International Journal of Food Properties*, *20*(11), 2772-2781. doi:10.1080/10942912.2016.1252389.

Paraskevopoulou, A., Provatidou, E., Tsotsiou, D., & Kiosseoglou, V. (2010). Dough rheology and baking performance of wheat flour-lupin protein isolate blends. *Food Research International*, *43*(4), 1009-1016. doi:10.1016/j.foodres.2010.01.010.

Pérez-Pacheco, E., Moo-Huchin, V. M., Estrada-León, R. J., Ortiz-Fernández, A., May-Hernández, L. H., ... Betancur-Ancona, D. (2014). Isolation and characterization of starch obtained from *Brosimum alicastrum* Swarts seeds. *Carbohydrate Polymers*, *101*, 920-927. doi:10.1016/j.carbpol.2013.10.012.

Pérez-Pacheco, E., Estrada-León, R. J., Sauri-Duch, E., Bello-Pérez, L. A., Betancur-Ancona, D., & Moo-Huchin, V. M. (2016). Partial characterization of starch obtained from ramon (*Brosimum alicastrum* Swartz), oxidized under different conditions. *Starch*, *69*(5-6). doi:10.1002/star.201600233.

Peters, C. M., & Pardo-Tejeda, E. (1982). *Brosimum alicastrum* (Moraceae): uses and potential in Mexico. *Economic Botany*, *36*(2), 166-175. doi:10.1007/BF02858712.

Ramírez-Sánchez, S., Ibáñez-Vázquez, D., Gutiérrez-Peña, M., Ortega-Fuentes, M. S., García-Ponce, L. L., & Larqué-Saavedra, A. (2017). El ramón (*Brosimum alicastrum* Swartz) una alternativa para la seguridad alimentaria en México. *Agroproductividad*, *10*(1), 80-83. Recuperado de http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/943/802

Ríos-Soberanis, C. R., Estrada-León, R. J., Moo-Huchin, V. M., Cabrera-Sierra, M. J., Cervantes-Uc, J. M., Bello-Pérez, L. A., & Pérez-Pacheco, E. (2016). Utilization of ramon seeds (*Brosimum alicastrum swarts*) as a new source material for thermoplastic starch production. *Journal of Applied Polymer Science*, *133*(47), 44235. doi:10.1002/app.44235.

Sánchez, D. V., Muschler, R., Prins, C., Solano, W., & Astorga, C. (2014). Diversidad de especies vegetales alimenticias en la microrregión de Cacahuatique Sur de El Salvador: un enfoque en especies comestibles subutilizadas y conocimiento local. *Agroecología*, *9*(1-2), 101-109. Recuperado de https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300681/216101.

Scanlon, M. G., & Zghal, M. C. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International*, *34*(10), 841-864. doi:10.1016/S0963-9969(01)00109-0.

Sehn, G. A. R., Nogueira, A. C., & Steel, C. J. (2016). Non-conventional raw materials for nutritional improvement of breads. En C. M. Rosell, J. Bajerska, & A. F. El Sheikha (Eds.), *Breads and its Fortification. Nutritional and Health Benefits* (pp. 248-272). Boca Raton, EE. UU.: CRC Press.

Serna-Saldivar, S. O. (2015). Nutrition and fortification of corn and wheat tortillas. En L.W. Rooney & S. O. Serna-Saldivar (Eds.), *Tortillas Wheat Flour and Corn Products* (pp. 29-64). Saint Paul, EE. UU.: AACC International.

Sivam, A. S., Sun-Waterhouse, D., Waterhouse, G. I. N., Quek, S. Y., & Perera, C. O. (2011). Physicochemical properties of bread dough and finished bread with added pectin fiber and phenolic antioxidants. *Journal of Food Science*, *76*(3), H97-H107. doi:10.1111/j.1750-3841.2011.02086.x.

Sobral, P. D. A., Menegalli, F. C., Hubinger, M. D., & Roques, M. A. (2001). Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. *Food Hydrocolloids*, *15*(4-6), 423-432. doi:10.1016/S0268-005X (01)00061-3.

Szczesniak, A. S. (1963). Classification of Textural Characteristics. *Journal of Food Science*, *28*(4), 385-389. doi:10.1111/j.1365-2621.1963.tb00215.x.

Treviño-Mejía, D., Luna-Vital, D., Gaytán-Martínez, M., Mendoza, S., & Loarca-Piña, G. (2016). Fortification of commercial nixtamalized maize (*Zea mays* L.) with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) increased the nutritional and nutraceutical content of tortillas without modifying sensory properties. *Journal of Food Quality*, *39*(6), 569-579. doi:10.1111/jfq.12251.

Verdú, S., Vásquez, F., Ivorra, E., Sánchez, A. J., Barat, J. M., & Grau, R. (2015). Physicochemical effects of chia (*Salvia hispanica*) seed flour on each wheat bread-making process phase and product storage. *Journal of Cereal Science*, *65*, 67-73. doi:10.1016/j.jcs.2015.05.011.

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria