

Caracterización colorimétrica, textura y calidad sanitaria de panes adicionados con maíces criollos y *Cúrcuma longa*

Colorimetric characterization, texture and sanitary quality of breads added with Creole corns and *Curcuma longa*

C. Hernandez-Aguilar, C. Valderrama-Bravo, A. Domínguez-Pacheco, R. Romero-Galindo, O. Igno-Rosario, E. Contreras-Gallegos, R. I. Tsonchev, A. Cruz-Orea

En esta investigación se planteó como objetivo caracterizar color, textura y calidad sanitaria de pan adicionado con maíz criollo y cúrcuma. Se realizaron 14 diferentes panes empleando seis tipos de maíces (M1, M2, M3, M4, M5 y M6). Los principales hallazgos fueron a) El color de los maíces, harinas nixtamalizadas y masas tuvieron diferencia significativa ($p < 0.05$) al comparar valores medios de parámetros de Luminosidad, a^* y b^* . Los maíces azules y rojizo M2 (37.01), M3 (44.06) y M6 (41.07) y, amarillos y amarillo-naranja M1 (21.26), M4 (15.92) y M5 (26.01) presentaron los valores inferiores en L^* y superiores en b^* , respectivamente. La menor diferencia en color ΔE encontrada en el proceso de transformación de maíz a harina y masa, fue para maíces amarillos. b) En el pan de maíz se encontraron diferencias significativas en variable a^* al compararse el mismo tipo de pan durante tres días consecutivos, en los panes BM1, BM5 y BM6, con una disminución de 7.5, 2.6 y 16.9%, con respecto al primer día. c) La calidad sanitaria del pan de trigo mejora con la adición de maíz nixtamalizado y cúrcuma. En los panes adicionados de maíz los que presentaron menor cantidad de colonias de hongos fueron los maíces azules y rojo (M2, M3 y M6). d) La dureza del pan de maíz criollo y cúrcuma no presentó diferencias durante tres días consecutivos beneficiando su conservación. El pan de maíz amarillo y cúrcuma BM1-C mostró incrementos en la dureza en los días 2 y 3.

The objective of this research was to characterize the color, texture and sanitary quality of bread added with creole corn and turmeric. Fourteen different breads were made using six types of corn (M1, M2, M3, M4, M5 and M6). The main findings were a) The color of the corn, nixtamalized flours and doughs had a significant difference ($p < 0.05$) when comparing mean values of Luminosity, a^* and b^* parameters. Blue and reddish corn M2 (37.01), M3 (44.06) and M6 (41.07) and, yellow and yellow orange M1 (21.26), M4 (15.92) and M5 (26.01) presented the lowest values in L^* and highest in b^* , respectively. The smallest difference in color ΔE found in the transformation process from corn to flour and dough, was for yellow corn. b) In corn bread, significant differences in variable a^* were found when comparing the same type of bread for three consecutive days, in breads BM1, BM5 and BM6, with a decrease of 7.5, 2.6 and 16.9%, with respect to the first day. c) The sanitary quality of wheat bread improves with the addition of nixtamalized corn and turmeric. The blue and red corn (M2, M3 and M6) showed the lowest number of fungal colonies in the breads with corn additives. d) The hardness of the bread made with creole corn and turmeric did not show differences during three consecutive days, benefiting its conservation. The yellow corn and turmeric bread BM1-C showed increases in the hardness on days 2 and 3, and the yellow corn and turmeric bread BM1-C showed increases in the hardness on days 2 and 3.

Introducción

El maíz criollo con sus diferentes pigmentos naturales podría ser aprovechado por su poder nutracéutico no solo en la elaboración de tortilla, frituras, totopos, atoles, pinolos, snacks, etc [1-3]; sino también puede adicionarse en productos de consumo básico como el pan. El cual es uno de los principales alimentos de la dieta humana en todo el mundo [4-8], y cuya tendencia es hacerlo funcional (i.e. que beneficie alguna función fisiológica del organismo) a través de harina compuesta [9-13,7]. El fomento y desarrollo de alimentos funcionales es una tendencia a nivel mundial que consiste en adicionar algún tipo de ingrediente bioactivo que le permita modificar sus características relacionadas a su poder terapéutico por su contenido de fibra, proteína, bajos carbohidratos e índice glucémico, hierro, etc. De este modo se podría tener productos con mejores características para consumo, siendo necesario ante la necesidad de prevención y/o atención a problemas de salud de la población [14-16]. De esta manera al pan se han incorporado diversos ingredientes nutracéuticos como germinado de lenteja, espirulina, té verde (matcha), moringa, espinaca, etc [17-19]. Debido a que el pan es un alimento que brinda energía a las

C. Hernandez-Aguilar[✉], A. Domínguez-Pacheco[✉],
R. Romero-Galindo, O. Igno-Rosario[✉]

Instituto Politécnico Nacional, SEPI-ESIME-Zacatenco,
Programa en Ingeniería de Sistemas-Sistemas biofísicos.
Gustavo A. Madero, Cd. de México, 07738, México.

C. Valderrama-Bravo[✉]
FES-Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México
San Sebastián Xhala, Edo. de México, 54714, México.

R.I. Tsonchev[✉]
Unidad Académica de Física, Universidad Autónoma de
Zacatecas
Zacatecas, Zac., 98068, México.

E. Contreras-Gallegos, A. Cruz-Orea[✉]
Departamento de Física, Centro de Investigación y de Estudios
Avanzados, Instituto Politécnico Nacional
Gustavo A. Madero, Cd. de México, 07360, México.

Received: October 22nd, 2021

Accepted: March 26th, 2022

Published: April 7th, 2022

© 2022 by the authors. Creative Commons Attribution

https://doi.org/10.47566/2022_syv35_1-220407

personas, pero tiene bajo nivel nutricional y capacidad antioxidante, alto índice glucémico y uso de conservadores en caso de pan de molde (para prevenir el desarrollo de hongos). Es necesario seguir adicionando ingredientes que ayuden a potencializar su efecto funcional, y superar las debilidades de este producto para consumo de la población en México, la cual se caracteriza en general, por su bajo consumo de verduras e incremento de niveles de diabetes principalmente en niños [20]. Por lo que, en la presente investigación se plantea elaborar y estudiar el pan de trigo (molde) adicionado de harina de maíz criollo nixtamalizado (HmcNx) de distintos colores (azul, rojo y amarillo), y maíz criollo y cúrcuma (*Curcuma longa* L.), de tal manera que se mejore su poder nutraceutico evidenciado a través de los cambios de color del prototipo alimenticio y se mantenga con aceptables medidas de textura y porosidad. Asimismo, fueron realizadas pruebas complementarias relacionadas a su calidad sanitaria.

El color es la característica principal de cualquier alimento, ya que aumenta el atractivo y la aceptabilidad de estos [2]. Este atributo puede estar relacionado con el contenido de compuestos bioactivos nutraceuticos como la clorofila (color verde oliva), betalaínas (rojo y amarillo), carotenoides (rojo, naranja y amarillo) y antocianinas (rojo, morado, azul, rosa, magenta) [21]. Las moléculas bioactivas poseen amplio efecto terapéutico, e.g. las del tipo polifenólico destacan por su capacidad antioxidante y realizar una serie de funciones protectoras en el cuerpo humano [22-23]. Algunos autores han demostrado que previenen efectos de las especies reactivas de oxígeno en el cuerpo [24-25], contrarrestando el estrés oxidativo y en consecuencia diversas enfermedades asociadas [26]. Existen diversos alimentos que contienen compuestos fenólicos como lo es el grano de maíz pigmentado y la cúrcuma (amarilla por su polifenol curcumina), cuyo nombre común es turmeric o palillo [18,27], los cuales han presentado interés para desarrollar alimentos funcionales. Sin embargo, debido al proceso de preparación de estos pueden existir cambios de contenido nutraceutico como en el caso de la nixtamalización, proceso en el que han sido estudiados los cambios en las propiedades estructurales, térmicas y morfológicas del maíz a lo largo de todas sus etapas [28] y donde también se ha encontrado que los pigmentos naturales como las antocianinas, son degradadas en la nixtamalización [29]. Por lo que, generar información en relación con los cambios de color de los insumos es relevante para mantener la funcionalidad de los alimentos, en específico este producto básico que podría ser mejorado en capacidad antioxidante y contenido nutraceutico para ser consumido por la población mexicana, donde se consume menos cantidad (30 Kg/año) de la recomendada por la OMS (90 Kg/año) [30], pero que además requiere consumir productos nutritivos y de bajo índice glucémico por el problema de diabetes y obesidad.

Materiales y Métodos

Maíz y polvo de cúrcuma

Se emplearon seis tipos diferentes de maíz (*Zea mays* L.) criollo M1 (rojo), M2 (azul), M3 (azul), M4 (amarillo), M5

(amarillo) y M6 (rojo), producido en condiciones de temporal en la comunidad “San Pedro Potla”, Primer Barrio Ejido, Temascalcingo, Estado de México, Coordenadas: 19°50'40.4"N 99°57'45.6"W a 2660 m.s.n.m. Así mismo, se empleó como ingrediente con elementos bioactivos el polvo de cúrcuma, el cual fue adquirido en la Ciudad de México con certificación Kosher e información nutricional (se especifican contenidos de proteínas: 10 g, carbohidratos: 67 g, azúcar: 3 g, fibra dietética: 23 g, sodio: 0 g y contenido de energía: 335 Kcal, por cada 100 g). La masa fue preparada a una concentración del 3% en relación con el peso de la harina de trigo (600 g). Las dimensiones físicas (DF) de largo, ancho y espesor se obtuvieron a partir de medidas realizadas en 4 repeticiones de 25 granos de cada variedad de maíz, mediante micrómetro digital (0-25mm/0.001mm, Surtek). En la Tabla 1, es posible observar las DF y el peso promedio de 100 g e imagen visual de los granos de maíz empleados para adicionar al pan de caja.

Harina de maíces criollos nixtamalizada

Los granos de maíz se limpiaron con el fin de eliminar materiales extraños, impurezas y granos rotos para evaluar el índice de flotación de acuerdo con Abdalaa *et al.* [31], para establecer el tiempo de cocción. El proceso de nixtamalización se realizó según la metodología propuesta por Valderrama-Bravo *et al.* [32]. En una solución de 1500 ml de agua se mezcló 5 g de hidróxido de calcio grado alimenticio (Fermont, Monterrey, México). Posteriormente se adicionó 500 g de maíz y se cocinaron a 90 °C por 40 min para M4 y 35 min para M1, M2, M3, M5 y M6, y se dejó reposar por 12 h.

Se separó el nejayote y se lavó el nixtamal con 750 ml de agua, para secarlo en un horno de aire a 55 °C durante 24 h. Las muestras secas se molieron en un molino de martillos (Pulvex 200, México) con una malla de 0.8 mm. Las harinas de maíz así obtenidas se envasaron en bolsas herméticas de polietileno y se almacenaron a 4 °C hasta su uso.

Formulación de pan de caja de maíz criollo y maíz criollo y cúrcuma

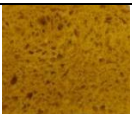
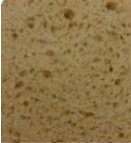
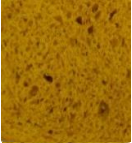
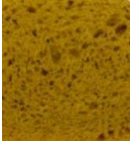
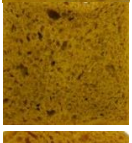
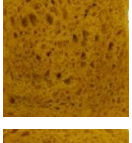
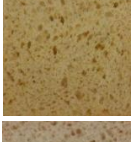
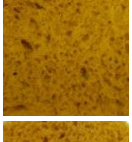
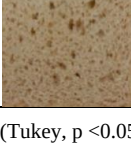
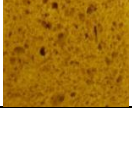
Las formulaciones para la elaboración del pan de caja fueron adaptadas de Hernández *et al.* [18-19], las cuales pueden ser observadas en la Tabla 2. Es posible apreciar los ingredientes usados para hacer la masa en porcentajes (agua, leche, huevo, sal, azúcar, aceite de olivo, levadura, harina de trigo y maíz). Los panes de trigo fueron adicionados con HmcNx al 10% sin y con cúrcuma al 3% de concentración en relación con la cantidad de harina empleada (600 g).

Caso I. Pan de trigo (control (BM0) - sin adición de maíz) y con seis tipos distintos de maíces adicionados (BM1, BM2, BM3, BM4, BM5 y BM6).

Caso II. Pan de trigo (control (BM0-C) - sin adición de maíz - con adición de cúrcuma) y con seis tipos distintos de maíces adicionados (M1, M2, M3, M4, M5 y M6), y 3% de cúrcuma (BM1-C, BM2-C, BM3-C, BM4-C, BM5-C y BM6-C).

Los ingredientes se incorporaron en un contenedor. La levadura tras su fermentación en 150 g de agua tibia y 150 g de leche (30 °C), se incorporó a la mezcla para formar la

Tabla 1. Características de maíz empleado para obtención de harina nixtamalizada para la preparación de pan nutracéutico.

Maíz Criollo	Imagen de grano	Peso (g) 100 granos	Largo Ancho Espesor	Índice de flotación (%)	Harina nixtamalizada	Pan de trigo adicionado con maíz	Adicionado con maíz y cúrcuma
M0	-	-	-	-	-		
M1		0.37	13.48±0.74 ^a	60.3 ± 1.5			
			8.11±0.54 ^a				
M2		0.33	13.80±0.62 ^b	62.7 ± 2.5			
			8.63±0.62 ^b				
M3		0.29	4.61±0.52 ^{ab}	62.3 ± 3.2			
			13.24±0.75 ^a				
M4		0.29	8.74±0.52 ^b	35.0 ± 2.0			
			5.029±0.51 ^c				
M5		0.48	15.87±0.55 ^c	57.3 ± 3.7			
			7.77±0.31 ^c				
M6		0.42	4.464±0.38 ^b	63.0 ± 3.6			
			13.80±0.64 ^b				
			8.74±0.49 ^b				
			4.71±0.35 ^a				

Medias con la misma letra dentro de una columna (largo, ancho y espesor) no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

masa de pan. Esta fue amasada en batidora con gancho en espiral durante 10 min. Luego, se colocó en un molde (de pan de caja) engrasado (con aceite de olivo), donde aumentó su volumen durante aproximadamente 1 h. El mismo procedimiento de preparación de pan, se realizó para cada tipo de acuerdo con la formulación. De esta manera una vez transcurrido el tiempo, se coció en un horno eléctrico (Black & Decker), pre-calentado (5 minutos) a 180 °C, durante 50 min. Tras la cocción, el pan se dejó enfriar a temperatura ambiente durante 2 h y posteriormente se cortó en rebanadas (de 1.5 cm de grosor) empleando un cuchillo eléctrico (Hamilton Beach, tipo EK08, 121 V, 11 Hz). Para validar las medidas de color, se realizó la formulación de pan empleando maíz M1, elaborando tres piezas de pan para obtener de cada una de ellas 20 repeticiones que serán evaluadas en color en distintos puntos de la rebanada de pan.

Color

El color de los diferentes tipos de maíces, harinas, masas y panes fue determinado mediante colorímetro Minolta CR 300. Los parámetros de color correspondientes al espacio de

color uniforme CIELab (L^* , a^* y b^*) fueron obtenidos directamente del equipo. L^* indica luminosidad (100= Blanco y 0=Negro), a^* , indica verdoso-rojizo [negativo (-a) (verde) a rojo (+a) (positivo)] y b^* , indica azulado-amarillo [negativo (-b) (azul) a amarillo (+b) (positivo)]. El equipo fue calibrado con un blanco de referencia $L^*=96.65$, $a^*=-0.03$ y $b^*=1.86$. En el caso de los panes elaborados en sus 14 formulaciones, las mediciones fueron realizadas durante tres días consecutivos (día, 1, 2 y 3) con el fin de verificar el cambio de color en el tiempo. Para efectos de reproducibilidad experimental que avale los resultados de color se realizaron en un experimento independiente, panes adicionados de maíz BM1 (sin adicionar cúrcuma) repitiendo la formulación del pan tres veces (i.e. obteniendo 3 piezas de pan). De cada muestra de pan se eligieron rebanadas al azar y se tomaron 20 mediciones en zonas distintas de las rebanadas; para hacer la comparación de los cambios de color en las variables de color L^* , a^* y b^* entre esos panes elaborados bajo la misma formulación.

Parámetros adicionales de color fueron determinados como índice de blancura (IB), índice de amarillez (IA), tono (h_{ab})

Tabla 2. Formulaciones de 14 panes de caja adicionados con maíz criollo y maíz criollo y cúrcuma.

"Pan de caja" adicionado con maíz criollo (<i>panM</i>)							
Ingredientes	BM0	BM1	BM2	BM3	BM4	BM5	BM6
Harina de trigo	86.58	77.92	77.92	77.92	77.92	77.92	77.92
Aceite	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46
Huevo	7.21	7.21	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54
Sal	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21
Azúcar	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Levadura	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Maíz M1	0	8.65	0	0	0	0	0
Maíz M2	0	0	8.65	0	0	0	0
Maíz M3	0	0	0	8.65	0	0	0
Maíz M4	0	0	0	0	8.65	0	0
Maíz M5	0	0	0	0	0	8.65	0
Maíz M6	0	0	0	0	0	0	8.65

"Pan de caja" adicionado con maíz criollo y cúrcuma (<i>panMC</i>)							
	BM0-C	BM1-C	BM2-C	BM3-C	BM4-C	BM5-C	BM6-C
Harina de trigo	77.92	75.32	75.32	75.32	75.32	75.32	75.32
Aceite	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46
Huevo	7.21	7.21	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54
Sal	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21
Azúcar	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Levadura	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Cúrcuma	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Maíz M1	0	8.65	0	0	0	0	0
Maíz M2	0	0	8.65	0	0	0	0
Maíz M3	0	0	0	8.65	0	0	0
Maíz M4	0	0	0	0	8.65	0	0
Maíz M5	0	0	0	0	0	8.65	0
Maíz M6	0	0	0	0	0	0	8.65

BM0: Pan control (sin adición de maíz); BM1 ... BM6: Pan adicionado con distintos tipos de maíz; BM0-C: Pan con cúrcuma (sin adición de maíz); BM1-C.... BM6-C: Pan adicionado con maíz y cúrcuma.

y croma (C_{ab}) [33-34]. Finalmente, se determinaron las diferencias de color en el espacio CIELAB entre grano de maíz-harina de maíz criollo nixtamalizada (ΔE_{m-h}), grano de maíz-pan de maíz (ΔE_{m-panM}), harina-pan de maíz (ΔE_{h-panM}), pan de maíz y de cúrcuma ($\Delta E_{panM-panMC}$), maíz-pan de maíz y cúrcuma ($\Delta E_{m-panMC}$), y harina-pan de maíz y cúrcuma ($\Delta E_{h-panMC}$), que se calculan como la distancia euclidiana entre sus ubicaciones en el espacio tridimensional definido por L^* , a^* y b^* [35]. Sumadas a estas diferencias de color, se realizaron las ΔE entre grano de maíz-masa (1) [masa elaborada adicionando maíz] ($\Delta E_{m-masa(1)}$), harina-masa (1) ($\Delta E_{h-masa(1)}$), masa (1) - pan de maíz ($\Delta E_{masa(1)-panM}$), grano de maíz - masa (2) ($\Delta E_{m-masa(2)}$), harina nixtamalizada de maíz - masa (2)

($\Delta E_{h-masa(2)}$) y, finalmente masa (2) - Pan maíz con cúrcuma ($\Delta E_{masa(2)-panMC}$). Las ecuaciones respectivas para los cálculos de tono, croma, índice de blancura y de amarillez y diferencias en color se presentan en Tabla 3.

Análisis del perfil de textura (APT)

El análisis de perfil de textura para las 14 formulaciones de pan sin cúrcuma y con cúrcuma se realizó con el analizador de textura (Brookfield Modelo CT3 25 K, USA) en una celda de carga de 25 kg. Después de cortado el pan en rebanadas se eligieron 5 rebanadas del centro y se guardaron en bolsas de polietileno para conservarlas antes de la medición. Se realizó el análisis para dos ciclos de compresión al 20% mediante un kit de prueba general TA TA25/1000 con un cilindro de diámetro y longitud de 50.8 y 20 mm, a una velocidad de 2 mm/s y 1g de precarga. Los parámetros obtenidos fueron dureza, índice de elasticidad, cohesividad y masticabilidad. El análisis de APT se inició a las 18 horas después de elaborado el pan, por tres días consecutivos; cinco repeticiones de cada muestra (en total por cada variable, 210 mediciones), fueron realizadas a una temperatura de 24 ± 1 °C.

Porosidad

La porosidad del pan fue determinada mediante procesamiento de imágenes: a) imagen original con las concentraciones de maíz y cúrcuma, b) imagen en escala de gris, c) imagen binarizada con los porcentajes asociados a la porosidad. Las imágenes originales se recortaron a un tamaño de 1800 x 1800 píxeles y se convirtieron a escala de gris con valores de intensidad entre 0 y 1. Como el brillo de la imagen varía en función de la concentración de maíz y cúrcuma, ya que produce una estructura específica del mismo, y también varía dependiendo de la iluminación, se empleó una binarización adaptativa a fin de calcular un umbral para cada píxel a partir de intensidad media local alrededor de la vecindad del píxel [36]. Para ello se empleó la función de Matlab (2019) Binaría (1).

Binaria = imbinarize (Imagen,'adaptive',
'ForegroundPolarity','dark','Sensitivity',0.4)(1)
donde Imagen es la imagen en escala de gris; 'adaptive'

Tabla 3. Ecuaciones empleadas para determinación de variables de color.

Descripción	Ecuación
Tono	$h_{ab} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) C_{ab}$ $= [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$
Croma	$C_{ab} = \frac{[(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}}{\arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)}$
Índice de blancura	$IB = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$
Índice de Amarillez	$IA = \frac{142.86 b^*}{L}$
Diferencias en color	$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$

opción de umbral adaptable localmente; 'ForegroundPolarity','dark', indica que el primer plano es más oscuro que el fondo; Sensitivity',0.4, establece un factor de sensibilidad para el umbral adaptativo de 0.4. Luego, mediante la aplicación de la función mencionada se obtiene la imagen Binaria la cual permite la visualización de áreas que corresponden a los poros. A partir de eso se hace un conteo de los píxeles con valor 1 y se divide por el área total de la imagen, el resultado se multiplica por 100 para obtener el porcentaje de área asociado a la porosidad del pan.

Prueba de calidad sanitaria de pan

La prueba de calidad sanitaria se estableció con el fin de evaluar la cantidad de colonias de hongos crecidas en el pan. Se estableció bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones para cada tipo de pan preparado con diferentes formulaciones. Se seleccionaron rebanadas de pan y se colocaron en bolsas de poliestireno previamente esterilizadas con alcohol. Las muestras se incubaron en espacio cerrado con una temperatura media de 24 ± 1 °C. La observación y cuantificación de las colonias fúngicas existentes se realizó a los 6 y 9 días de incubación. Las observaciones se realizaron según Hernández *et al.* [19]. El género del hongo se identificó según las claves taxonómicas [5]. Finalmente, se realizó el conteo de colonias de hongos, y el registro de datos.

Análisis estadístico y análisis de componentes principales

Análisis de la varianza. Las variables evaluadas que caracterizan a cada tipo de pan se analizaron mediante un análisis de varianza ($P \leq 0.05$) (ANOVA), prueba de Tukey y DMS (Diferencias mínimas significativas). La compilación de los datos y todos los cálculos de las pruebas se realizaron con el software SAS (Versión, 2002) [37].

Análisis de componentes principales (PCA). Se aplicó el ACP a los datos experimentales obtenidos para las variables evaluadas en panes de trigo elaborados con maíz y maíz y cúrcuma (día 1). El análisis se realizó utilizando el software R Project versión 0.10-47, con R Commander y el programa factoMiner y Fitopac (2.1).

Resultados

Color

Los maíces (M1-M6), harinas nixtamalizadas (procedentes del maíz) y panes de trigo adicionados con HmcNx y con HmcNx y cúrcuma se muestran en la Tabla 1. Es posible observar diferentes tonalidades de los maíces debido al contenido de pigmentos presentes, como los carotenoides en los granos amarillos y las antocianinas y flabafenos en los azules o rojos [38]. Así mismo es posible apreciar que los colores de los diferentes maíces adicionados al pan de trigo cambian las tonalidades de estos al compararse con el pan de trigo control (sin maíz adicionado), principalmente los que no llevan cúrcuma.

En la Figura 1 se presentan las coordenadas de color L^* , a^* y b^* de los maíces, harinas, masas para pan de trigo y maíz (m1) y masas (m2) para elaborar pan adicionado de maíz y cúrcuma (Figura 1i) y de los panes de trigo adicionados con

maíz nixtamalizado (panM) y de maíz y cúrcuma (panMC) medidos en tres días consecutivos (día 1, 2 y 3) (Figura 1ii). Los parámetros de color L^* a^* y b^* de los maíces y harinas (trigo y maíz) tuvieron diferencia significativa ($p < 0.05$) al ser comparados sus valores medios. En la variable a^* , los granos de maíz M1 (11.5) y M6 (14) presentan el 93.03 y 91.72% mayor con respecto al presentado por el maíz M4 (color amarillo claro) que tuvo un valor menor (0.96) (Figura 1i-a). Los valores encontrados en M1 y M6 están relacionados a tonalidades rojizas debido a la presencia de antocianinas y polifenoles [39]. Con respecto a las harinas de maíz nixtamalizadas, los valores de a^* disminuyeron

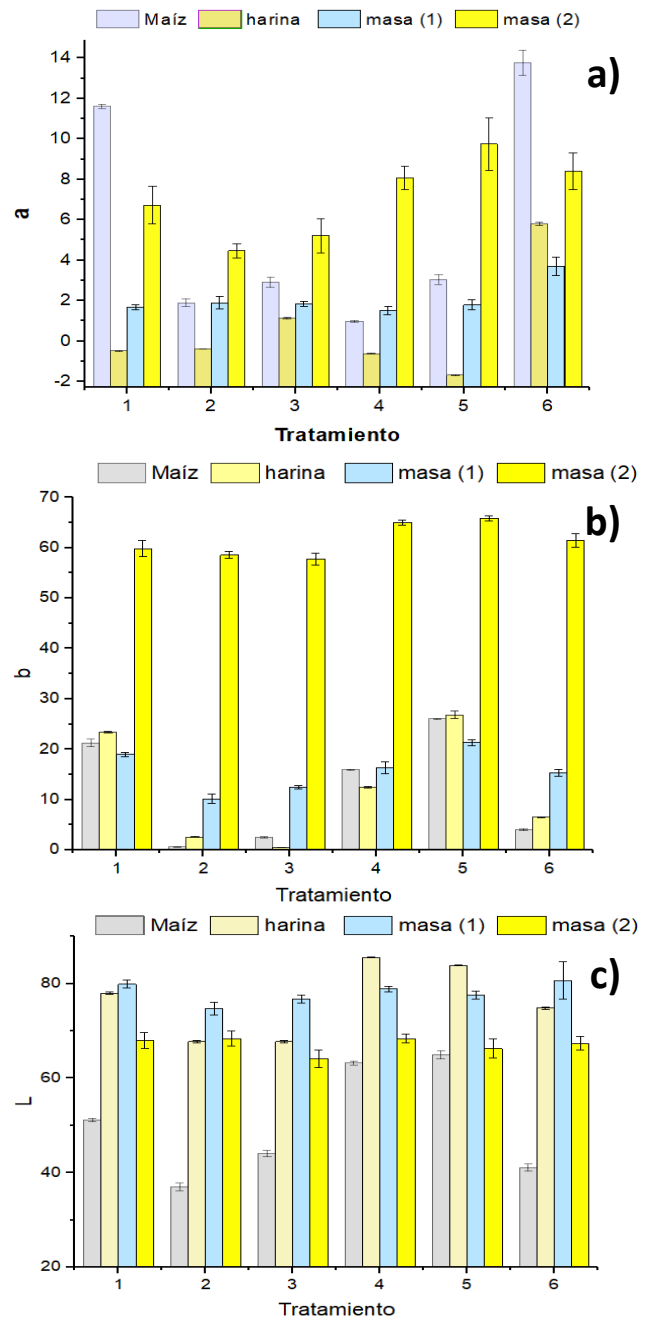


Figura 1i. Parámetros de color para grano de maíz, harinas nixtamalizadas y masas (1) – para elaborar pan adicionado con maíz y masas (2) para elaborar pan de trigo adicionado con maíz y cúrcuma.

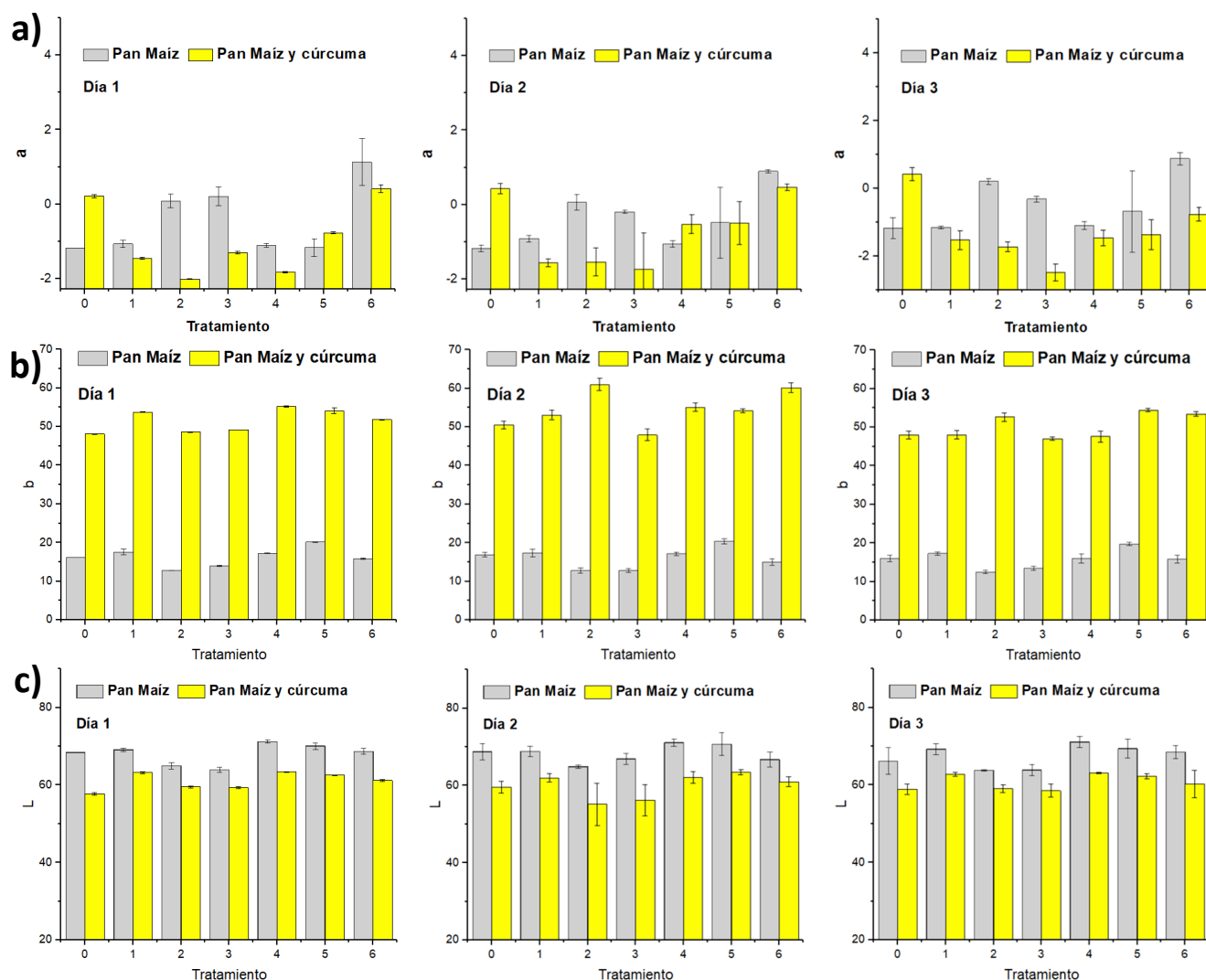


Figura 1ii. Parámetros de color de pan de trigo adicionado con maíz y con maíz y cúrcuma (Día 1, 2 y 3).

significativamente ($p \leq 0.05$), donde la mayor degradación de color fue para las harinas procedentes del maíz 1 (M1) de 11.6 a -0.49 seguidas del M2 (13.76 a 5.74). En los maíces (M2, M3, M4 y M5) la disminución de a^* fue inferior al compararse el grano de maíz y su harina nixtamalizada 1.89 a -0.39, 2.92 a 1.12, 0.96 a 0.062, 3.04 a -1.6, respectivamente. Este cambio se debe a que durante el proceso de nixtamalización hay pérdidas de compuestos nutraceuticos que están relacionados con el color del maíz como ya ha sido reportado por otros autores [40]. Con respecto al valor de a^* para la harina de trigo el valor es similar al maíz M4, que es clasificado como maíz blanco. Los valores de b^* de maíces y harinas son positivos, con tendencia a tonalidades amarillas, relacionado con la presencia de carotenoides, tal como lo han sugerido algunos estudios examinando productos alimenticios amarillos quienes han reportado a la variable b^* como un importante predictor de contenido de carotenoides [41-42]. Los maíces rojos y amarillos M1 y M5 obtuvieron los valores de 21.29 y 26.01. La harina proveniente de estos maíces, a pesar del proceso de nixtamalización no disminuyen sus valores. Sin

embargo, en la masa elaborada procedente de esos maíces los valores son menores 19.03 y 21.37. Cabe mencionar que dentro de este rango de valores otros autores han reportado el valor de b^* en el orden de 9.8-31.5 para especies *C. pepo* y *C. moschata* de color (subjetivo) amarillo blanquecino claro y amarillo claro, lo cual fue relacionado con contenido de carotenoides totales asociado principalmente a luteína, zeaxantina y betacarotenos [43]. Con los resultados obtenidos en el presente estudio, el rango de valores obtenidos en la harina nixtamalizada y la masa de maíz conserva contenido de carotenoides, ya que otros autores han encontrado en esos niveles de b^* componentes nutraceuticos. Además, también se observa (Figura 1i-b) que los maíces M1, M2, M5 y M6 incrementaron el valor de b^* en las harinas, lo cual se atribuye a que durante la nixtamalización la adición de hidróxido de calcio origina tonalidades amarillentas en el nixtamal y como consecuencia en las harinas [44].

El valor de L^* (ver Figura 1i-c) se incrementa significativamente en las harinas M1 y M3 (34%), M2 y M6 (45%), M4 (26%) y M5 (22%) con respecto a los granos de

maíz de los cuáles proceden. Durante el proceso de nixtamalización parte del pericarpio se desprende, el cual se queda en el agua de lavado (nejayote) y en esta parte del maíz es donde se concentran la mayor cantidad de carotenoides y antocianinas [44,45]. Otros autores han demostrado que el parámetro L^* se modifica en el proceso de elaboración de harina, cuando se utiliza el maíz para elaborar snacks; la L^* se ve incrementada de 60.8 a 87.4, teniendo un valor inferior en harina hidratada (78.1) [46]. En este trabajo, la harina de trigo (M0) L^* (91) tiene el mayor valor en comparación con las harinas de maíz (Figura 1i-c), porque en la molienda seca se retira todo el pericarpio, mientras que, en las harinas de maíz, parte del pericarpio queda en el grano. De acuerdo con Itle y Eileen [47], a mayor valor de L^* , los amarillos son claros o claros blanquecino cuyos niveles se encuentran entre 81-83; valores de amarillo intensos o rojo naranja opacos se encuentran en un nivel de valores de L^* entre 70 -75. De esta manera, mientras mayor es el valor de L^* , menor contenido de nutraceuticos tiene. Esto significa que el maíz mejora la calidad nutraceutica de la masa de trigo. Se observa en Figura 1i-c que el valor de L^* para maíz es menor que para harina y masa (1), consecuentemente pierde propiedad nutraceutica, sin embargo, los valores de la masa aún se encuentran en rango de valores donde se ha reportado contenido de carotenoides totales, esto corresponde al rango de valores entre 74-81, donde los valores más altos son para las masas provenientes de maíces M1, M4 y M5 (maíces amarillos). Igualmente, en estos maíces se encontraron valores superiores de L^* y en los maíces azules y rojo más intenso (M2, M3 y M6) los valores fueron menores (30-40). Aguilar-Hernández *et al.* [48] informaron que el valor de L^* en olote y grano de maíz morado varían entre 9-25, donde el valor en olotes es mayor; así mismo en su contenido de antocianinas donde la cianidina se presenta en mayor concentración. Los resultados de los autores indicaron que a valores de luminosidad más bajos se relaciona con mayor contenido de antocianinas y un color morado oscuro de grano. El parámetro de color que se relaciona con el contenido de antocianinas es la luminosidad. En estudios llevados a cabo en 20 tipos de granos de líneas de maíz morado cuyos colores fueron clasificados visualmente como azul oscuro, rojo, morado azulado, morado rojizo y morado intenso algunos autores encontraron que L^* varía entre 5-50, relacionando colores oscuros si $0 \leq L^* \leq 50$ y colores claros si $51 \leq L^* \leq 100$ [49]. Por otro lado, resulta evidente en la Figura 1i, que la masa elaborada con maíz y cúrcuma (2), modifica los valores de L^* , a^* y b^* . Al compararse masas (1) y (2), en masa 2 se incrementa a^* y b^* y disminuye L^* , esto significa que se potencializan las propiedades nutraceuticas adicionando maíz y cúrcuma en la elaboración de masas para hacer pan.

Con respecto a los hallazgos encontrados en los panes, las coordenadas de color de pan de trigo adicionado con maíz y con maíz y cúrcuma muestran diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los diferentes panes por día de evaluación (Figura 1ii), pero entre los tres días de evaluación no existieron diferencias estadísticas significativas en la mayoría de los parámetros de color como puede verse en la Tabla 4. Es posible observar en dicha tabla la comparación de valores

medios de parámetros de color L^* , a^* y b^* en los días 1, 2 y 3 del pan adicionado con maíz y maíz y cúrcuma. Los valores de a^* en panM y panMC (Figura 1ii-a) presentan valores de -1.19-0.2 y -2.01-0.41, -1.19-0.2 y -2.01- 0.41 y finalmente, -1.17- 0.7 y -2.48 a 0.42 para los días 1, 2 y 3. Para el pan de maíz BM2, BM3 y BM6 se tienen valores positivos de a^* , mientras que para los panes control BM0 y BM1, BM4 y BM5 se presentan valores negativos. Cuando se adiciona cúrcuma, los valores de a^* se modifican presentando en el caso del pan control valor positivo (0.21) y el valor de BM6-C, se redujo al compararlo con BM6 (día 1), esto significa que a valores positivos de $a^*(+)$ se tiende a color rojizo.

Para b^* (Figura 1ii-b) se aprecia un valor significativamente mayor en los panMC al compararse con los panes adicionados solamente de maíz. Aunque ambas muestras (panM y panMC) estuvieron dentro de una ventana de valores de 12.8 – 20.1 y 48.12-55.1, 12.7-20.3, 12.4-19.7 para los días 1, 2 y 3. En este sentido la presencia de la cúrcuma cambia el color de los panes a tonalidad más amarillenta, debido a la curcumina [50]. Ho *et al.* [51], reportaron que el cambio de color en los panes está relacionado con los pigmentos de la cúrcuma, y compuestos fenólicos, que presentan reacciones de oxidación. Cabe señalar que los valores para el panM, al igual que la masa de maíz mencionada anteriormente, correspondió para BM1, BM4, BM5 y BM6 (pan proveniente de grano de maíz amarillos y rojizos). Sin embargo, el pan proveniente de maíz control (BM0) y adicionado con maíz azul tuvieron menor valor de b^* , por lo tanto, menor contenido de carotenoides. Eso está descrito en la literatura; colores azules y morados son caracterizados por antocianinas principalmente mas no por contenido de carotenoides [48,49].

Con respecto a la luminosidad L^* (Figura 1ii-c) en los tres días de evaluación del pan, hubo un menor valor para los panes de maíz y cúrcuma al compararlos con los valores del pan de maíz. Los rangos de valores de L^* en pan, panM y panMC, estuvieron entre 63.9-71.19 y de 57.72-63.4, 64.8-71.1 y 55.14-63.5 y, 63.8-71.1 y 58.5-63.13 para el día 1, 2 y 3, respectivamente. Es posible decir que la presencia de la cúrcuma aumenta el poder nutraceutico del pan como se ha demostrado en trabajos previos [19]. Así mismo se observa, que los panes sin cúrcuma muestran valores diferentes de luminosidad en su miga, siendo los valores para las muestras de pan BM2, BM3 y BM6 procedentes de maíz azul (M2 y M3) y rojizo (M6) los de menor valor de L^* . El color de la miga en el pan es usualmente asociado con el color de la materia prima y sus interacciones entre sus ingredientes, así al modificar ingredientes de maíz y maíz y cúrcuma la dimensión de color $L^*a^*b^*$ es modificada significativamente, entre los panes. No así entre todos los parámetros de colores por día evaluados.

Nuestros resultados indican que el color del pan no se modifica en la mayoría de los panes panM y panMC en L^* , a^* y b^* en los tres primeros días después de su elaboración (Tabla 4). En el pan de maíz, la componente a^* fue la que presentó los mayores cambios, ya que disminuyó su valor en BM1(7.5%), BM5 (2.6%) y BM6 (16.9%). En relación con los panes de maíz y cúrcuma, principalmente la componente

Tabla 4. Comparación de valores medios y significancia de las variables de color (L^* , a^* y b^*) en los días 1, 2 y 3 del pan adicionado con maíz y maíz y cúrcuma.

Tipo de pan	L^*	a^*	b^*	Tipo de pan	L^*	a^*	b^*
BM0 (1)	68.43 a	-1.19 a	16.23 ba	BM0-C (1)	57.72 a	0.21 a	48.12 a
BM0 (2)	68.78 a	-1.182 a	16.89 a	BM0-C (2)	59.57 a	0.42 a	50.51 a
BM0 (3)	65.745 a	-1.17 a	16.02 b	BM0-C (3)	58.903 a	0.42 a	48.01 a
Significancia	0.37 ns	0.98 ns	0.09 ns	Significancia	0.42 ns	0.11 ns	0.16 ns
BM1 (1)	69.09 a	-1.07 b	17.55 a	BM1-C (1)	63.22 a	-1.45 a	53.76 a
BM1 (2)	68.85 a	-0.92 a	17.38 a	BM1-C (2)	61.84 a	-1.57 a	53.12 a
BM1 (3)	68.85 a	-1.15 b	17.25 a	BM1-C (3)	62.73 a	-1.52 a	52.64 a
Significancia	0.96 ns	0.005**	0.91 ns	Significancia	0.44 ns	0.81 ns	0.61 ns
BM2 (1)	64.983 gh	0.08 b	12.81 h	BM2-C (1)	59.49 a	-2.01 a	48.59 b
BM2 (2)	64.86 gh	0.06 b	12.73 h	BM2-C (2)	52.38 b	-1.54 a	60.98 a
BM2 (3)	63.76 h	0.2 b	12.45 h	BM2-C (3)	59.04 a	-1.72 a	47.03 b
Significancia	0.11 ns	0.46 ns	0.71 ns	Significancia	0.01**	0.33 ns	0.001**
BM3 (1)	63.90 b	0.20 a	13.98 a	BM3-C (1)	59.34 a	-1.31 a	49.21 a
BM3 (2)	66.88 a	-0.20 ba	12.82 a	BM3-C (2)	58.92 a	-1.73 ba	47.94 a
BM3 (3)	63.86 b	-0.31 b	13.41 a	BM3-C (3)	58.52 a	-2.48 b	47.59 a
Significancia	0.002*	0.08 ns	0.29 ns	Significancia	0.74 ns	0.08 ns	0.33 ns
BM4 (1)	71.19 a	-1.10 a	17.23 a	BM4-C (1)	63.37 a	-1.83 b	55.19 a
BM4 (2)	71.07 a	-1.06 a	17.14 a	BM4-C (2)	62.86 a	-0.53 a	55.11 a
BM4 (3)	70.62 a	-1.09 a	16 a	BM4-C (3)	63.07 a	-1.46 b	54.46 a
Significancia	0.56 ns	0.84 ns	0.13 ns	Significancia	0.76 ns	0.0008**	0.576 ns
BM5 (1)	70.06 a	-1.17 b	20.11 a	BM5-C (1)	62.58 a	-0.77 a	54.10 a
BM5 (2)	70.6 a	-0.95 a	20.34 a	BM5-C (2)	63.09 a	-0.83 a	54.22 a
BM5 (3)	69.73 a	-1.2 b	19.70 a	BM5-C (3)	62.42 a	-1.52 b	53.44 a
Significancia	0.84 ns	0.01 *	0.2 ns	Significancia	0.80 ns	0.01**	0.51 ns
BM6 (1)	68.67 a	1.12 a	15.87 b	BM6-C (1)	61.17 a	0.41 a	51.8 4 b
BM6 (2)	66.73 b	0.90 b	15.03 b	BM6-C (2)	60.17 a	0.44 a	60.17 a
BM6 (3)	68.02 ba	0.93 ba	15.96 b	BM6-C (3)	59.29 a	-0.78 b	50.66 b
Significancia	0.08 ns	0.05 *	0.2 ns	Significancia	0.47 ns	0.0002 **	0.0007**

Medias con diferente letra en una columna por tipo de pan para los días (1), (2) y (3) son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). ns: no hubo diferencias significativas, (DMS, $\alpha = 0.05$). *, **Significativo al 5 y 1% de probabilidad. Número de observaciones por tipo de pan en los días 1, 2 y 3 $n=60$, haciendo un total de observaciones para los 14 tratamientos evaluados de 2160. BM0: Pan control (sin adición de maíz); BM1 ... BM6: Pan adicionado con distintos tipos de maíz; BM0-C: Pan con cúrcuma (sin adición de maíz); BM1-C.... BM6-C: Pan adicionado con maíz y cúrcuma.

b^* presento las mayores modificaciones incrementándose al segundo día de evaluación de color para BM2-C (25.49%) y BM6-C (16.06%).

En general, nótese que las mayores diferencias en color en espacio Cielab (ΔE) entre las muestras evaluadas (Tabla 5-sección A) entre maíz, granos de maíz y pan de maíz y cúrcuma fueron encontradas cuando se comparan tanto los granos de maíz y harina de maíz con el pan de trigo adicionado de maíz y cúrcuma. Siendo los mayores cambios ($\Delta E = 53.06$) entre la harina de trigo y el pan adicionado con maíz y cúrcuma. Seguidos de las diferencias $\Delta E_{maíz-panMC}$ y $\Delta E_{harina-panMC}$ para maíces M2 (52.46) y M3 (46.05) y M4 (48.01) y M3 (47.29), respectivamente y así mismo las diferencias $\Delta E_{panM-panMC}$ encontradas para los panes

procedentes de maíces M4 (38.939) y M5 (36.221). Por otro lado, las menores diferencias fueron las encontradas $\Delta E_{harina-panM}$ entre harinas y panes procedentes de maíces M1 (8.2) y M3 (11.19) y $\Delta E_{maíz-panM}$ en M4 (6.378) y M5 (10.42).

En la sección B de la misma Tabla 5, también es posible observar las diferencias entre las masas de los maíces y la harina, y las muestras de pan. Como se puede observar las mayores diferencias entre el grano de maíz y la masa (1) ($\Delta E_{m-masa(1)}$), se da al comparar las masas procedentes de los maíces M2 y M6 seguidos de M1 y M3. Diferencias menores de color la presentaron los maíces M4 (14.02) y M5 (16.9); lo cual coincide con los cambios en color encontrados entre el grano de maíz y la harina. De esta

Tabla 5. Diferencias de color entre granos de maíz, harina, pan de maíz y pan de maíz y cúrcuma en espacio CIELab.

	$\Delta E_{\text{maíz-harina}}$ maíz-harina	$\Delta E_{\text{maíz-panM}}$ maíz-pan	$\Delta E_{\text{harina-panM}}$ harina-pan maíz	$\Delta E_{\text{panM-panMC}}$ pan maíz-pan maíz y cúrcuma	$\Delta E_{\text{maíz-panMC}}$ maíz-pan cúrcuma	$\Delta E_{\text{harina-panMC}}$ harina-pan de cúrcuma
Diferencias de color A						
H0	0	20.099	20.099	36.483	53.063	53.063
M1	29.540	23.290	8.200	35.733	37.576	34.492
M2	30.894	33.310	17.547	28.725	52.461	46.235
M3	23.856	22.554	11.191	36.231	46.056	47.298
M4	22.635	6.378	16.690	38.939	38.653	48.015
M5	19.472	10.427	13.502	36.221	28.548	35.500
M6	34.753	32.723	11.559	33.823	46.941	44.575
Diferencias de color B						
	$\Delta E_{m-masa (1)}$	$\Delta E_{h-masa (1)}$	$\Delta E_{masa (1)-PanM}$	$\Delta E_{m-masa (2)}$	$\Delta E_{h-masa (2)}$	$\Delta E_{masa (2)-PanMC}$
H0	-	14.625	13.892	-	58.489	21.046
M1	32.450	5.208	11.276	42.358	38.470	11.233
M2	46.698	10.585	10.2688	65.961	56.209	14.852
M3	31.651	15.023	13.086	58.847	57.587	11.789
M4	14.029	8.007	8.165	49.853	55.904	14.810
M5	16.977	8.980	8.237	40.440	44.284	16.211
M6	42.205	10.834	12.291	63.399	55.564	13.966

H0: Harina, M1 ... M6: diferentes tipos de granos de maíz.

manera se podría decir que hay menor degradación por proceso de nixtamalización de los maíces amarillos, además que se compensa con la propia reacción del color del maíz debido al proceso de nixtamalización [52]. En la segunda columna de la Tabla 5 en la misma sección (B), se observa que la diferencia mínima se encuentra entre los colores de la harina y las masa (1) de los maíces M1 (5.20), M4 (8.00) y M5 (8.98), resulta evidente que existen menores cambios en el proceso de harina a masa que con respecto a la conversión de grano a harina. En relación, a las diferencias de color entre masa y pan de maíz ($\Delta E_{masa (1)-PanM}$) coincide en tener los menores cambios entre las comparaciones de M4 (8.16) y M5 (8.23) y sus respectivos panes BM4 y BM5. Las diferencias de color, es posible observar, son mayores cuando se hacen las comparaciones del grano de maíz, la harina de maíz nixtamalizado y la masa (2), que es la que se elaboró adicionando maíz y cúrcuma. Donde claramente se atribuyen los cambios en el color debido a la cúrcuma agregada en la masa (2) elaborada. Los cambios de color $\Delta E_{m-masa (2)}$, $\Delta E_{h-masa (2)}$, $\Delta E_{masa (2)-PanMC}$, variaron entre 40.44-65.96, 38.47-58.48 y 11.23-21.04 y las diferencias de $\Delta E_{m-masa (1)}$, $\Delta E_{h-masa (1)}$, $\Delta E_{masa (1)-PanM}$ fueron entre 14.02-46.69, 8-15.02 y 8.16-13.8. De esta manera, es necesario proponer alternativas de alimentos y sus respectivos procesos de elaboración adicionando maíz criollo donde se conserve lo mejor posible su poder nutracéutico, aunque también se podría considerar adicionar otros elementos bioactivos complementos. En este caso se plantea el uso de la cúrcuma, la cual se ha demostrado produce los mayores cambios de color, a la concentración del

3% de adición, donde ha sido reportado que aún está en el rango de aceptación en las preferencias sensoriales de las personas en otros estudios, donde las concentraciones preferidas están entre 2-6% principalmente [18,53,54].

En la prueba de reproducibilidad experimental se encontró de acuerdo con el análisis estadístico realizado en las variables L^* , a^* y b^* , haciendo el análisis de varianza y la comparación de valores medios de los panes BM1 (1, 2 y 3), que no existieron diferencias estadísticas significativas en ninguna de los parámetros de color (Tabla 6). Cabe señalar que todas estas variables se encuentran dentro del rango de valores que corresponden a color amarillo, naranja y rojizo asociado a contenido de carotenoides [55]. Aunque la variable relevante asociada al color amarillo es la b^* . Estudios realizados en jugo de naranja con valores de b^* entre 60-76, sugirieron correlación positiva con el contenido de α -criptoxantina, β -criptoxantina, α -caroteno y β -caroteno de acuerdo con Meléndez Martínez *et al.* [41]. Otros autores asocian valores de b^* en el rango límite inferior de 9.8 con contenido de luteína y carotenoides totales, en cierta especie de calabaza de color amarilla clara blanquizca [47]. El contenido de carotenoides y parámetros de color CIE $L^*a^*b^*$ se han correlacionado en granos de maíz híbrido (*Zea Mays* L.) amarillo demostrando presencia de Lutein, Zeaxantina, β -criptoxantina β -caroteno y carotenoides totales. En el pan elaborado a partir de maíz nixtamalizado, se degrada, pero aún se localiza en rango de valores en B, donde se presenta contenido de carotenoides totales [56].

Otra perspectiva de resultados del pan en el día 1 se muestra en la Figura 2, donde se representan las coordenadas

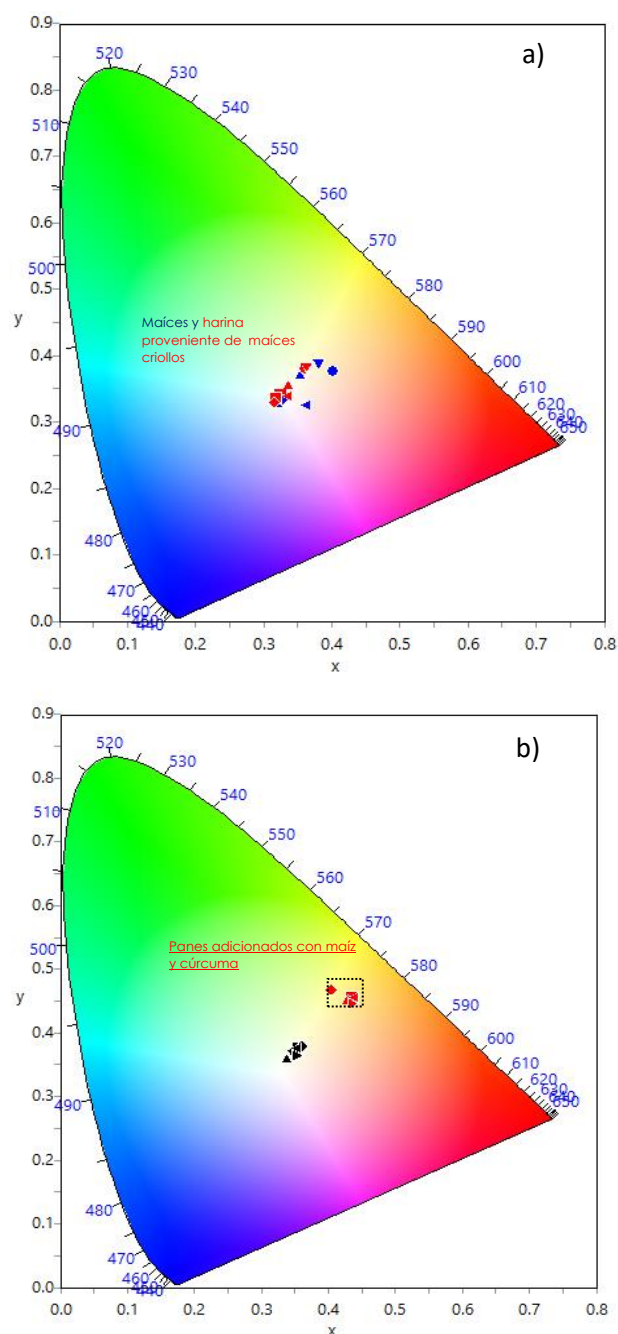


Figura 2. Coordenadas “xy” del tono en el triángulo cromático CIE (punto acromático neutro $x=0.333$, $y=0.333$) a) Maíces y harina proveniente de maíces criollos b) Pan de trigo adicionado con maíz y con maíz y cúrcuma.

“xy” para ubicar la región del tono de color de las muestras. El eje “x” es la proporción relativa de rojo y la “y” es la proporción relativa de verde. Se observa en la Figura 2a que los maíces y las harinas (provenientes de los maíces) se ubican en “x” y “y” entre los valores de 0.31-0.41, 0.32-0.4 y 0.3-0.36, 0.32-0.39, i.e. el proceso de obtención de harina nixtamalizada (transformación de maíz a harina) modifica el color. De esta manera ocupa distintas coordenadas “xy” en el triángulo cromático CIE. Se aprecian una variación de rango de en “x” (0.1 a 0.06) y “y” (0.08-0.07). En la Figura 3b, se observan las coordenadas “xy” para el grupo de panes de maíz ($x = 0.33-0.37$ y $y = 0.345-0.39$) y los panes

Tabla 6. Comparación de variables de color (L^* , a^* y b^*) del pan BM1.

Tratamientos	Variables respuesta		
	L^*	a^*	b^*
BM1 (1)	60.49±1.36 ^a	2.26±0.31 ^a	15.64±0.74 ^a
BM1 (2)	60.58±0.88 ^a	2.41±0.26 ^a	15.43±0.67 ^a
BM1 (3)	60.47±0.65 ^a	2.24±0.29 ^a	15.47±0.74 ^a
C.V.	1.53	11.48	4.85
Media	60.51	2.3	15.51
Significancia	0.92 ns	0.10 ns	0.66 ns
DMS	0.595	0.169	0.4827

Medias $\pm$ desviación standard con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

ns: no hubo diferencias significativas ($P < 0.05$). DMS (Diferencias mínimas significativas) (DMS, $\alpha = 0.05$), C.V.: Coeficiente de variación, BM1 (Pan de trigo adicionado con maíz M1). Número de observaciones $n = 60$. Variables respuesta: BM1: Pan adicionado con maíz M1.

de maíz y cúrcuma ($x=0.4-0.45$ y $0.44-0.48$), en este último grupo se ubican los panes en las coordenadas de color más aproximado a los amarillos. Diferencias en las coordenadas de color se distinguen entre panes de maíz y maíz y cúrcuma apreciando en este espacio de color, las diferencias de los tipos de panes evaluados.

Análisis del perfil de la textura del pan (TPA) y porosidad

Los datos del TPA para los panes de maíz sin (Figura 3a, c y e) y con cúrcuma (Figura 3b, d y f) a diferentes días se

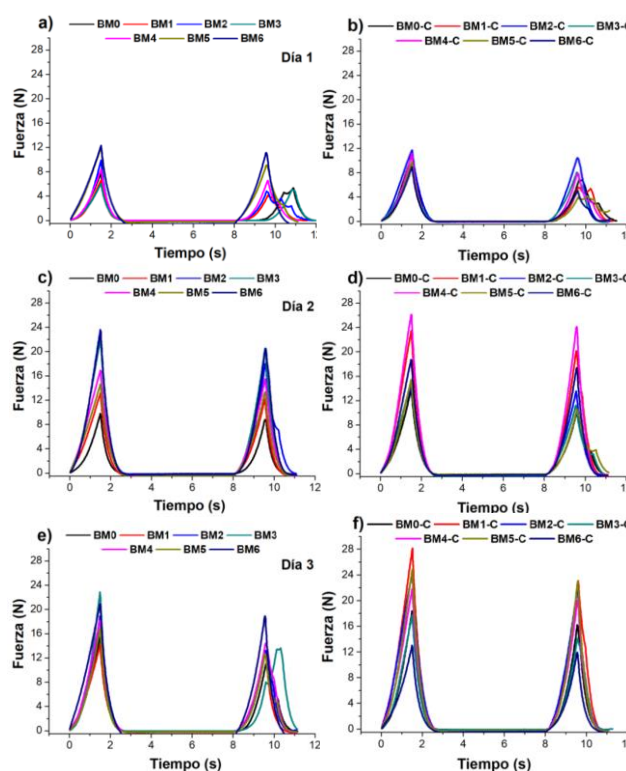


Figure 3. Curvas de análisis de perfil de textura a) Pan adicionado con maíz más control (pan de trigo) and b) Pan adicionado con maíz y cúrcuma más el pan control (pan de trigo adicionado con cúrcuma).

muestran en las Figura 3. En un análisis de TPA, se simula el esfuerzo de la mandíbula al morder los alimentos, mostrando que las características de textura de los alimentos sean más predecibles. En las figuras se observan cambios en la fuerza para los diferentes tratamientos, en la cual no hay fracturabilidad. Así mismo, la dureza, que es el pico más alto en el primer ciclo de la curva de TPA es mayor en todos los tratamientos, mientras que en el segundo ciclo se observa un menor valor, resultado de la deformación que el pan presenta cuando se comprime y del grado de recuperación que tienen cada uno de los panes. Es evidente que la presencia de la cúrcuma influye en la curva de TPA, así como los días de medición. Para el día 1, se observa en la Figura 3a, que la curva del pan BM3, mostró los valores de fuerza menores en ambos ciclos de compresión, respecto a los demás tratamientos. Sin embargo, cuando se adicionó cúrcuma (Figura 3b), los valores de fuerza aumentaron aproximadamente el 80% para el pan BM3-C. En el pan

control, elaborado con harina de trigo, mostro un comportamiento similar porque en BM0 la dureza fue de 7.64 N y en BM0-C de 10.91 N.

Los resultados están de acuerdo con los reportados por Hernández *et al.* [18], quienes adicionaron cúrcuma a diferentes concentraciones en pan, reportando incrementos en la dureza a las diferentes concentraciones de cúrcuma. Por el contrario, para el pan BM6 los valores disminuyeron alrededor del 38% de 12.33 N a 8.95 N en el pan BM6-C. También, en el pan BM5 hay una reducción aproximadamente de 33%, respecto con la dureza del pan BM5-C. En el día 2 de almacenamiento es evidente el aumento de la dureza en todos los tratamientos (ver Figura 4c y d). En los panes BM2, BM3 y BM6 disminuyó la dureza 63%, 49% y 24.5%, respectivamente cuando se adiciona cúrcuma, lo que representa un resultado importante en relación con la vida útil del pan. Estos panes provienen de maíces M2, M3 y M6 de coloración azul y rojo. La presencia

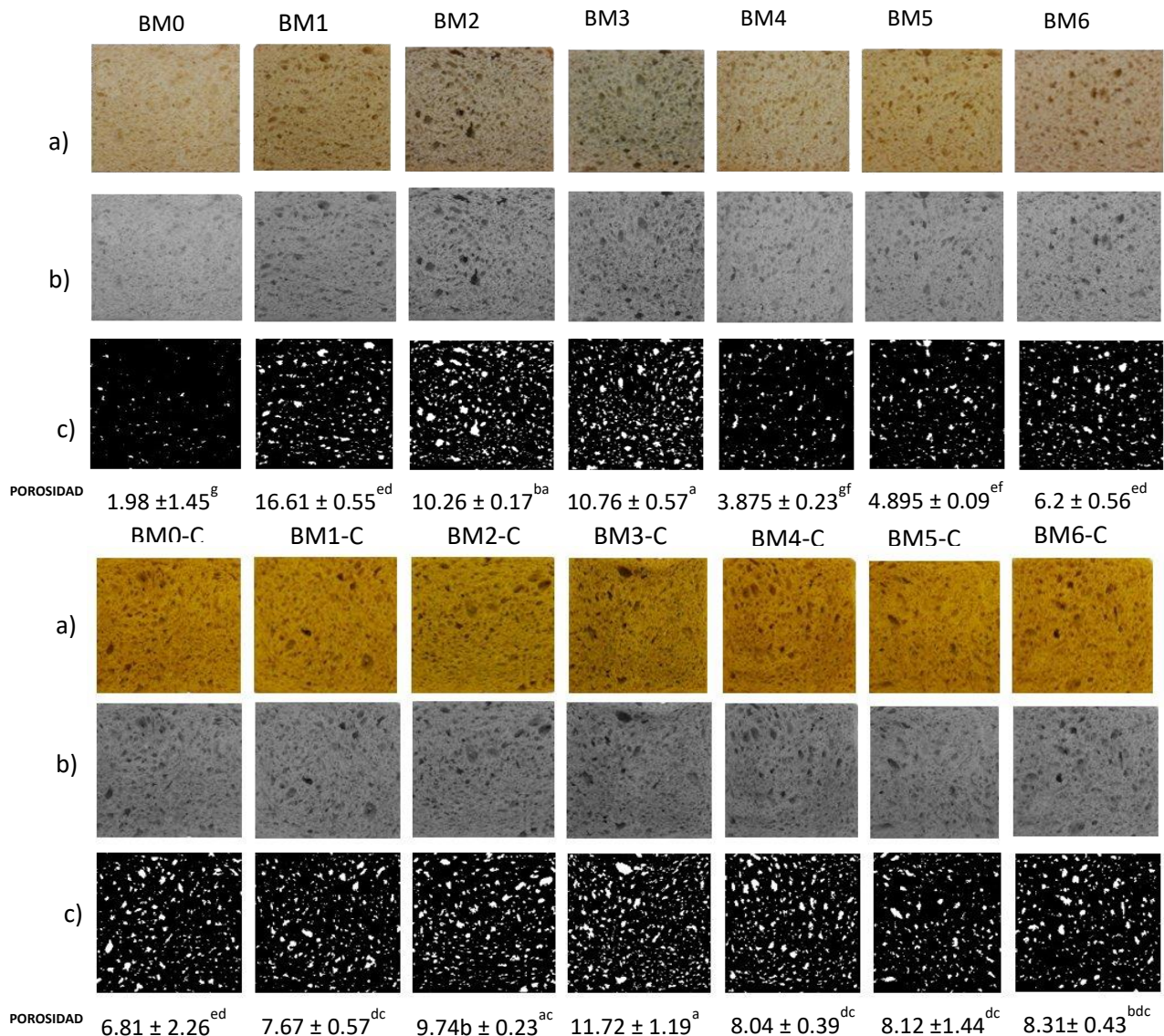


Figura 4. Análisis de porosidad de pan a) imagen digital, b) imagen en escala de grises y c) imagen binaria. Medias $\pm$ desviación standard de porosidad, valores con diferente letra en renglón respectivo son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

de antocianinas en estos maíces está relacionada a la coloración y estos compuestos nutraceuticos con propiedades antioxidantes, al combinarse con la cúrcuma, retarda el envejecimiento del pan. Por el contrario, en los panes BM0, BM1, BM4 y BM5 muestran un aumento en la dureza del 34%, 75%, 54% y 15% cuando se adiciona cúrcuma, respectivamente. Cabe mencionar, que pan BM0 es el control elaborado con harina de trigo, el BM4 contiene maíz blanco, BM1 maíz amarillo y BM5 maíz amarillo-naranja; los cuales por la coloración que presentan contienen mayor contenido de carotenoides. Por consiguiente, es muy importante denotar que el uso de harinas de maíces criollos nixtamalizadas que contienen antocianinas al combinarlas con cúrcuma produce un sinergismo en beneficio que permite prolongar la frescura del pan. En el día 3, los incrementos de dureza respecto al día 2 no muestra grandes cambios; sin embargo, en los panes BM0, BM1, BM2, BM4 y BM5 hay un aumento de la dureza cuando se adiciona cúrcuma del 18.5%, 89%, 28.47%, 19.5% y 49.7%, respectivamente. Es importante denotar que en el pan BM1 que contiene harina de maíz amarillo mostró los incrementos más altos en la dureza cuando se adiciona cúrcuma en los días 2 y 3. Este hallazgo ha demostrado con alta probabilidad, que la presencia de carotenoides en combinación con cúrcuma incrementa al paso de los días la dureza del pan. Por lo que se recomienda consumir en los primeros días o sino hacerlo tostado para mantener aceptación sensorial adecuada por posible consumidor. Mientras que la presencia de antocianinas si muestran efecto positivo en reducir la dureza del pan en los días de almacenamiento.

De la curva TPA se pueden obtener los parámetros de cohesividad (relación del área del segundo ciclo entre el área del primer ciclo), elasticidad (distancia de recuperación del primer ciclo de compresión), masticabilidad (dureza x elasticidad x cohesividad) y resiliencia (área de descompresión del primer ciclo entre el área de compresión del segundo ciclo); los datos se muestran en la Tabla 7. Respecto a la elasticidad los datos no muestran diferencia significativa con los días, tratamientos e interacción entre ambas. El pan se sometió a una deformación del 20% de compresión, que corresponde a 3 mm y los valores muestran una recuperación entre 87% para el pan BM0 en el día 3, que presentó una elasticidad de 2.628 mm, mientras que en el pan BM0-C la recuperación fue de 98%. En la cohesividad no hay diferencia significativa entre los tratamientos ni la interacción entre días y tratamientos; sin embargo, hay diferencia significativa en los diferentes días, siendo el día 1, el de mayor valor. En cuanto a la masticabilidad y resiliencia existe diferencia significativa entre los días y tratamientos, así como en sus interacciones. La masticabilidad está relacionada con la dureza, ya que representa la energía necesaria para la masticación. Sin embargo, hay otros factores que influyen en la masticabilidad, como la adhesividad del material o la cohesividad. El tratamiento que mostró el mayor valor de masticabilidad fue BM4-C en el día 2, mientras que el más bajo fue en el día 1 para BM3, 78% menor. En los datos de masticabilidad también se observa que su valor incrementa respecto al tiempo, lo cual se

relaciona con la pérdida de humedad y frescura del pan. La resiliencia, que es la capacidad que presentan los materiales para recuperarse, muestra diferencia significativa entre los tratamientos, días e interacciones. El mayor valor lo presenta el tratamiento BM5-C en el día 5 y el menor fue BM1 en el día 2. Los valores de textura más afectados fueron la masticabilidad y la dureza.

Aleixandre *et al.* [57], mencionan que la estructura y textura del pan dominan el comportamiento de la masticación. La incorporación de cúrcuma en el pan incrementa la curcumina, el contenido de fenoles y actividad antioxidante como lo mostraron Lim *et al.* [53]. Por lo tanto, es recomendable adicionar en la formulación del pan, la cúrcuma y HmcNx para mejorar sus propiedades funcionales, además de que el maíz tiene menor índice glucémico que el trigo y podría apoyar en la disminución de este índice en el pan para consumo de la población, principalmente el maíz criollo azul y morado [58].

En relación con la porosidad (Figura 4), se tiene que esta aumenta en todos los panes adicionados con HmcNx al compararse con el pan de trigo. Con incrementos máximos para BM2 (> 100%) y BM3 (> 100%). De la misma manera, en los panes adicionados con HmcNx y cúrcuma, también se observaron incrementos encontrándose los mayores incrementos en BM3-C y BM2-C, al ser comparados con BM0-C de 72 y 43 %. En la literatura se ha reportado un aumento de porosidad debido al incremento del tiempo de fermentación [59-60]. En este estudio fue encontrado que la porosidad se incrementa mediante la adición de otro tipo de harina, como la HmcNx, así mismo al adicionar especies como la cúrcuma en polvo, conduce a cambios estructurales y en consecuencia en sus propiedades termo-físicas. Zaroni [61], demostró como el pan (deshidratado) incrementa la difusividad térmica en función del incremento de la porosidad del pan, con valores entre $2.25-5.25 \times 10^{-10}$ m/s para un nivel de porosidad que varió de 0-80%. De esta manera, la porosidad del pan se modifica y está relacionada a las propiedades térmicas del pan en función de los aditivos a la harina que se incorporen, así como la deshidratación que este tenga.

Calidad sanitaria del pan

De acuerdo con los resultados existieron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) en la cantidad de colonias de hongos encontrados entre los diversos panes elaborados. La Figura 5 muestra el comportamiento de la aparición de colonias de hongos, por día durante los 9 días que duró la prueba, en las muestras de panes adicionados con HmcNx, *panM* (BM0, BM1, BM2, BM3, BM4, BM5 y BM6) y *panMC* (BM0-C, BM1-C, BM2-C, BM3-C, BM4-C, BM5-C y BM6-C). Se observa que en ambos panes los hongos aparecieron a partir del sexto día, teniendo la mayor cantidad de hongo (en el sexto día) el pan de trigo control (sin HmcNx - BM0), seguido de pan de trigo control con cúrcuma (BM0-C), presentando una reducción del 33.33% de colonias de hongos en relación con el BM0 (sin cúrcuma). Esta disminución de cantidad de colonias de hongos entre panes BM0 y BM0-C, se mantiene todos los días de duración de la prueba. Confirmando de esta manera un efecto fungistático

Tabla 7. Parámetros texturales del pan adicionado con maíz y maíz y cúrcuma evaluados en tres días consecutivos (día 1, 2 y 3).

Tipos de pan (Tratamientos)	Variables respuesta			
	Cohesividad	Elasticidad (mm)	Masticabilidad (mJ)	Resiliencia
	Día 1			
BM0	0.818 ± 0.019 ^a	2.630 ± 0.045 ^a	15.050 ± 1.771 ^{lm}	0.515 ± 0.01 ^{abc}
BM1	0.853 ± 0.032 ^a	2.783 ± 0.11 ^a	15.500 ± 1.364 ^{lm}	0.458 ± 0.03 ^{abcd}
BM2	0.838 ± 0.019 ^a	2.710 ± 0.109 ^a	24.925 ± 3.25 ^{ijklm}	0.518 ± 0.02 ^{abc}
BM3	0.803 ± 0.010 ^a	2.675 ± 0.179 ^a	13.475 ± 3.092 ^m	0.485 ± 0.01 ^{abcd}
BM4	0.808 ± 0.022 ^a	2.755 ± 0.101 ^a	27.275 ± 4.157 ^{ijkl}	0.495 ± 0.01 ^{abcd}
BM5	0.815 ± 0.039 ^a	2.858 ± 0.091 ^a	29.100 ± 1.402 ^{ijk}	0.488 ± 0.04 ^{abcd}
BM6	0.765 ± 0.048 ^a	2.775 ± 0.044 ^a	26.125 ± 1.17 ^{ijklm}	0.460 ± 0.01 ^{abcd}
BM0-C	0.813 ± 0.021 ^a	2.845 ± 0.366 ^a	22.400 ± 2.30 ^{ijklm}	0.505 ± 0.03 ^{abc}
BM1-C	0.830 ± 0.032 ^a	2.938 ± 0.035 ^a	27.175 ± 4.403 ^{ijkl}	0.508 ± 0.04 ^{abc}
BM2-C	0.823 ± 0.036 ^a	2.803 ± 0.184 ^a	27.000 ± 2.92 ^{ijkl}	0.510 ± 0.02 ^{abc}
BM3-C	0.820 ± 0.022 ^a	2.748 ± 0.092 ^a	24.000 ± 3.31 ^{ijklm}	0.495 ± 0.02 ^{abcd}
BM4-C	0.828 ± 0.033 ^a	2.635 ± 0.074 ^a	27.425 ± 3.761 ^{ijkl}	0.505 ± 0.02 ^{abc}
BM5-C	0.845 ± 0.029 ^a	2.935 ± 0.872 ^a	27.200 ± 2.491 ^{ijkl}	0.535 ± 0.02 ^a
BM6-C	0.825 ± 0.025 ^a	2.750 ± 0.088 ^a	28.725 ± 2.732 ^{ijkl}	0.490 ± 0.01 ^{abcd}
Día 2				
BM0	0.785 ± 0.05 ^a	2.740 ± 0.15 ^a	21.200 ± 3.6 ^{klm}	0.470 ± 0.04 ^{abcd}
BM1	0.743 ± 0.07 ^a	2.803 ± 0.44 ^a	27.325 ± 4.45 ^{ijkl}	0.403 ± 0.06 ^d
BM2	0.790 ± 0.02 ^a	2.813 ± 0.06 ^a	61.150 ± 3.3 ^{ab}	0.500 ± 0.03 ^{abc}
BM3	0.815 ± 0.07 ^a	2.840 ± ^a	51.075 ± 4.8 ^{abcde}	0.480 ± 0.04 ^{abcd}
BM4	0.775 ± 0.03 ^a	2.858 ± ^a	42.800 ± 6.37 ^{efgh}	0.468 ± 0.03 ^{abcd}
BM5	0.737 ± 0.02 ^a	2.777 ± ^a	35.533 ± 2.8 ^{ghi}	0.427 ± 0.02 ^{bcd}
BM6	0.788 ± 0.01 ^a	2.753 ± ^a	50.600 ± 1.26 ^{abcde}	0.485 ± 0.01 ^{abcd}
BM0-C	0.800 ± 0.04 ^a	2.980 ± 0.15 ^a	29.700 ± 4.5 ^{ijk}	0.505 ± 0.03 ^{abc}
BM1-C	0.790 ± 0.03 ^a	2.768 ± 0.17 ^a	51.325 ± 3.54 ^{abcde}	0.475 ± 0.03 ^{abcd}
BM2-C	0.760 ± 0.07 ^a	2.780 ± 0.44 ^a	30.925 ± 4.4 ^{hijk}	0.468 ± 0.06 ^{abcd}
BM3-C	0.775 ± 0.05 ^a	2.753 ± 0.06 ^a	31.575 ± 6.01 ^{hijk}	0.458 ± 0.03 ^{abcd}
BM4-C	0.788 ± 0.02 ^a	2.828 ± 0.13 ^a	62.40 ± 3.73 ^a	0.478 ± 0.01 ^{abcd}
BM5-C	0.803 ± 0.03 ^a	2.888 ± 0.04 ^a	47.075 ± 5.14 ^{cdef}	0.503 ± 0.01 ^{abc}
BM6-C	0.785 ± 0.03 ^a	2.758 ± 0.09 ^a	43.475 ± 3.9 ^{efgh}	0.465 ± 0.03 ^{abcd}
Día 3				
BM0	0.755 ± 0.05 ^a	2.628 ± 0.05 ^a	33.975 ± 7.7 ^{ghij}	0.473 ± 0.03 ^{abcd}
BM1	0.750 ± 0.04 ^a	2.758 ± 0.05 ^a	31.925 ± 4.31 ^{hijk}	0.445 ± 0.04 ^{abcd}
BM2	0.788 ± 0.03 ^a	2.730 ± 0.09 ^a	48.800 ± 7.04 ^{bcde}	0.498 ± 0.02 ^{abcd}
BM3	0.790 ± 0.03 ^a	2.665 ± 0.12 ^a	46.025 ± 4.77 ^{defg}	0.483 ± 0.02 ^{abcd}
BM4	0.798 ± 0.05 ^a	2.780 ± 0.15 ^a	45.775 ± 3.94 ^{defg}	0.505 ± 0.04 ^{abc}
BM5	0.747 ± 0.01 ^a	2.793 ± 0.06 ^a	30.467 ± 4.91 ^{ijk}	0.443 ± 0.02 ^{abcd}
BM6	0.723 ± 0.013 ^a	2.705 ± 0.06 ^a	45.275 ± 4.9 ^{defg}	0.425 ± 0.02 ^{cd}
BM0-C	0.800 ± 0.01 ^a	2.815 ± 0.05 ^a	57.875 ± 7.98 ^{abcd}	0.523 ± 0.01 ^{ab}
BM1-C	0.773 ± 0.04 ^a	2.835 ± 0.05 ^a	62.250 ± 6.94 ^a	0.470 ± 0.03 ^{abcd}
BM2-C	0.735 ± 0.04 ^a	2.840 ± 0.04 ^a	49.300 ± 6.51 ^{bcde}	0.443 ± 0.03 ^{abcd}
BM3-C	0.783 ± 0.04 ^a	2.813 ± 0.13 ^a	43.375 ± 2.9 ^{efgh}	0.468 ± 0.05 ^{abcd}
BM4-C	0.745 ± 0.02 ^a	2.775 ± 0.18 ^a	58.925 ± 6.94 ^{abc}	0.445 ± 0.04 ^{abcd}
BM5-C	0.800 ± 0.02 ^a	2.835 ± 0.18 ^a	56.500 ± 10.68 ^{abcd}	0.495 ± 0.04 ^{abcd}
BM6-C	0.795 ± 0.02 ^a	2.778 ± 0.18 ^a	27.350 ± 7.61 ^{ijkl}	0.468 ± 0.03 ^{abcd}

Medias ± desviación standard con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). BM=Pan adicionado con maíz y BM-C= Pan adicionado con maíz y cúrcuma. Número de observaciones por cada variable $n=210$, grados de libertad=4. BM0: Pan control (sin adición de maíz); BM1 ... BM6: Pan adicionado con distintos tipos de maíz; BM0-C: Pan con cúrcuma (sin adición de maíz); BM1-C.... BM6-C: Pan adicionado con maíz y cúrcuma

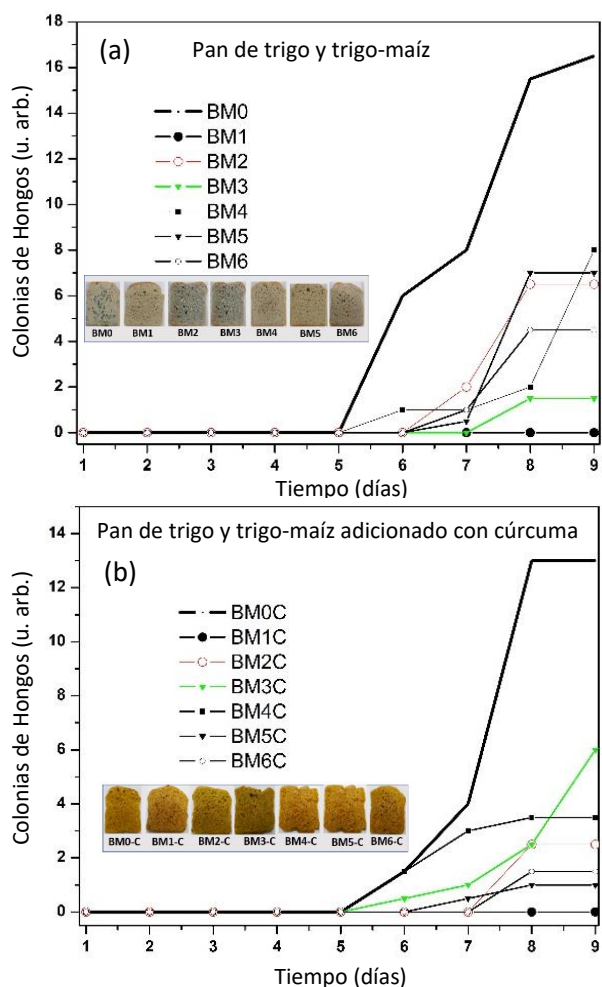


Figura 5. Colonias de hongos en pan a) pan de trigo adicionado con maíz criollo y b) pan de trigo adicionado con maíz y cúrcuma.

de la cúrcuma y sus componentes bioactivos que ha sido reportado por otros autores, donde la calidad del pan se modifica debido a la adición de cúrcuma [18]. Otro aspecto interesante encontrado con este estudio es el pan adicionado con HmcNx al 10% (sin y con cúrcuma) en sus distintos colores también influyeron en la calidad sanitaria del pan. En los panes sin cúrcuma (Figura 5a), se observa en general, que todos los panes adicionados con HmcNx presentaron menor cantidad de hongos. Al comparar pan de trigo (control) con panes *panM* el noveno día de evaluación; los panes BM4 y BM5 (que fueron los que más hongos presentaron), tuvieron una reducción del 51.5 y 57.5 % de cantidad de colonias de hongos. Panes BM1 y BM3 seguido de BM6, mostraron la mejor calidad sanitaria, con una reducción de hongos con respecto al control (pan de trigo) de 100, 90 y 72%. Estos panes fueron adicionados con maíces rojo y azul cuyos elementos bioactivos son principalmente antocianinas [39]. Tanto las antocianinas como la nixtamalización i.e. cocción de los granos de maíz en $\text{Ca}(\text{OH})_2$, se han reportado inhiben crecimiento de hongos [62, 63]. Nuestros resultados sugieren que la adición de maíz nixtamalizado (preparado con hidróxido de calcio) hace un efecto sinérgico con las antocianinas del maíz que producen

una inhibición en el desarrollo de hongos en pan de trigo de acuerdo con la formulación establecida y las características de maíz empleado. En el caso de las antocianinas los efectos contra patógenos fúngicos se han sugerido para proteger las hojas jóvenes de plantas [64]. Los hallazgos obtenidos al comparar las medidas de color del grano y la harina nixtamalizada es que existen cambios como resultado del proceso de transformación a harina nixtamalizada y posteriormente a pan. Además, es posible comprobar que las propiedades antifúngicas de los componentes bioactivos de maíz persisten, así como el color que aún en el pan se observa. Del mismo modo, el pan de trigo adicionado con maíz y cúrcuma disminuyó la cantidad de hongos (21.21%), al ser comparado con pan de trigo (control-sin cúrcuma). Los panes adicionados con maíz y cúrcuma con mejor calidad fueron BM1-C y BM5-C, con una reducción de cantidad de hongos de 100 y 92.3%. La reducción de la cantidad de hongos en los panes *panMC* está ligada tanto al poder fungistático de la cúrcuma sumada al poder bioactivo de distintos componentes del pan como antocianinas y carotenoides de los tipos de maíz empleados en la elaboración de estos respectivos panes. De tal manera que, al ser disminuida la cantidad de hongos asociada al pan, se podría decir que también estos elementos y procesos empleados para su elaboración podrían permitir extender la vida útil de este y así eliminar o disminuir el uso de conservadores. Pero es necesario seguir haciendo repeticiones del experimento que permitan definir si estas condiciones de pan alargan la vida útil del pan y en qué condiciones de temperatura y humedad.

Análisis de componentes principales (ACP)

En la Figura 6 se muestra el ploteo del análisis de los componentes principales de las variables (L^* , a^* , b^* , C^* , h^* , IA, IB, Cohesividad, Elasticidad, Masticabilidad, Resistencia, Porosidad, entropía, porcentaje de humedad, No. De colonias de hongos a 6 y 9 días) del pan a) pan adicionado con maíz y b) pan adicionado con maíz y cúrcuma. En la Figura 6a, se observa que existen 4 conglomerados (I. BM2, BM3 y BM6; II. BM1, BM5, III. BM4 y IV. BM0); Se nota que las similitudes en los grupos I y I, se deben al comportamiento similar de variables porosidad, entropía, a^* , masticabilidad, h^* y b^*C^* , L, No. de colonias de hongos a 6 y 9 días, respectivamente. Existiendo correlación positiva entre las variables de color IB, L, C^* y b^* (forman entre ella ángulos menores a 90°), negativa entre IB y IA (ángulo mayor a 90°). La correlación más fuerte entre las variables de color y características del pan se encuentran con la cantidad de colonias de hongos evaluados en los mismos, tanto a los 6 días como a los 9 días. Siendo las componentes de color IB y L^* fuertemente correlacionadas con la cantidad de colonias de hongos. Esto significa que los panes más blancos, tuvieron mayor cantidad de colonias de hongos, mientras que una menor cantidad fue presentada en los azules (M2 y M3) y rojo (M6). En el caso de los colores azules se han reportado en estudios con ratones que el nivel glucémico es menor [58]. En la evaluación de calidad sanitaria llevada a cabo en el pan evidenciaron

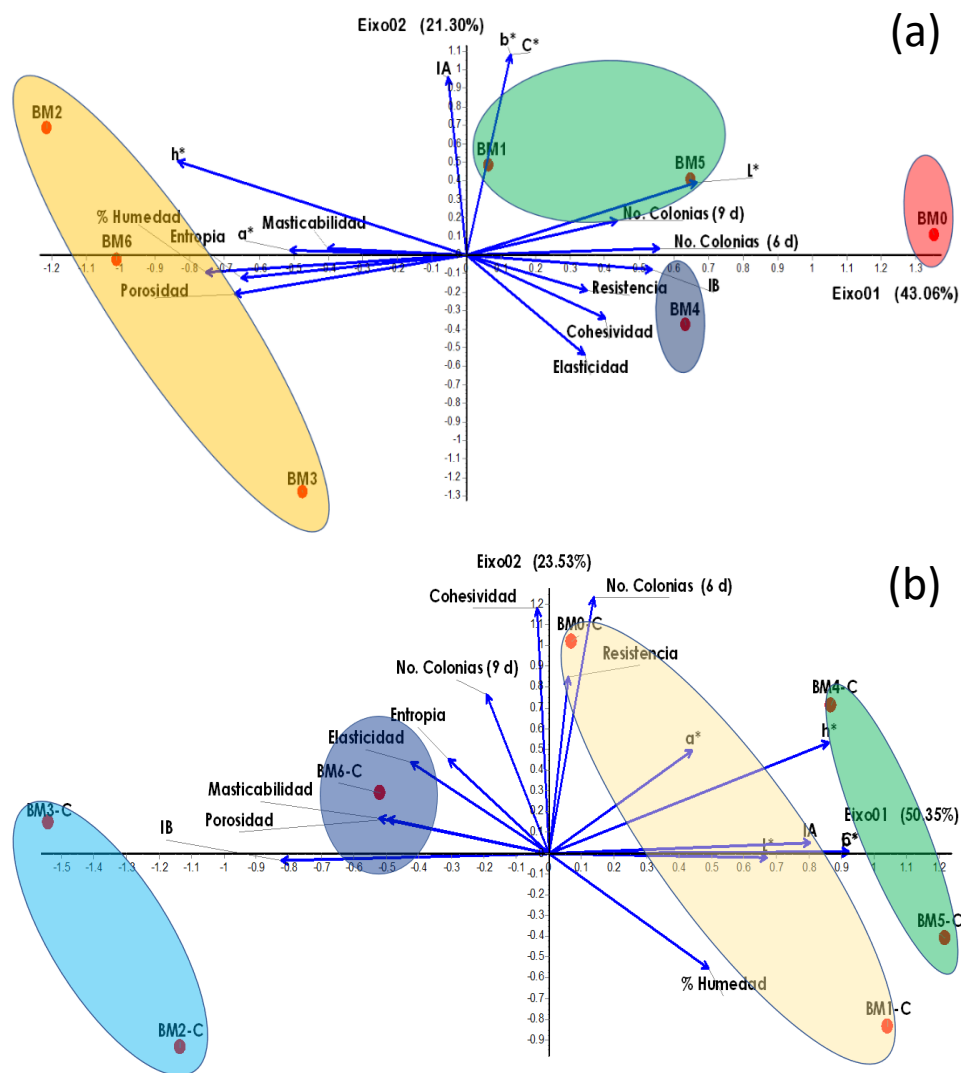


Figura 6. Análisis de componentes principales de variables características del pan a) pan adicionado con maíz y b) pan adicionado con maíz y cúrcuma.

diferencias entre la cantidad de colonias de hongos desarrolladas en pan adicionado con HmcNx en general y el pan de trigo (control-BM0). Puesto que el maíz empleado es criollo nixtamalizado, pudiera agregarse como otro factor, el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) el cual produce un efecto alcalino. Algunos autores han encontrado efectividad de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para control de hongos en plantaciones a ciertas dosis [65]. Por otro lado, es notado en la evaluación de calidad sanitaria, en las muestras de pan de maíces de color azul y rojo una menor cantidad de colonias de hongos desarrollada a los días de la evaluación de la prueba y forman un grupo con comportamiento similar en variable de textura (masticabilidad), porosidad y en la componente de color a^* . Observándose una relación inversamente proporcional de esta componente con la cantidad de hongos asociada al pan, a mayor nivel de a^* existe menor cantidad de colonias de hongo desarrolladas en los distintos tipos de panes.

La Figura 6b muestra el ploteo del ACP de las variables estudiadas en pan adicionado con HmcNx y cúrcuma donde se contemplan cuatro grupos de panes con similitudes. Donde uno de estos grupos lo forman los panes adicionados

con maíz azul BM3-C y BM3-2, seguidos en similitud con el grupo formado únicamente con el pan BM6, del maíz rojo. En general ellos coinciden en comportamiento de diversas variables como lo es el índice de blancura, porosidad, masticabilidad, elasticidad, número de colonias de hongos a los 9 días. Sin embargo, los panes del grupo 3 (BM0 y BM1) y 4 (BM4 y BM5) tienen similitud en comportamiento de componentes de color L^* , a^* , b^* , h^* e IA. Se observa que IA, está fuertemente correlacionado con L^* y b^* ya que forman en ángulo entre ellos de menos de 10° . Seguidos de otra correlación alta entre las variables de color L^* , IA y b^* con los vectores que representan las variables h^* y a^* (formando un ángulo $< 45^\circ$ entre ellas). El mayor índice de amarillez se debe a la adición de cúrcuma en el pan, el cual es distinguido al adicionarse en maíces amarillos y en menor grado en maíces azul y rojo. La componente de color con la que tiene mayor correlación la calidad sanitaria es la componente a^* seguida de la h^* (entre ellas forman un ángulo $< 90^\circ$). Los efectos fungicidas de los compuestos bioactivos adicionados al pan del maíz y la cúrcuma, hacen que se mejore en general la calidad del pan, como antes fue

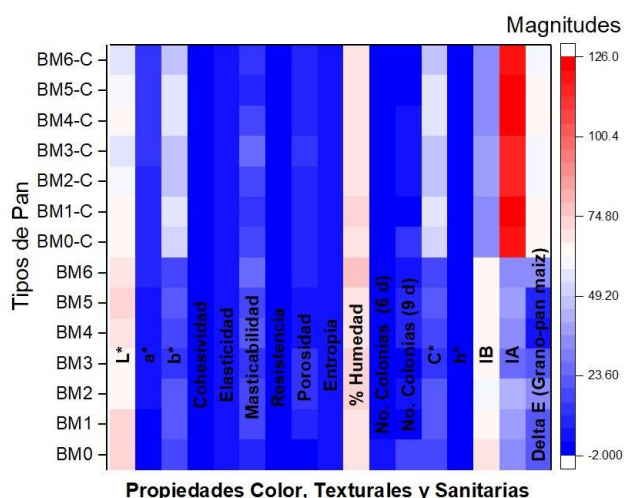


Figura 7. Mapa de magnitudes de cada tipo de pan evaluado en sus distintas características de color, texturales sanitarias, etc. (1. L*, 2. a*, 3. b*, 4. Cohesividad, 5. Elasticidad, 6. Masticabilidad, 7. Resistencia, 8) Porosidad, 9) Entropía, 10. % de humedad, 11. No. De colonias de hongos a los 6 días, 12. No. De hongos a los 9 días, 13. C*, 14*h*, 15. IB, 16. IA, 17. ΔE .

mencionado.

Finalmente, en la Figura 7 se puede visualizar el mapa de calor (heat map) que corresponde a la magnitud obtenida de las variables. Identificando visualmente las variables que poseen mayor variación de color, que corresponde a mayor variación de magnitudes obtenidas de las mismas en relación con los diferentes tipos de pan elaborados. Se sintetiza el comportamiento de las 17 variables evaluadas (color: L*, a*, b*, C*, h*, IB, IB, delta E (ΔE); textura: Cohesividad, elasticidad, masticabilidad, resistencia y parámetros característicos del pan como porosidad, entropía, % de humedad y finalmente datos referentes a la calidad sanitaria del pan: No. de colonias de hongos a los 6 y 9 días. En general, se aprecia que las variables de color que más modificaron sus características fueron: color (L*, b*, C*, IB, IA y ΔE). En parámetros texturales, la variable que presentó mayores cambios fue la masticabilidad, y otros valores característicos modificados la porosidad y humedad, finalmente en la calidad sanitaria evaluada a través de la cantidad de colonias de hongos, se observan los mayores cambios al noveno día, distinguiéndose desde el sexto día diferencias de todos los panes, con respecto al pan de trigo BM0 (Control).

Existen varios motivos para promover el aprovechamiento de maíz criollo combinado con cúrcuma o solo en la elaboración de pan “híbrido”, ya que mejora la calidad sanitaria, calidad nutritiva y podría tener menor impacto hipoglucemiante principalmente los maíces azules y en menor medida los maíces amarillos. Dentro de intervenciones educativas, necesarias en tiempos de Covid-19, podría ser el crear un cambio de hábito dirigido a la auto-elaboración de sus productos alimenticios o así mismo la industria ofrecer productos adicionados con elementos como los utilizados en la presente investigación que han sido demostrado ser favorables: harina de maíz criollo de colores nixtamalizado y la cúrcuma.

Conclusiones

El color de los maíces, harinas nixtamalizada y masas tuvieron diferencia significativa ($p < 0.05$) al comparar valores medios de parámetros de Luminosidad, a* y b*. Los maíces azules y rojizo M2 (37.01), M3 (44.06) y M6 (41.07) y, amarillos y amarillo-naranja M1 (21.26), M4 (15.92) y M5 (26.01) presentaron los valores inferiores en L* y superiores en b*, respectivamente. La menor diferencia en color ΔE encontrada en el proceso de transformación de maíz a masa y, de harina a masa fueron para maíces M4 (14.029) y M5 (16.97) y, M1 (5.2), M4 (8) y M5 (8.9), esto es los maíces amarillos tienen menor degradación de color. En el pan de maíz se encontraron diferencias significativas en variable a* al compararse el mismo tipo de pan durante tres días consecutivos, en los panes BM1, BM5 y BM6, con una disminución de 7.5, 2.6 y 16.9%, con respecto al primer día. Los panes de maíz azul (M2, M3 y M6) y amarillos (M1, M4 y M5) se encuentran en el rango de valores de Luminosidad y de b* que está relacionado a presencia de antocianinas y carotenoides en los tres días consecutivos de evaluación. El pan adicionado con maíz y cúrcuma mejora las características nutraceuticas del pan, expresado en rangos mayores de la variable de color b*. La dureza del pan de maíz criollo y cúrcuma no presentó diferencias durante tres días consecutivos beneficiando su conservación. El pan de maíz amarillo y cúrcuma BM1-C mostró incrementos en la dureza en los días 2 y 3.

En general, el pan adicionado con maíz y maíz y cúrcuma presentaron la mejor calidad sanitaria con respecto al pan de trigo (control). En el caso de los panes adicionados solo con maíz, los que presentaron la mejor calidad sanitaria fueron los panes a los cuales se les adicionó maíces azules y rojo (M2, M3 y M6), demostrando que maíz nixtamalizado y la cúrcuma mejoran la calidad sanitaria del pan. Por lo que elaborar pan de trigo “híbrido” adicionando maíz y cúrcuma sería un producto funcional conveniente que mantiene sus propiedades nutraceuticas y mejora su vida útil sin uso de conservadores.

Este tipo de panes nutraceuticos tiene aspectos relevantes que lo convierten en un tipo de pan funcional para tiempos contingentes presentes y futuros, sumándose como opciones para alimentación de la población donde es posible tener un mejor aprovechamiento de maíces criollos cultivados en diversas comunidades productoras de maíz en Estado de México y en general en México.

Agradecimientos

Los autores agradecemos por los apoyos de institucionales COFFA, EDI, y financiamiento otorgado por los proyectos SIP 20211699 y 20220488, IPN. Así mismo, en esta visión transdisciplinaria para investigar, se agradece a la comunidad y a grupo productor de “San Pedro Potla”, Primer Barrio Ejido, Temascalcingo, Estado de México.

Abreviaturas

HmcNx: Harina de maíz criollo nixtamalizado

panM: Panes de trigo adicionados con maíz nixtamalizado.

panMC: Panes de trigo adicionados con maíz nixtamalizado y cúrcuma.

M1: Maíz criollo (rojo),

M2: Maíz criollo (azul),

M3: Maíz criollo (azul),

M4: Maíz criollo (amarillo),

M5: Maíz criollo (amarillo)

M6: Maíz criollo (rojo),

BM0: Pan de trigo sin adición de maíz

BM1: Pan de trigo adicionados con maíz nixtamalizado tipo M1

BM2: Pan de trigo adicionados con maíz nixtamalizado tipo M2

BM3: Pan de trigo adicionados con maíz nixtamalizado tipo M3

BM4: Pan de trigo adicionados con maíz nixtamalizado tipo M4

BM5: Pan de trigo adicionados con maíz nixtamalizado tipo M5

BM6: Pan de trigo adicionados con maíz nixtamalizado tipo M6

BM0-C: Pan de trigo sin adición de maíz y con cúrcuma

BM1-C: Pan de trigo adicionados con maíz nixtamalizado tipo M1 y cúrcuma

BM2-C: Pan de trigo adicionados con maíz nixtamalizado tipo M2 y cúrcuma

BM3-C: Pan de trigo adicionados con maíz nixtamalizado tipo M3 y cúrcuma

BM4-C: Pan de trigo adicionados con maíz nixtamalizado tipo M4 y cúrcuma

BM5-C: Pan de trigo adicionados con maíz nixtamalizado tipo M5 y cúrcuma

BM6-C: Pan de trigo adicionados con maíz nixtamalizado tipo M6 y cúrcuma.

Referencias

- [1]. F. Guzzon, L.W. Arandia Rios, G.M. Caviedes Cepeda, M. Céspedes Polo, A. Chavez Cabrera, J. Muriel Figueroa, A.E. Medina-Hoyos, T.W. Jara-Calvo, T.L. Molnar, L.A. Narro-León, T.P. Narro-León, S.L. Mejía-Kerguelén, J.G. Ospina-Rojas, G. Vázquez, R.E. Preciado-Ortiz, J.L. Zambrano, N. Palacios-Rojas, K.V. Pixley, *Agronomy* **11**, 172 (2021).
- [2]. Y. Salinas Moreno, V. Hernández Martínez, L.I. Trejo Téllez, J.L. Ramírez Díaz, O. Iñiguez Gómez, *Rev. Mex. Cienc. Agric.* **8**, 1483 (2017).
- [3]. G.A. Camelo-Méndez, E. Agama-Acevedo, M.M. Sanchez-Rivera L.A. Bello-Pérez, *Food Chem.* **211**, 281 (2016).
- [4]. M. Melikoglu, C. Webb, *Use of waste bread to produce fermentation products. In: Food Industry Wastes: assessment and recuperation of commodities*, Ed. M.R. Kosseva, C. Webb (Elsevier, 2013) pp. 63-76.
- [5]. N. Ravimannan, P. Sevel, S. Saarutharshan, *Int. J. Adv. Res. Publ.* **3**, 165 (2016).
- [6]. V. Melini, F. Melini, *Fermentation* **4**, 9 (2018).
- [7]. C. M. B. Pinilla, R. C. S. Thys, A. Brandelli, *Int. J. Food Microbiol.* **293**, 72 (2019).
- [8]. S. O. Agunbiade, O. J. Ojezele, M. Barinemene, *Chem. Int.* **6**, 131 (2020).
- [9]. C. Axel, E. Zannini, E. K. Arendt, *Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.* **57**, 3528 (2017).
- [10]. O. Parenti, L. Guerrini, B. Cavallini, F. Baldi, B. Zanoni, *LWT* **121**, 108980 (2020).
- [11]. I. Taglieri, C. Sanmartin, F. Venturi, M. Macaluso, A. Zinnai, S.A. Tavarini, Serra, G. Conte, G. Flamini, L. G. Angelini, *Appl. Sci.* **10**, 5235 (2020).
- [12]. M. Gómez, L. C. Gutkoski, Á.Bravo-Núñez, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **19**, 3241 (2020).
- [13]. R. Klopsch, S. Baldermann, A. Voss, S. Rohn, M. Schreiner, S. Neugart, *Front. Chem.* **6**, 322 (2018).
- [14]. B. De Lamo, M. Gómez, *Foods* **7**, 191 (2018).
- [15]. C. Sanmartin, I. Taglieri, F. Venturi, M. Macaluso, A. Zinnai, S. Tavarini, A. Botto, A. Serra, G. Conte, G. Flamini, L. G. Angelini, *Foods* **9**, 204 (2020).
- [16]. M. Robles-Ramirez del Carmen, E. Ortega-Robles, R. Monterrubio-López, R. Mora-Escobedo, M. del Carmen Beltran-Orozco, *Int. J. Gastron. Food Sci.* **22**, 100279 (2020).
- [17]. C. Hernandez-Aguilar, A. Dominguez-Pacheco, M. Palma Tenango, C. Valderrama-Bravo, M. Soto Hernandez, A. Cruz-Orea, J. Ordonez-Miranda, *J. Food Sci. Technol.* **57**, 1817 (2020).
- [18]. C. Hernandez-Aguilar, A. Dominguez-Pacheco, C. Valderrama-Bravo, A. Cruz-Orea, E. M. Ortiz, J. Ordonez-Miranda, *Food Bioproc. Tech.* **13**, 2104 (2020).
- [19]. C. Hernandez-Aguilar, A. Dominguez-Pacheco, C. Valderrama-Bravo, A. Cruz-Orea, E. M. Ortiz, R. Ivanov, J. Ordonez-Miranda, *Curr. Res. Food Sci.* **4**, 521 (2021).
- [20]. *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-19 (ENSANUT)*, Resultados nacionales (Instituto Nacional de Salud Pública, México, 2020).
- [21]. R.V. Jadhav, S.S.A. Bhujbal, *Pharm. Reson.* **2**, 12 (2020).
- [22]. J. Solnier, J.P. Fladerer, *Phytochem Rev.* **20**, 773 (2021).
- [23]. J. Solnier, L. Martin, S. Bhakta, F. Bucar, *Molecules* **25**, 734 (2020).
- [24]. R.J. Nijveldt, E.L.S. Van Nood, D.E. Van Hoorn, P.G. Boelens, K. Van Norren, P.A. Van Leeuwen, *Am. J. Clin. Nutr.* **74**, 418 (2001).
- [25]. A.N. Panche, A.D. Diwan, S.R. Chandra, *J. Nutr. Sci.* **5**, e47 (2016).
- [26]. P.E. Bonilla, F. Quispe, L. Negrón, A. I. Zavaleta, *Ciencia e Investigación* **18**, 37 (2015).
- [27]. F. Menniti-Ippolito, I. Ippolito, A.A. Pastorelli, I. Altieri, F. Scalise, B. De Santis, F. Debegnach, C. Brera, R. Pacifici, S. Pichini, M. Pellegrini, M.C. Rotolo, S. Graziano, G. Palazzino, G. Multari, F.R. Gallo, B. Neri, L. Giannetti, K. Russo, G. Fedrizzi, S. Bonan, G. Mazzanti, P.A. Moro, E. Salvi, F. Firenzuoli, A. Valeri, U. Moretti, G. Traversa, M. Silano, P. Stacchini, C. Boniglia, *Ann. Ist. Super. Sanità* **56**, 462 (2020).
- [28]. J.A. Villada, F. Sánchez-Sinencio, O. Zelaya-Ángel, E. Gutiérrez-Cortez, M.E Rodríguez-García, *J. Food Eng.* **212**, 242 (2017).
- [29]. M.Y. Herrera-Sotero, C.D. Cruz-Hernández, C. Trujillo-Carretero, M. Rodríguez-Dorantes, H.S. García-Galindo, J.L. Chávez-Servia, R.M. Oliart-Ros, R.I. Guzmán-Gerónimo, *Chem. Cent. J.* **1**, 1 (2017).
- [30]. *Global Strategy on diet, physical activity, and health* (World Health Organization, 2004).
- [31]. L.J. Abdalaa, L.N. Vitantonio-Mazzinia, J.A. Gerdea, R.F. Martí, G. Murtagh, L. Borrás, *Field Crops Res.* **226**, 74 (2018).
- [32]. M.D.C. Valderrama Bravo, M.J. Sánchez Lara, M. Contreras Padilla, M.E. Pahua Ramos, S.J. Jiménez Ambriz, *Food Process. Preserv.* **45**, e15415 (2021).
- [33]. J.W. Rhim, Y. Wu, C.L. Weller, M. Schnepf, *J. Food Sci.* **64**, 149 (1999).
- [34]. P.B. Pathare, U.L. Opara, F.A. J. Al-Said, *Food Bioproc. Tech.* **6**, 36 (2013).
- [35]. A.J. Meléndez-Martínez, I.M. Vicario, F.J. Heredia, *J. Agric. Food Chem.* **55**, 2808 (2007).
- [36]. D. Bradley, G. Roth, *J. Graph. Tools* **12**, 13 (2007).
- [37]. SAS., 2008. Statistical Analysis System for Windows. Release 8.01. SAS Institute Inc., Cary, N.C. USA
- [38]. C.O. Egesel, J.C. Wong, R.J. Lambert, T.R. Rocheford, *Crop Sci.* **43**, 818 (2003).
- [39]. Y. Salinas Moreno, F.J. Cruz Chávez, S.A. Díaz Ortiz, F. Castillo González, *Rev. Fitotec. Mex.* **35**, 33 (2012).
- [40]. E.A. Anayansi, B. Ramírez-Wong, P.I. Torres-Chávez, J.M. Barrón-Hoyos, J.D.D. Figueroa-Cárdenas, J. López-Cervantes, *Rev. Fitotec. Mex.* **36**, 429 (2013).

- [41]. A.J. Meléndez-Martínez, I.M. Vicario, F.J. Heredia, *J. Agric. Food Chem.* **51**, 7266 (2003).
- [42]. K. Kljak, D. Grbeša, D. Karolyi, *J. Cereal Sci.* **2**, 109 (2014).
- [43]. R.A. Itle, E.A. Kabelka, *HortScience* **44**, 633 (2009).
- [44]. S.O. Serna-Saldívar, J.A. Gutiérrez-Urbe, S. Mora-Rochin, S. García-Lara, *Rev. Fitotec. Mex.* **36**, 295 (2013).
- [45]. J.A. Gutiérrez-Urbe, C. Rojas-García, S. García-Lara, S.O. Serna-Saldívar, *J. Cereal Sci.* **52**, 410 (2010).
- [46]. N. Lozano-Alejo, G.V. Carrillo, K. Pixley, N. Palacios-Rojas, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **8**, 385 (2007).
- [47]. R.A. Itle, E.A. Kabelka, *HortScience* **44**, 633 (2009).
- [48]. A.D. Aguilar-Hernández, Y. Salinas-Moreno, J.L. Ramírez-Díaz, E. Bautista-Ramírez, H.E. Flores-López, *Rev. Mex. Cienc. Agric.* **10**, 1071 (2019).
- [49]. C.G. Mendoza-Mendoza, M. del Carmen Mendoza-Castillo, A. Delgado-Alvarado, F. Castillo-González, T.Á. Kato-Yamakake, S. Cruz-Izquierdo, *Rev. Fitotec. Mex.* **40**, 471 (2017).
- [50]. S. Rahaie, S.M.T. Gharibzahedi, S.H. Razavi, S.M. Jafari, *J. Food Sci. Technol.* **51**, 2896 (2014).
- [51]. S.L. Ho, H.P. So, G. Kashif, Y.H. Sung, P. Jiyong, *Food Chem.* **124**, 1577 (2011).
- [52]. Y. Salinas Moreno, F.M. Bustos, M.S. Hernández, R.O. Paczka, J.L.A. Vázquez, *Agrociencia* **37**, 617 (2003).
- [53]. H.S. Lim S.H.K. Park, S.Y. Ghafoor, Y.S. Hwang, J. Park, *Food Chem.* **124**, 1577 (2011).
- [54]. F. Idowu-Adebayo, V. Fogliano, M.O. Oluwamukomi, S. Oladimeji, A.R.J. Linnemann, *Sci. Food Agric.* **101**, 3246 (2021).
- [55]. E.D. Cömert, B.A. Mogol, V. Gökmen, *Curr. Res. Nutr. Food Sci.* **2**, 1 (2020).
- [56]. K. Kljak, D. Grbeša, D. Karolyi, *J. Cereal Sci.* **2**, 109 (2014).
- [57]. A. Aleixandre, Y. Benavent-Gil, E. Velickova, M. Rosell, *Food Res. Int.* **147**, 110477 (2021).
- [58]. R.M.J. Mex-Álvarez, P.M. Garma-Quen, N.J. Bolívar-Fernández, R.M. Asunción Escalante, M.M. Guillen-Morales, *Rev. CENIC. Cienc. Biol.* **49**, 001 (2018).
- [59]. G. Chen, Å. Östlund, L. Nordstierna, J. Swenson, *Food Biophys.* **8**, 209 (2013).
- [60]. R. Zúñiga, A. Le-Bail, *Food Bioprod. Process.* **87**, 17 (2009).
- [61]. B. Zanon, C. Peri, R. Gianotti, *J. Food Eng.* **26**, 497 (1995).
- [62]. H. M. Schaefer, M. Rentzsch, M. Breuer, *Nat. Prod. Commun.* **3**, 1267 (2008).
- [63]. R. Kanwal, A. Mehmood, S. Saleem, M.A. Randhawa, A. Ihsan, R.M. Amir, M. Nadeem, M.W. Sajid, *J. Food Saf.* **38**, e12505 (2018).
- [64]. P.D. Coley, T.M. Aide, *J. Trop. Ecol.* **5**, 293 (1989).
- [65]. L.F. Cardona, J. Castaño, *Temas agrarios* **21**, 65 (2016).

© 2022 by the authors; licensee SMCTSM, Mexico. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).