

Propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y sensoriales de botanas de maíz con *Brosimum alicastrum* y su almacenamiento

Physicochemical, antioxidant, and sensory properties of corn snacks added with *Brosimum alicastrum* and their storage

Jorge Carlos Canto-Pinto

TecNM-Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, México

jccanto@itescam.edu.mx

 <https://orcid.org/0000-0002-6133-056X>

Recepción: 31 de marzo de 2023

Aprobación: 27 de septiembre de 2023



Alejandro Farfán-Coox

TecNM-Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, México

7101@itescam.edu.mx

 <https://orcid.org/0009-0005-4876-7344>

Victor Manuel Moo-Huchin*

TecNM-Instituto Tecnológico de Mérida, México

vm moo@yahoo.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9365-8922>

David Abram Betancur-Ancona

Universidad Autónoma de Yucatán, México.

bancona@correo.uady.mx

 <https://orcid.org/0000-0002-9206-3222>

Ivanka Elena Ramírez de la Cruz

TecNM-Instituto Tecnológico de Mérida, México

le20081224@merida.tecnm.mx

 <https://orcid.org/0000-0001-6142-8631>

Raciel Javier Estrada-León

TecNM-Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, México

rjestrada@itescam.edu.mx

 <https://orcid.org/0000-0002-0987-9053>

Luis Fernando Cuevas-Glory

TecNM-Instituto Tecnológico de Mérida, México

lfcuevas@yahoo.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8361-1744>

RESUMEN

Se analizan los efectos de adicionar harina de semilla de *B. alicastrum* (30% HR, p/p) a botanas de maíz con diferentes métodos de cocción sobre la aceptación, capacidad antioxidante y la estabilidad oxidativa. Asimismo, se evaluaron los cambios fisicoquímicos durante el almacenamiento de las botanas con mayor aceptación. Cuando se fríe, la botana HR/TSD (tortilla sin deshidratar) tuvo la mayor

*AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

capacidad antioxidante (39.36 ± 0.61 mM Trolox/100 g), mientras que la botana HR/TD (tortilla deshidratada) exhibió mayor estabilidad oxidativa (<29 TOTOX). Al respecto, la botana frita HR/TSD tuvo la mayor aceptación. Durante el almacenamiento, la botana HR/TSD tuvo el menor índice de peróxido. La adición de harina de *B. alicastrum* a la botana de maíz frito mejora la aceptabilidad del consumidor y su almacenamiento.

PALABRAS CLAVE: botana, tortilla, maíz, árbol de ramón, cocción.

ABSTRACT

The effects of adding *B. alicastrum* seed flour (30% HR, w/w) to corn snacks with different cooking methods on consumer acceptance, antioxidant capacity and oxidative stability were analyzed. Physicochemical changes during storage were also evaluated for the snacks with the highest consumer acceptance values. When deep fried, the HR/TSD (tortilla without dehydration) snack had the highest antioxidant capacity (39.36 ± 0.61 mM Trolox/100 g), while the HR/TD (dehydrated tortilla) snack exhibited the highest oxidative stability (<29 TOTOX). The deep-fried HR/TSD snack had the highest consumer acceptability. During storage, the HR/TSD snack had the lowest peroxide index value. Adding *B. alicastrum* seed flour in deep-fried corn snacks improves consumer acceptability and storage performance.

KEYWORDS: snack, tortilla, corn, ramon tree, cooking.

INTRODUCCIÓN

En México las botanas de tortilla de maíz nixtamalizado son populares en la dieta habitual porque se les considera un alimento listo para el consumo o como complementos para salsas, guacamole o frijoles. La fritura profunda es un método de cocción empleado para obtener botanas de maíz y de tortilla de maíz nixtamalizado que consiste en sumergir los alimentos (crudos o pretratados) en aceite calentado a una temperatura de 180 °C o más durante un determinado periodo (Al Faruq *et al.*, 2022; Liu *et al.*, 2018). La necesidad de los consumidores de preparación rápida de los alimentos, precios bajos y altas exigencias de color, textura y sabor han provocado que, como consecuencia, se haya generalizado el uso de la fritura profunda (Zaghi *et al.*, 2019). El aceite vegetal es el componente más importante de la fritura, el cual además proviene de diferentes fuentes como la soya, girasol y colza; después de su cocción, las botanas de maíz y de tortillas absorben entre 26 y 36% y entre 16 y 24% de aceite, respectivamente (Serna-Saldivar y Chuck-Hernandez, 2019). No obstante, durante la fritura se produce una oxidación térmica del aceite, la cual ocasiona peróxidos (hidroperóxidos) que tienen efectos negativos tanto en la salud humana como en las propiedades de los alimentos fritos (color, textura, reducción de la vida útil y valor nutricional) (García-Pérez *et al.*, 2019). Aunado a lo anterior, la alta inestabilidad de los peróxidos provocan que se degraden con facilidad en productos secundarios (aldehídos, cetonas, furanos etc), lo cual da lugar a olores y sabores desagradables del alimento sometido a fritura; sin embargo, en la industria de aceites es común el uso de antioxidantes sintéticos para retardar la rancidez oxidativa (Mansour *et al.*, 2022).

El uso de harinas con alta capacidad antioxidante y la determinación de un método de cocción son estrategias recomendadas para proteger la oxidación del aceite (menor valor de peróxidos) en la industria de las botanas saludables (García-Pérez *et al.*, 2019; Mayo-Mayo *et al.*, 2020). Al respecto, debido a la preocupación del consumidor por el alto contenido de aceite de las botanas fritas, se ha sugerido aplicar el horneado (entre 170 y 190 °C) como método de cocción en lugar de la fritura profunda (Babacan Cevik *et al.*, 2022). De acuerdo con Serna-Saldivar (2021), es posible conseguir una botana con menor contenido de aceite al freír las tortillas de maíz nixtamalizadas por un tiempo más corto, mientras que los productos libres de aceite se obtienen mediante pasos adicionales de horneado/tostado. Hoy en día, la freidora de aire se considera como una alternativa tecnológica e innovadora para sacar frituras con poco o nada de aceite entre 180 y 200 °C (Zaghi *et al.*, 2019). Las freidoras de aire exponen los alimentos a la circulación de aire caliente en lugar de sumergirlos en aceite e irradian calor desde la cámara de fritura para un proceso más eficaz. En este proceso ocurre una alta transferencia de calor distribuida de manera uniforme por todo el alimento y en consecuencia la manufactura de productos fritos de buena calidad y con un color similar al que se alcanza en la fritura profunda (Teruel *et al.*, 2015); además, se ha demostrado que la freidora de aire reduce la formación de acrilamida en papas fritas en comparación con la fritura profunda (Dong *et al.*, 2022).

El árbol de *B. alicastrum*, también conocido como *árbol de ramón*, era muy valorado por la cultura maya de la Península de Yucatán, México. La harina obtenida de las semillas de *B. alicastrum* (HR) es una fuente importante de compuestos fenólicos con alta capacidad antioxidante y, por lo tanto, se puede proponer como una harina antioxidante alternativa para productos fritos. La HR obtenida de las semillas tostadas obtuvo un mayor contenido de compuestos fenólicos (CFT) y actividad antioxidante en comparación con otros frutos secos como la nuez, el cacahuete y la almendra (Ozer, 2017). Según Moo-Huchin *et al.* (2019), los compuestos fenólicos más predominantes de la HR (semillas secadas en horno por convección) fueron el ácido clorogénico, el ácido vanílico, la catequina y el ácido sinápico. Además, estos mismos autores demostraron que los antioxidantes presentes en las semillas reducen los niveles de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) en la carne cocida.

Tomando en consideración estos antecedentes, el objetivo del artículo consiste en desarrollar y caracterizar botanas de maíz adicionados con harina de las semillas de *B. alicastrum* usando diferentes métodos de cocción, así como evaluar los cambios fisicoquímicos durante el almacenamiento de la botana que tuvo mayor aceptabilidad.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. Obtención de la harina de semillas de *B. alicastrum* (HR)

Se recolectaron frutos (15 kg) de 10 árboles de ramón que se encuentran dentro del jardín del Instituto Tecnológico de Mérida, Yucatán, México, durante el periodo de junio a julio de 2022. Para el estudio se seleccionaron frutos maduros de color amarillo-naranja, se lavaron con agua potable y de forma manual se extrajeron sus semillas. Más adelante, las semillas se secaron en un horno de convección (SHELL LAB 1350FX10) a 55 °C durante 72 h, además de retirarles la piel que las envuelve. Después del secado, las semillas se trituraron en un procesador de alimentos (Nutribullet 600 W 101126), tamizados en una malla No. 80 para obtener la HR, se colocaron en bolsas Ziploc® y se almacenaron a 4 °C hasta su uso.

1.2. Obtención de harina de maíz nixtamalizado (HMN)

El proceso de nixtamalización tradicional se realizó siguiendo el procedimiento que describe por Mariscal-Moreno *et al.* (2022). El procedimiento consistió en la cocción de maíz blanco en agua con Ca(OH)_2 , con posterior reposo por 14 h en la solución alcalina. El nixtamal, lavado previamente con agua potable, se molió en un molino de piedra comercial para obtener la masa con una humedad ~52%. Se añadió una cierta cantidad de agua durante la molienda para evitar el sobrecalentamiento y la gelatinización excesiva (Campus-Baypoli *et al.*, 1999). La masa obtenida se secó a 75 °C durante 4 h en un horno de convección con posterior molienda en Nutribullet y tamizado en una malla No. 80 para obtener HMN. Se envasó HMN en bolsas Ziploc® a 4 °C hasta la elaboración de discos de masa.

1.3. Elaboración de discos de masa y tortillas

Utilizando una batidora profesional Kitchen Aid® (Kitchen Aid Inc., St. Joseph, USA), la HMN se mezcló con HR (70:30, p/p) durante 5 min. La HMN (control) y HMN:HR (70:30, p/p) se hidrataron hidratados con agua purificada que contenía sal de mar grano fino (SAL SOL®) (0.5 g/100 g masa) hasta producir una masa con 52% de humedad con la batidora mencionada con mezclador tipo paleta (Moo-Huchin *et al.*, 2021).

En este estudio se consideraron diferentes procedimientos de preparación de discos de masa y tortillas para la obtención de las botanas (figura 1):

- a) Adición de aceite comercial de canola (Kirkland Signature) (0 y 5 g/100 g masa, denominados como SA y A, respectivamente) para los discos de masa.

b) Discos de masa cocidos en comal de acero para la obtención de tortillas frescas (denominados como TSD) con 42% de humedad.

c) Discos de masa cocidos en comal de acero para la obtención de tortillas frescas y secados (denominados como TD) a 45 °C durante 4 h hasta alcanzar una humedad del 12 por ciento.

La masa de cada muestra se moldeó en forma de discos aplanados (12.5 cm de diámetro y 1.2 mm de espesor) con una tortilladora manual de rodillos TM-G (Máquinas González, México), después cocidos sobre un comal a 270 °C por ambos lados de la tortilla durante 1 min para permitir su inflado.

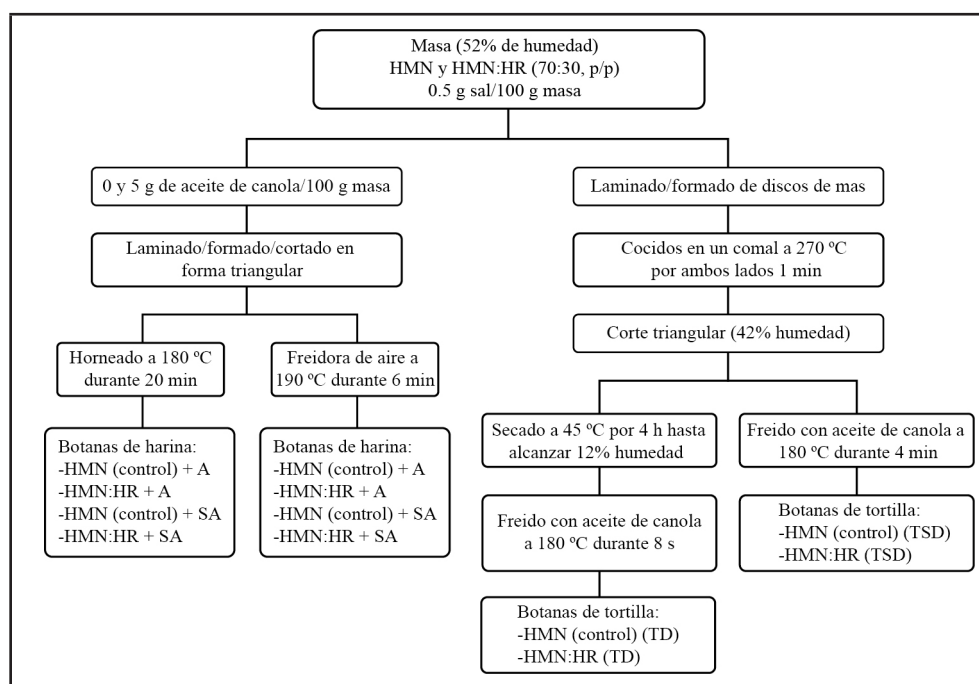


FIGURA 1

Obtención de botanas de maíz adicionadas con harina de ramón y cocidas en horno por convección, freidora de aire y fritura profunda

Fuente: elaboración propia.

1. 4. Métodos de cocción

Se llevaron a cabo tres métodos de cocción: horneado por convección, freidora de aire y fritura profunda. Horneado y freidora de aire: el horno de convección Oster® TSSTTVOO45 y la freidora de aire (Gourmia GAF798) fueron precalentados a 180 °C durante 15 min y 190 °C durante 10 min, respectivamente. Los discos de masa obtenidos en el procedimiento 1 (sección 1. 3.) se cortaron en forma de triángulos (6 cm de cada lado) con un cortador de galletas. Las muestras triangulares se colocaron en una sola capa sobre una bandeja en un horno de convección y se sometieron a cocción a 180 °C durante 20 min (Sugumaran *et al.*, 2019). Por otra parte, las muestras triangulares se colocaron en una cesta antiadherente para freír al aire a 190 °C durante 6 min (las botanas se voltearon cada 3 min). Después de la cocción, las botanas se dejaron enfriar a 25 °C durante 15 min y luego se envasaron en bolsas Ziploc® y se almacenaron a 4 °C. Fritura profunda: previo a la cocción de las muestras, se precalentó aceite de canola (2 l) a 180 °C durante 20 min en una freidora Hamilton Beach 35034. Las tortillas TSD y las tortillas TD obtenidas en el procedimiento 2 y 3 (sección 1. 3.) se cortaron en forma de triángulo equilátero. Las muestras triangulares se colocaron en una cesta de freír para su cocción en el aceite caliente (180 °C) durante 4 min (para TSD) y 8 s (para TD). Después de la cocción, las botanas de tortillas se dejaron escurrir en una canasta colgante

durante 1 min y luego se colocaron entre toallas de papel para eliminar el exceso de aceite (De la Parra *et al.*, 2007). Las botanas se enfriaron a 25 °C durante 15 min para su posterior almacenamiento a 4 °C en bolsas Ziploc®.

1. 5. Métodos analíticos

1. 5. 1. Color

Los parámetros de color de tres regiones distintas sobre la superficie de las botanas, después de su enfriamiento a 25 °C, se midieron con un colorímetro Minolta Chroma (Minolta CR 400, Minolta Camera Co., Osaka, Japan) ya calibrado y se registraron los valores de L^* , a^* y b^* . La cromaticidad (C^*) y el ángulo de tono (h°) se calcularon con base en las ecuaciones 1 y 2:

$$h^\circ = \tan^{-1} (b^* / a^*) \quad (1)$$

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (2)$$

Los valores de h° varían de 0° (rojo puro), 90° (amarillo puro), 180° (verde puro) a 270° (azul puro).

1. 5. 2. Contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) y capacidad antioxidante DPPH

La botana previamente pulverizada (1 g) se homogeneizó con 10 ml de etanol acuoso 80% (v/v, en agua destilada) y la mezcla se sometió a extracción usando un baño de ultrasonidos (CScientific CS-UB100) por 30 min, 30 °C, 100 % de amplitud y 40 kHz de frecuencia. Tras la extracción, la mezcla se centrifugó a 3 500 rpm durante 10 min para recuperar el sobrenadante. La extracción se realizó de nuevo a partir del sedimento obtenido por centrifugación siguiendo el mismo procedimiento que en el primer ciclo de extracción. Se combinaron los sobrenadantes de ambos ciclos de extracción y se ajustó el volumen a 20 ml con etanol acuoso 80% para la determinación del contenido de CFT y la capacidad antioxidante. La cuantificación de CFT se realizó mediante el método de Folin-Ciocalteu según el procedimiento que describe Moo-Huchin *et al.* (2015). Los resultados se expresaron como mg equivalente de ácido gálico (EAG)/100 g de botana. La capacidad antioxidante de las botanas se determinó a través del ensayo DPPH (mM Trolox/100 g de botana) que describe Moo-Huchin *et al.* (2015).

1. 5. 3. Contenido de lípidos totales

Los lípidos fueron extraídos de 2 g de botanas (molidas) mediante un extractor Soxhlet (60 °C durante 6 h) y éter de petróleo como disolvente de extracción. El disolvente se evaporó en un rotavapor al vacío a 40 °C y el peso de los lípidos se calculó como porcentaje (%).

1. 5. 4. Estabilidad oxidativa

La extracción de lípidos se llevó a cabo homogeneizando 10 g de botana (molida) con 60 ml de éter de petróleo durante 1 min a 10 000 rpm en un baño de hielo por medio de un homogeneizador Ultra Turrax (IKA® T18 digital). La mezcla se filtró en papel filtro Whatman® No.1 para retirar los sólidos. Los sólidos fueron sometidos nuevamente a extracción bajo el mismo procedimiento. Los filtrados de ambas extracciones se combinaron y el éter de petróleo se evaporó al vacío en un rotavapor (Rotadest 2118) a 40 °C para obtener los lípidos, los cuales se envasaron bajo una atmósfera de gas inerte a -20 °C para la determinación del índice de peróxido, p-anisidina,

valor de oxidación total (TOTOX), sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS por sus siglas en inglés), dienos (K₂₃₂) y trienos (K 270) conjugados. Los índices de peróxido (IP) (meq O₂/kg de aceite) y p-anisidina (p-An) se determinaron siguiendo el procedimiento que describe Mohammadi *et al.* (2013). El valor TOTOX se calculó con base en la siguiente ecuación:

$$2IP + p-An \quad (3)$$

Los dienos y trienos conjugados en el aceite se determinaron por su absorptividad específica a 232 y 270 nm, tal como lo describen Rohman *et al.* (2011) que utilizaron un espectrofotómetro UV-Vis (Cary 60 Agilent Technologies). Siguiendo el procedimiento de Mohd-Esa *et al.* (2010), la oxidación lipídica se midió mediante el ensayo TBARS con un 1 g de aceite extraído de la botana. Los resultados se expresaron como mg de malondialdehído (MDA)/kg aceite.

1.5.5. Evaluación sensorial

La prueba de aceptación de las botanas se realizó con 50 consumidores habituales (25 mujeres y 25 hombres). Los consumidores se seleccionaron de acuerdo con el nivel de consumo de este tipo de productos. Para los experimentos de evaluación sensorial, se recurrió a una escala hedónica de 9 puntos; en cuanto a esto, las características sensoriales evaluadas fueron color, textura, olor y aceptabilidad general. Las botanas se identificaron con un código aleatorio de tres dígitos. Las respuestas fueron convertidas en valores numéricos que van de 1 para “me disgusta mucho” hasta 9 para “me gusta mucho” con un punto central que indica “ni me gusta ni me disgusta” (Gutiérrez *et al.*, 2014; Mayo-Mayo *et al.*, 2020).

1.6. Almacenamiento de botanas

Este estudio se realizó con botanas que tuvieron mejor aceptación sensorial. Las botanas de tortilla HMN (control) (TSD) y HMN:HR (TSD) (500 g cada uno) se obtuvieron a través de la fritura profunda como se describe en la sección 1.4 y después se envasaron en bolsas Ziploc® para el almacenamiento a 25 °C durante 1, 5, 11, 18, 25, 36 y 40 d. En cada periodo de muestreo se evaluó el contenido de humedad (%) (AOAC International, 2005), IP (Mohammadi *et al.*, 2013) y fuerza de fractura (expresado en N) de las botanas (Salazar *et al.*, 2014).

1.7. Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como valores promedios $\pm$ desviación estándar ($n = 3$), además los datos se analizaron mediante el análisis de varianza ANOVA unidireccional bajo un diseño experimental completamente al azar. Cuando se obtuvieron valores significativos F, las diferencias entre los grupos se evaluaron mediante la prueba de Tukey con el *software* Statgraphics® Centurion XVI. Las diferencias se consideraron estadísticamente significativas cuando $P \leq 0.05$.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1. Color, antioxidantes y estabilidad oxidativa

Hasta la fecha no existen reportes sobre la estabilidad oxidativa de los aceites en botanas elaboradas con harina de maíz y *B. alicastrum* a partir de diferentes métodos de cocción. En el caso de este estudio se encontraron diferencias en los valores de color L*, a*, b*, h°, C* y propiedades antioxidantes entre diferentes botanas de maíz adicionados con HR utilizando tres métodos de cocción (cuadro 1).

CUADRO 1
Color CIE, CFT y capacidad antioxidante DPPH de botanas de maíz adicionadas con HR utilizando diferentes métodos de cocción

Botanas	Método de cocción	L*	a*	b*	h°	C*	DPPH ¹	CFT ²
HMN + A	Horneado	66.91 ± 4.18 ^{cde}	4.95 ± 1.49 ^{de}	12.59 ± 2.57 ^{cd}	67.91 ± 8.17 ^{de}	13.63 ± 2.18 ^{bcd}	20.24 ± 0.34 ^c	96.75 ± 4.26 ^{ab}
HMN + A	Freidora de aire	72.35 ± 0.25 ^{ef}	2.30 ± 0.23 ^a	9.75 ± 0.44 ^{de}	76.66 ± 1.91 ^e	10.02 ± 0.37 ^{ab}	18.74 ± 0.97 ^{bc}	73.25 ± 1.73 ^a
HMN (TD)	Fritura profunda	67.21 ± 1.54 ^{cde}	3.94 ± 0.48 ^{ab}	12.37 ± 1.67 ^{bcd}	72.31 ± 0.21 ^e	12.98 ± 1.74 ^{ded}	15.60 ± 0.38 ^a	57.50 ± 5.66 ^a
HMN + SA	Horneado	71.42 ± 4.35 ^{def}	3.79 ± 0.24 ^{ab}	11.52 ± 1.49 ^{bcd}	71.56 ± 2.92 ^e	12.13 ± 1.38 ^{de}	21.26 ± 0.59 ^c	123.08 ± 7.01 ^{ab}
HMN + SA	Freidora de aire	76.01 ± 1.90 ^f	3.48 ± 2.49 ^{ab}	15.57 ± 2.60 ^d	78.20 ± 6.15 ^e	16.02 ± 3.12 ^{cd}	25.71 ± 1.32 ^d	151.83 ± 9.70 ^b
HMN (TSD)	Fritura profunda	64.57 ± 2.93 ^{bcd}	6.22 ± 0.36 ^{bcd}	14.38 ± 2.06 ^{cd}	66.34 ± 3.61 ^{cde}	15.69 ± 1.83 ^{cd}	19.34 ± 0.26 ^{bc}	83.83 ± 5.34 ^a
HMN:HR + A	Horneado	54.53 ± 1.33 ^a	7.22 ± 1.10 ^{cde}	9.93 ± 0.33 ^{de}	54.10 ± 4.97 ^{bc}	12.31 ± 0.41 ^{de}	28.60 ± 1.92 ^e	606.42 ± 26.65 ^d
HMN:HR + A	Freidora de aire	59.05 ± 2.62 ^{ab}	4.55 ± 0.41 ^{de}	11.02 ± 2.03 ^{ded}	67.30 ± 3.14 ^{cde}	11.94 ± 1.96 ^{de}	28.53 ± 0.70 ^e	653.17 ± 9.70 ^{de}
HMN:HR (TD)	Fritura profunda	52.96 ± 0.62 ^a	5.79 ± 0.00 ^{bcd}	6.21 ± 1.44 ^a	46.50 ± 6.23 ^{ab}	8.53 ± 1.09 ^a	17.13 ± 0.65 ^{ab}	442.58 ± 12.95 ^c
HMN:HR + SA	Horneado	55.82 ± 2.15 ^a	8.80 ± 0.70 ^{de}	7.52 ± 1.13 ^{ab}	40.38 ± 2.81 ^a	11.59 ± 1.19 ^{de}	35.56 ± 0.34 ^f	827.42 ± 44.69 ^g
HMN:HR + SA	Freidora de aire	63.18 ± 1.96 ^{bc}	9.53 ± 1.33 ^e	14.38 ± 0.99 ^{cd}	56.57 ± 2.02 ^{bcd}	17.26 ± 1.55 ^d	29.35 ± 1.02 ^e	760.00 ± 7.04 ^f
HMN:HR (TSD)	Fritura profunda	57.74 ± 2.29 ^{ab}	8.38 ± 0.43 ^{de}	9.59 ± 1.44 ^{de}	48.63 ± 5.54 ^{ab}	12.77 ± 0.89 ^{ded}	39.36 ± 0.61 ^g	719.83 ± 53.98 ^{ef}

Fuente: elaboración propia.

Nota: los resultados son promedios de tres repeticiones ± desviación estándar. Valores con diferentes letras dentro de cada columna son significativamente diferentes a $P \leq 0.05$. CFT = compuestos fenólicos totales. DPPH = 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo. ¹Valor expresado como mM Trolox/100 g de botana; ²Valor expresado como mg EAG/100 g de botana.

La botana HMN + SA obtenida de la freidora de aire mostró el valor de luminosidad L* más alto (76.01±1.90) en comparación con otras botanas (excepto para HMN + SA, horneado, y HMN + A, freidora de aire). De igual manera, en un estudio se encontró que el valor de color L* de las papas fritas fue mayor cuando se utilizó la freidora de aire y el horneado en estufa comparado con la fritura profunda (Caetano *et al.*, 2017). Al comparar entre el mismo método de cocción, las botanas HMN exhibieron una disminución significativa del valor de L* cuando se adicionó HR. Se obtuvo un valor de L* similar entre la botana HMN + SA (76.01 ± 1.90) y HMN + A (72.35 ± 0.25) cocida en freidora de aire. Se observaron los mismos resultados para las botanas HMN:HR (con y sin aceite) cocidas en un horno de convección.

La botana HMN (TD) obtenida por fritura profunda resultó con un color L* (67.21 ± 1.54) similar al HMN (TSD) (64.57 ± 2.93). Una situación similar se observó entre HMN:HR (TD) y HMN:HR (TSD). De manera general, los valores del color rojo a* de las botanas con HR exhibieron una tendencia a incrementar, a la vez que

se observó una disminución en los valores del color amarillo b^* y del ángulo de tono h° , lo que explica el color marrón de las botanas que contenían HR. Este hecho lo ha señalado Moo-Huchin *et al.* (2021), en donde las tortillas de maíz adicionadas con tres niveles de HR mostraron una coloración marrón. Al experimentar con la freidora de aire, la botana HMN + SA tuvo una coloración más amarilla que la botana HMN + A ($b^* = 9.75 \pm 0.44$ y $C^* = 10.02 \pm 0.37$) debido al alto valor de b^* (15.57 ± 2.60) y C^* (16.02 ± 3.12) que alcanzó la primera botana. Asimismo, la botana HMN:HR + SA ($C^* = 17.26 \pm 1.55$ y $h^\circ = 56.57 \pm 2.02$) obtenida de la freidora de aire tuvo mayor coloración rojo-amarillo en comparación a la botana HMN:HR + A ($C^* = 11.94 \pm 1.96$ y 67.30 ± 3.14). La botana HMN + SA obtenida de la freidora de aire resultó con un color dorado, explicado por sus valores más altos de L^* y b^* con disminución del valor a^* (Özcan *et al.*, 2021).

En la actualidad existe un interés creciente en identificar plantas antioxidantes o sus extractos como ingredientes bioactivos que puedan minimizar o retardar la oxidación de los lípidos en productos alimenticios que contienen grasa (Gharby *et al.*, 2022). De todas las botanas, HMN:HR (TSD) obtenida a través de la fritura profunda obtuvo la mayor capacidad antioxidante DPPH (39.36 ± 0.61 mM trolox/100 g), mientras que la botana HMN:HR + SA (horneado) resultó con el mayor contenido de CFT (827.42 ± 44.69 mg EAG/100 g). Entre el mismo método de cocción los valores de capacidad antioxidante DPPH y CFT fueron superiores en las botanas con HR en comparación a las botanas HMN sin HR. El incremento de la capacidad antioxidante y el mayor contenido de CFT en las botanas se puede atribuir a la alta capacidad antioxidante y a la presencia de ácidos fenólicos y flavonoides en la harina de *B. alicastrum* que reportan Ozer (2017) y Moo-Huchin *et al.* (2019). Al comparar la botana HMN + A (73.25 ± 1.73 mg EAG/100 g para CFT y 18.74 ± 0.97 mM trolox/100 g para DPPH) y HMN + SA (151.83 ± 9.70 mg EAG/100 g para CFT y 25.71 ± 1.32 mM trolox/100 g para DPPH) cocidas en freidora de aire; la segunda botana obtuvo mayor contenido de CFT y mayor capacidad antioxidante (al igual que una mayor coloración amarilla). Este mismo resultado se aprecia cuando se comparan las botanas horneadas HMN:HR + A (606.42 ± 26.65 mg EAG/100 g para CFT y 28.60 ± 1.92 mM trolox/100 g para DPPH) y HMN:HR + SA (827.42 ± 44.69 mg EAG/100 g para CFT y 35.56 ± 0.34 mM trolox/100 g para DPPH). Con estos resultados se presume que los productos derivados de la oxidación de los lípidos durante la cocción de la botana que contenía aceite redujeron el contenido de CFT. Se sabe que durante el freído de los alimentos, la exposición al aire y las altas temperaturas ocurren reacciones químicas tales como oxidación, polimerización, hidrólisis e isomerización y como consecuencia el aceite del producto produce una variedad de compuestos que afectan la estabilidad del aceite (Wu *et al.*, 2022).

De acuerdo con los resultados, se sugiere la TSD en fritura profunda en lugar de TD, porque las botanas HMN y HMN:HR con TSD tuvieron mayor capacidad antioxidante y contenido de CFT. El secado de las tortillas a 45°C durante 4 h para obtener TD puede resultar en una pérdida de capacidad antioxidante y un menor contenido de compuestos fenólicos.

En el cuadro 2 se muestra el contenido de lípidos y los parámetros de la estabilidad oxidativa de las botanas evaluadas. El mayor contenido de lípidos se registró en las botanas HMN (TSD) (16.21 ± 0.17) y HMN:HR (TSD) (16.15 ± 0.24) cocidas en fritura profunda, aunque las botanas de maíz elaboradas con fritura profunda pueden alcanzar un contenido de aceite alrededor de 28% (Yuksel *et al.*, 2017); sin embargo, en concordancia con Serna-Saldivar y Chuck-Hernandez (2019), las botanas de maíz que contienen 16% de aceite se consideran botanas ligeras, tal como se obtuvo en este trabajo. Comparando entre el mismo método de cocción, las botanas que contenían HR exhibieron menor contenido de lípidos, excepto para las botanas horneadas. El uso de la harina de *B. alicastrum* afecta la matriz de la botana y quizás una reducción en el tamaño de los poros de la botana que se somete a cocción y como consecuencia absorbe menos aceite (Özcan *et al.*, 2021). Las botanas HMN y HMN:HR elaboradas con TD cocidas en fritura profunda resultaron con el menor contenido de lípidos (~ 1.8 veces menor) comparado con las botanas obtenidas con TSD. Durante la fritura profunda la botana intercambia agua que se evapora por aceite y como consecuencia si se utiliza TSD (que tiene más humedad), se absorbe más aceite (Serna-Saldivar, 2021), tal como aquí se registra.

CUADRO 2
Contenido de lípidos y parámetros de oxidación del aceite de botanas de maíz adicionadas con HR a partir de diferentes métodos de cocción

Formulación	Método de cocción	p-An	IP ¹	TOTOX	TBARS ²	K ₂₃₂	K ₂₇₀	Lípidos (%)
HMN + A	Horneado	11.05 ± 0.99 ^{bc}	36.11 ± 3.85 ^c	83.85 ± 8.68 ^c	1.74 ± 0.01 ^d	8.48 ± 0.01 ^{ab}	1.50 ± 0.01 ^a	11.50 ± 0.46 ^e
HMN + A	Freidora de aire	25.67 ± 0.29 ^e	51.66 ± 2.89 ^d	129.01 ± 5.48 ^e	1.21 ± 0.03 ^c	13.91 ± 1.07 ^d	2.91 ± 0.55 ^b	11.74 ± 0.53 ^e
HMN (TD)	Fritura profunda	9.19 ± 0.73 ^{ab}	12.22 ± 0.48 ^a	33.64 ± 1.69 ^{ab}	1.18 ± 0.02 ^c	8.52 ± 0.00 ^{ab}	1.45 ± 0.00 ^a	9.78 ± 0.18 ^d
HMN + SA	Horneado	27.32 ± 0.25 ^{ef}	56.11 ± 1.92 ^d	139.69 ± 3.60 ^e	0.43 ± 0.01 ^a	20.63 ± 0.05 ^g	4.08 ± 0.00 ^c	2.36 ± 0.06 ^a
HMN + SA	Freidora de aire	21.61 ± 0.52 ^d	39.44 ± 1.93 ^c	100.50 ± 3.33 ^d	0.65 ± 0.05 ^b	13.8 ± 1.21 ^d	2.74 ± 0.24 ^b	3.84 ± 0.29 ^b
HMN (TSD)	Fritura profunda	9.58 ± 1.10 ^{abc}	10.00 ± 0.00 ^a	29.58 ± 1.10 ^a	1.18 ± 0.01 ^c	7.27 ± 0.02 ^a	1.40 ± 0.01 ^a	16.21 ± 0.17 ^f
HMN:HR + A	Horneado	12.51 ± 0.13 ^c	36.11 ± 3.85 ^c	84.74 ± 7.83 ^c	2.07 ± 0.04 ^e	9.55 ± 0.14 ^b	1.86 ± 0.06 ^a	9.93 ± 0.36 ^d
HMN:HR + A	Freidora de aire	7.43 ± 0.67 ^a	18.89 ± 1.92 ^b	45.21 ± 4.52 ^b	0.70 ± 0.02 ^b	7.87 ± 0.00 ^a	1.36 ± 0.01 ^a	9.24 ± 0.52 ^d
HMN:HR (TD)	Fritura profunda	7.63 ± 0.13 ^a	10.56 ± 0.96 ^a	28.75 ± 2.06 ^a	0.47 ± 0.01 ^a	11.38 ± 0.05 ^c	2.61 ± 0.02 ^b	8.32 ± 0.11 ^c
HMN:HR + SA	Horneado	29.16 ± 2.32 ^f	54.44 ± 0.96 ^d	138.05 ± 4.24 ^e	1.67 ± 0.01 ^d	17.25 ± 0.05 ^f	4.18 ± 0.02 ^c	3.04 ± 0.01 ^{ab}
HMN:HR + SA	Freidora de aire	20.77 ± 2.00 ^d	52.78 ± 0.96 ^d	126.33 ± 3.93 ^e	1.65 ± 0.08 ^d	15.32 ± 0.01 ^e	3.78 ± 0.01 ^c	2.40 ± 0.09 ^a
HMN:HR (TSD)	Fritura profunda	11.66 ± 0.19 ^{bc}	15.00 ± 0.00 ^{ab}	41.66 ± 0.19 ^{ab}	1.12 ± 0.01 ^c	7.85 ± 0.01 ^a	1.68 ± 0.01 ^a	16.15 ± 0.24 ^f

Fuente: elaboración propia.

Nota: los resultados son promedios de tres repeticiones ± desviación estándar. Valores con diferentes letras dentro de cada columna son significativamente diferentes a $P \leq 0.05$. ¹Valor expresado como meq O₂/kg aceite, ²Valor expresado como mg de malondialdehído (MDA)/kg aceite.

Por otra parte, al comparar los tratamientos, las botanas HMN (TD y TSD, fritura profunda), HMN:HR (TD y TSD, fritura profunda) y HMN:HR + A (freidora de aire) exhibieron los valores más bajos de p-An, IP, TOTOX, K₂₃₂ y K₂₇₀. El valor de p-An se utiliza en combinación con IP para evaluar el grado de rancidez oxidativa de productos alimenticios. Así también, la absorbancia a 232 nm se puede aprovechar para medir el grado de oxidación primaria y también los dienos conjugados. Mientras tanto, la oxidación secundaria del aceite de las botanas se detecta midiendo la absorbancia a 270 nm (cetonas y trienos conjugados) (Yoong y Rozaina, 2021). El valor más bajo de IP de las botanas se atribuiría a la inhibición de la formación de radicales libres durante la etapa de iniciación, la interrupción de la propagación de la reacción en cadena de radicales libres al actuar los compuestos fenólicos de la HR como donante de electrones o secuestradores de radicales libres en

muestras de botanas (Rababah *et al.*, 2011). El valor más bajo de p-An encontrado en este trabajo significa que hubo inhibición en la descomposición de productos oxidativos primarios (hidroperóxidos) en compuestos aldehídicos (Srivastava y Semwal, 2015). Entre la botana HMN + A y HMN:HR + A cocida en freidora de aire, la segunda botana obtuvo el menor valor de p-An, IP, TOTOX, K₂₃₂ y K₂₇₀, lo que indica que la botana con HR resultó con mayor estabilidad oxidativa, quizás por la alta capacidad antioxidante y el alto contenido de ácido gálico, ácido clorogénico y ácido vanílico de HR que reporta Moo-Huchin *et al.* (2019). También Özcan *et al.* (2021) demostraron que el uso de harina de lupino a diferentes proporciones permitió reducir el valor de peróxido de botanas de maíz y trigo.

Las botanas horneadas (HMN y HMN:HR) con aceite redujeron los valores de p-An, IP, TOTOX, K₂₃₂ y K₂₇₀ cuando se compara con las botanas sin aceite. En fritura profunda los valores de p-An, IP, TOTOX, K₂₃₂ y K₂₇₀ fueron similares entre la botana HMN (TD) y HMN (TSD); estos resultados no coinciden para la botana HMN:HR (TD y TSD), ya que HMN:HR (TSD) resultó con el menor valor de K₂₃₂ y K₂₇₀.

Por otra parte, el valor TBARS es un índice de oxidación de los lípidos que mide el contenido de MDA, el cual en muchos casos es el aldehído más abundante resultante de la peroxidación de lípidos (Kumar *et al.*, 2018). De todas las botanas, HMN + SA (horneado) y HMN:HR (TD) en fritura profunda tuvieron el valor más bajo de TBARS (0.43 ± 0.01 y 0.47 ± 0.01 mg MDA/kg aceite, respectivamente). La adición de HR en la botana HMN + A (freidora de aire) y HMN (TD) (fritura profunda) favoreció la reducción del valor de TBARS respecto al control sin HR. La reducción del valor de TBARS de las botanas puede atribuirse al efecto antioxidante de la HR sobre la oxidación de lípidos. El uso de aceite en botanas HMN (horneados y en freidora de aire) aumentó el valor TBARS respecto a las que no lo usaron. En fritura profunda el uso de TD permitió reducir el valor de TBARS de la botana HMN:HR en relación con el uso de TSD. Con base en los resultados, se seleccionaron las botanas HMN y HMN:HR (TD y TSD) cocidas en fritura profunda para la evaluación sensorial, considerando que *a*) las botanas HMN y HMN:HR (fritura profunda) resultaron con mayor capacidad antioxidante y mayor contenido de CFT cuando se utilizaron tortillas sin deshidratar en lugar de tortillas deshidratadas; *b*) los valores más bajos de p-An, IP, TOTOX, K₂₃₂ y K₂₇₀ fueron para las botanas HMN (TD y TSD) y HMN:HR (TD y TSD) cocidas en fritura profunda y *c*) la botana HMN:HR (TD) cocida en fritura profunda se caracterizó por su bajo valor de TBARS.

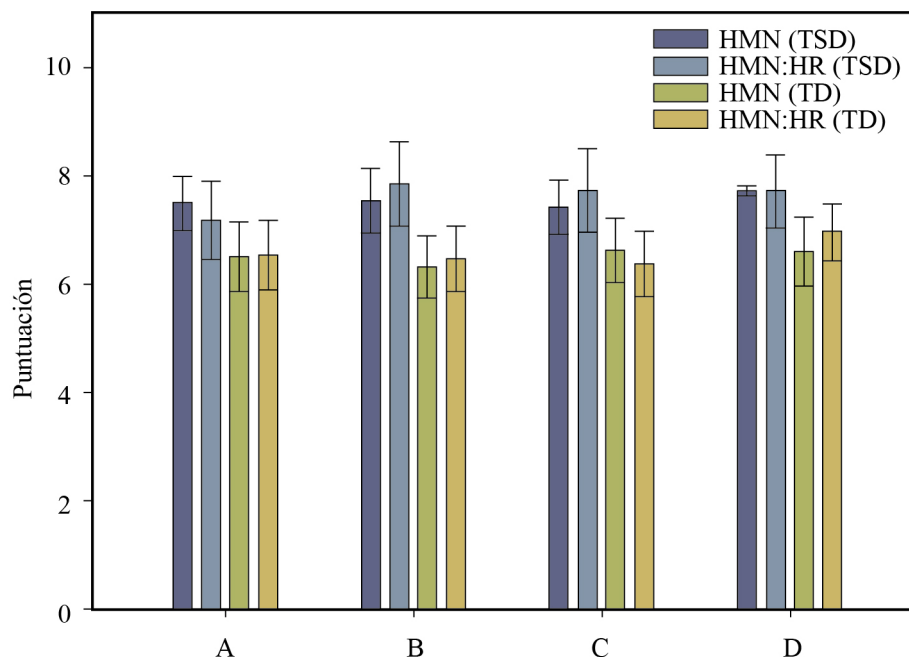
2. 2. Propiedades sensoriales

En la gráfica 1 se presentan los resultados de la evaluación sensorial de las botanas de maíz adicionadas con harina de *B. alicastrum* utilizando TSD y TD en fritura profunda. Las botanas HMN y HMN:HR con TSD mostraron mayor aceptabilidad por parte de los consumidores en color, textura, olor y aceptabilidad general (entre gusta moderadamente y gusta mucho) en comparación al uso de TD (entre gusta poco y gusta moderadamente). Considerando los resultados de la evaluación sensorial, se seleccionó la botana elaborada con TSD en fritura profunda para el estudio de almacenamiento.

2. 3. Almacenamiento de botanas

En la gráfica 2 se observan los cambios en el contenido de humedad de las botanas HMN y HMN:HR utilizando TSD y cocidas en fritura profunda. Se observó poca variación en el contenido de humedad (entre 7.01 y 7.74 %) durante 40 d de almacenamiento de la botana HMN (control) (TSD). Una situación contraria es la que reporta botana HMN:HR (TSD) (entre 4.22 y 6.85%).

Al comparar las botanas, se encontraron diferencias en el contenido de humedad durante los primeros 18 d de almacenamiento. Sin embargo, ambas botanas mostraron tendencias similares en el contenido de humedad entre 25 y 40 d.

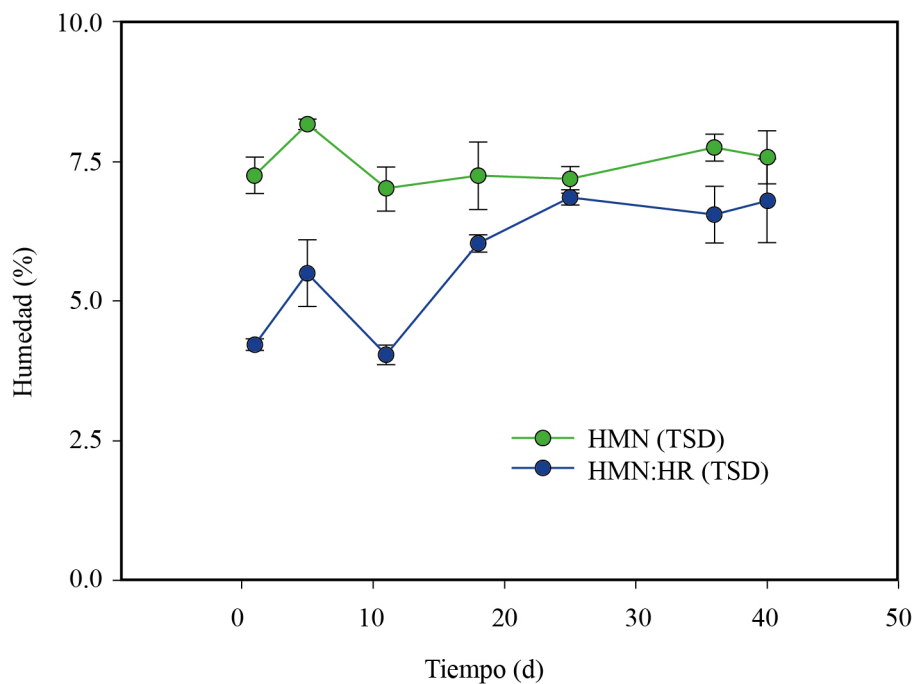


GRÁFICA 1

Acceptación de botanas de tortillas de maíz adicionadas con harina de *B. alicastrum* a partir de la fritura profunda

Fuente: elaboración propia.

Nota: A = color; B = textura; C = olor; D = aceptabilidad general. Los valores son promedios $\pm$ desviación estándar. HMN (TSD) = harina de maíz nixtamalizado y tortilla sin deshidratar; HMN:HR (TSD) = harina de maíz nixtamalizado:harina de *B. alicastrum* y tortilla sin deshidratar; HMN (TD) = harina de maíz nixtamalizado y tortilla deshidratado; HMN:HR (TD) = harina de maíz nixtamalizado:harina de *B. alicastrum* y tortilla deshidratado.



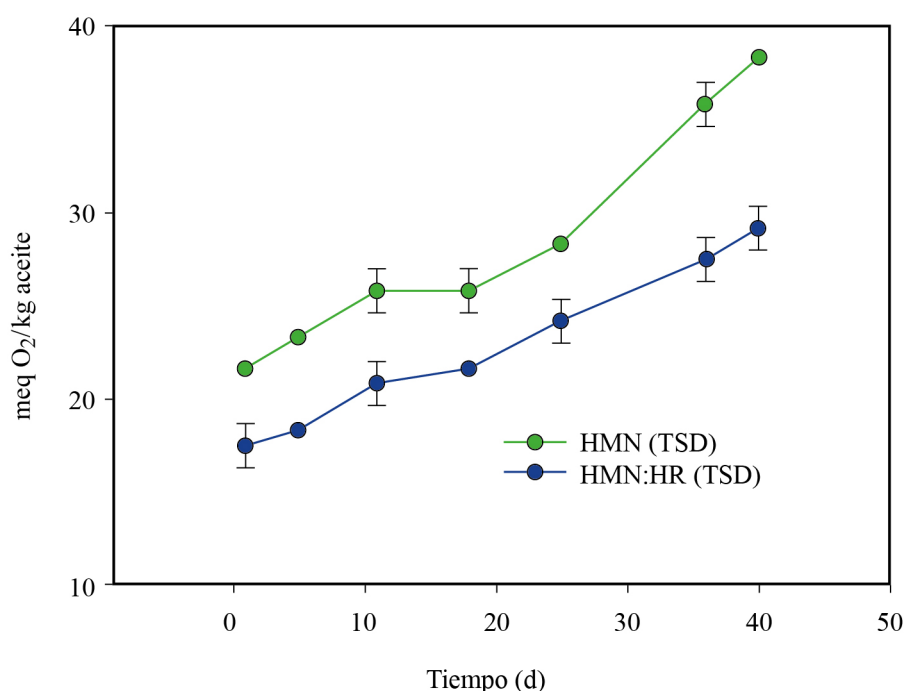
GRÁFICA 2

Contenido de humedad durante el almacenamiento de botanas de tortillas de maíz adicionadas con harina de ramón utilizando la fritura profunda

Fuente: elaboración propia.

Nota: los valores son promedios $\pm$ desviación estándar. HMN (TSD) = harina de maíz nixtamalizado y tortilla sin deshidratar; HMN:HR (TSD) = harina de maíz nixtamalizado:harina de *B. alicastrum* y tortilla sin deshidratar.

El valor del peróxido de grasa/aceite se puede utilizar para evaluar el grado de deterioro durante el almacenamiento de un producto (Raleng *et al.*, 2022). Las botanas de tortilla mostraron una tendencia a incrementar los valores de IP durante el almacenamiento (de 17.5 ± 1.17 hasta 29.17 ± 1.18 meq O_2 /kg para HMN:HR y de 21.67 ± 0.00 hasta 38.33 ± 0.00 meq O_2 /kg para HMN) (gráfica 3); sin embargo, hubo una reducción de los valores IP para las botanas que contenían HR. Al final del almacenamiento se encontró que la adición de HR a la botana redujo el valor de IP 1.31 veces en comparación con el control (HMN). La oxidación de los lípidos en los alimentos está relacionado con una serie de reacciones en cadena que en primer lugar se generan peróxidos, por lo que el valor de IP corresponde al estado de oxidación primaria de los lípidos, lo que da lugar a la rancidez del aceite (Elouafy *et al.*, 2022). El valor de IP más bajo de la botana HMN:HR está relacionado con el mayor contenido de compuestos fenólicos (ácido gálico, ácido vanílico, ácido cafeico, epicatequina, ácido clorogénico etc) y la capacidad antioxidante de la harina de *B. alicastrum* que reportan Moo-Huchin *et al.* (2019), Ozer (2017) y Losoya-Sifuentes *et al.* (2023). Se ha demostrado que los compuestos fenólicos inhiben las reacciones de oxidación de los lípidos mediante la donación de electrones a los radicales libres (Salami *et al.*, 2020).



GRÁFICA 3

Índice de peróxido durante el almacenamiento de botanas de tortillas de maíz adicionadas con harina de ramón utilizando la fritura profunda

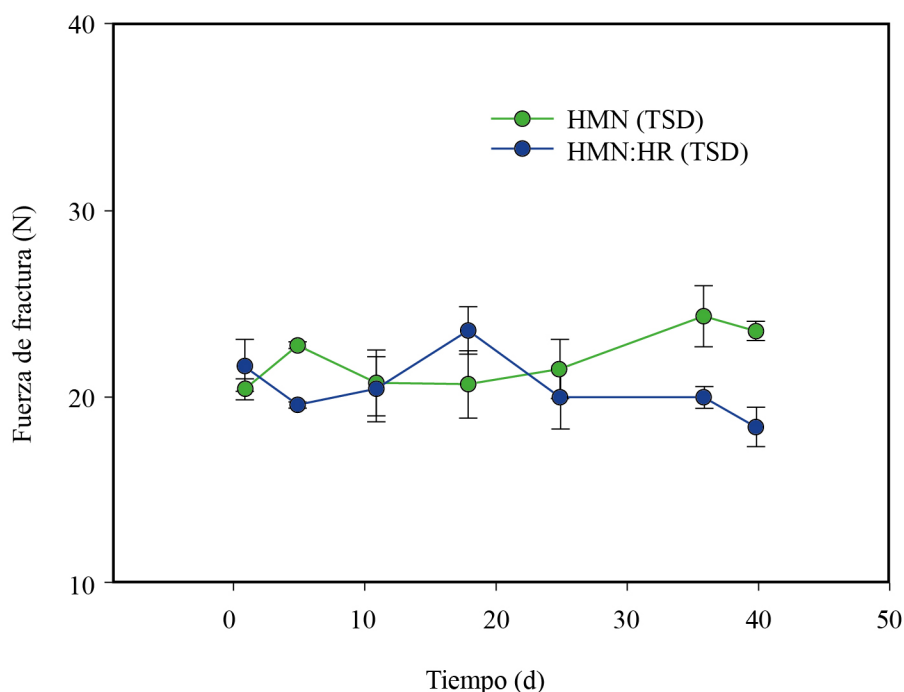
FFuente: elaboración propia.

Nota: los valores son promedios $\pm$ desviación estándar. HMN (TSD) = harina de maíz nixtamalizado y tortilla sin deshidratar; HMN:HR (TSD) = harina de maíz nixtamalizado:harina de *B. alicastrum* y tortilla sin deshidratar.

Conforme con Sattar *et al.* (2022), los compuestos fenólicos actúan como agentes reductores que evitan la formación de peróxidos en un producto, prolongado su vida útil y, por lo tanto, los compuestos fenólicos pueden desempeñar la función de los antioxidantes sintéticos.

La gráfica 4 muestra la variación de la fuerza de fractura que experimentan las botanas de tortillas con fritura profunda. La fuerza de fractura (N) de la botana HMN resultó similar durante 25 d (entre 20.33 ± 0.56 y 22.67 ± 0.16 N) hasta incrementar su valor al final del almacenamiento (24.26 ± 1.63 N para 36 d y 23.44 ± 0.50 para 40 d). Una situación contraria es la de la botana HMN:HR, cuyos valores de fuerza de fractura disminuyeron al final del almacenamiento (entre 19.86 ± 0.55 N para 36 d y 18.29 ± 1.08 N para 40 d). Estas variaciones en la

fuerza de fractura se pueden relacionar por el grado de oxidación de los lípidos de las botanas como resultado de las cooxidaciones de lípidos, es decir, interacciones de radicales de oxidación de lípidos con otras moléculas de la muestra (Schaich, 2014). Albertos *et al.* (2016) y Nagpal *et al.* (2023) reportaron que los cambios estructurales de un alimento durante el almacenamiento puede estar relacionado con la oxidación de lípidos, tal es el caso para la botana HMN:HR que redujo su fuerza de fractura al final del almacenamiento con un valor más bajo de IP. Cuando aumenta el tiempo de almacenamiento aumenta la fuerza de fractura de la botana HMN (TSD) y la causa puede ser el incremento del contenido de humedad al final del almacenamiento (gráfica 2), lo que altera el equilibrio de unión del almidón, ya que el agua actúa como plastificante del almidón reduciendo su viscosidad; por lo tanto, el producto se vuelve más denso (Raleng *et al.*, 2022).



GRÁFICA 4

Fuerza de fractura durante el almacenamiento de botanas de tortillas de maíz adicionadas con harina de ramón utilizando la fritura profunda

Fuente: elaboración propia.

Nota: los valores son promedios $\pm$ desviación estándar. HMN (TSD) = harina de maíz nixtamalizado y tortilla sin deshidratar; HMN:HR (TSD) = harina de maíz nixtamalizado:harina de *B. alicastrum* y tortilla sin deshidratar.

PROSPECTIVA

En México las botanas de maíz son populares en la dieta y se caracterizan por ser alimentos listos para el consumo. Las botanas de maíz son porciones de tortilla frita u horneada que tienen una textura crujiente; sin embargo, estos productos que son sometidos a fritura presentan rancidez oxidativa. El uso de harinas no convencionales ricos en antioxidantes como el ramón (*B. alicastrum*) es una alternativa para retardar el deterioro oxidativo de las botanas. El ramón es un árbol tropical que fue aprovechado por los antiguos mayas en la medicina tradicional y como recurso alimenticio para animales y seres humanos; sin embargo, a través de los años se ha perdido la relevancia del árbol por el olvido de las milenarias tradiciones de su uso. Se ha considerado al árbol ramón como una especie clave para enfrentar los problemas del cambio climático y de la soberanía alimentaria en México. Existe una tendencia a la revalorización del árbol atribuido a la abundancia de su fruto, valor nutricional y propiedades

antioxidantes. Como prospectiva, las botanas de maíz fortificadas con harina de semillas del árbol ramón contribuyen a promover una alimentación sostenible, nutritiva y con beneficios a la salud humana. El uso de la harina de semillas de ramón para fortificar las botanas de maíz propuesta en este artículo representa una forma de revalorizar el árbol milenario. La información registrada en este artículo respalda científicamente al árbol ramón como una especie con potencial económico para la producción de nuevos alimentos, además de contribuye a preservar el medioambiente y constituye un incentivo para el desarrollo de una agroindustria sustentable.

CONCLUSIONES

En este estudio se utilizó harina de Ramón (HR) como fuente de compuestos fenólicos para el desarrollo de botanas de maíz procesados con diferentes métodos de cocción (horneado, freidora de aire y fritura profunda). Los resultados de cada método de cocción mostraron que las botanas de maíz tenían un color marrón debido a la influencia de la HR. Entre todos los tratamientos, las botanas maíz/HR elaborados con tortillas sin deshidratar y cocidas en fritura profunda exhibieron mayores propiedades bioactivas. Las botanas (maíz y maíz/HR) obtenidos por fritura profunda en tortillas (deshidratadas o sin deshidratar) se caracterizaron por una alta estabilidad oxidativa (valores más bajos de p-An, IP, TOTOX, K₂₃₂ y K₂₇₀), en donde la mayor aceptabilidad en los consumidores es cuando se utilizan tortillas sin ningún procesamiento (sin deshidratar). La adición de harina de Ramón disminuyó el índice de peróxido de las botanas durante 40 días de almacenamiento. Considerando las tendencias en el mercado, la botana de maíz/HR con tortilla sin deshidratar y cocida en fritura profunda podría ser una alternativa de consumo saludable y práctica.

AGRADECIMIENTOS

Alejandro Farfán-Coox agradece la beca de estudiante otorgada por la Fundación Pablo García, del Gobierno del Estado de Campeche para realizar estudios de posgrado en el Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, en el estado de Campeche. Así también, se agradece a los árbitros por sus contribuciones para mejorar la redacción del artículo.

REFERENCIAS

- Al Faruq, A., Khatun, M. H. A., Azam, S. R., Sarker, M. S. H., Mahomud, M. S., & Jin, X. (2022). Recent advances in frying processes for plant-based foods. *Food Chemistry Advances*, 1, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100086>
- Albertos, I., Martin-Diana, A. B., Sanz, M., Barat, J. M., Diez, A. M., Jaime, I., & Rico, D. (2016). Effect of high pressure processing or freezing technologies as pretreatment in vacuum fried carrot snacks. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 115-122. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.004>
- AOAC International. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International*. AOAC International. Maryland.
- Babacan Cevik, S., Kahraman, K., & Ekici, L. (2022). Production of oven-baked wheat chips enriched with red lentil: an optimization study by response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 59(6), 2243-2254. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05237-8>
- Caetano, P. K., Mariano-Nasser, F. A. D. C., Mendonça, V. Z. D., Furlaneto, K. A., Daiuto, E. R., & Vieites, R. L. (2017). Physicochemical and sensory characteristics of sweet potato chips undergoing different cooking methods. *Food Science and Technology*, 38(3), 434-440. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.08217>
- Campus-Baypoli, O. N., Rosas-Burgos, E. C., Torres-Chávez, P. I., Ramírez-Wong, B., & Serna-Saldívar, S. O. (1999). Physicochemical changes of starch during maize tortilla production. *Starch-Stärke*, 51(5), 173-177. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-379X\(199905\)51:5<173::AID-STAR173>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-379X(199905)51:5<173::AID-STAR173>3.0.CO;2-B)

- De la Parra, C., Serna Saldivar, S. O., & Liu, R. H. (2007). Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), 4177-4183. <https://doi.org/10.1021/jf063487p>
- Dong, L., Qiu, C.-Y., Wang, R.-C., Zhang, Y., Wang, J., Liu, J.-m.,... & Wang, S. (2022). Effects of air frying on french fries: The Indication role of physicochemical properties on the formation of Maillard Hazards, and the changes of starch digestibility. *Frontiers in Nutrition*, 9, 889901. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.889901>
- Elouafy, Y., El Idrissi, Z. L., El Yadini, A., Harhar, H., Alshahrani, M. M., Al Awadh, A. A.,... & Tabyaoui, M. (2022). Variations in antioxidant capacity, oxidative stability, and physicochemical quality parameters of walnut (*Juglans regia*) oil with roasting and accelerated storage conditions. *Molecules*, 27(22), 7693. <https://doi.org/10.3390/molecules27227693>
- García-Pérez, A., Muñoz-Hernández, J. E., Guzmán-Corona, C., Cerón-García, A., Ozuna, C., & Sosa-Morales, M. E. (2019). Performance of individual antioxidants and their blend during repeated frying of tortilla chips. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12), e14263. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14263>
- Gharby, S., Oubannin, S., Ait Bouzid, H., Bijla, L., Ibourki, M., Gagour, J.,... & Lee, L.-H. (2022). An overview on the use of extracts from medicinal and aromatic plants to improve nutritional value and oxidative stability of vegetable oils. *Foods*, 11(20), 3258. <https://doi.org/10.3390/foods11203258>
- Gutiérrez, A. G. Q., Rosendo, G. G., Navarro, A. S., Navarrete, G. E. R., Sánchez, J. V., & Rivera, G. B. (2014). Caracterización de una tortilla tostada elaborada con maíz (*Zea mays*) y alga (*Ulva clathrata*) como prospecto de alimento funcional. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 20(1), 22-28. <https://doi.org/10.7400/RENC.2014.01.1.5005>
- Kumar, R., Xavier, K. M., Lekshmi, M., Balange, A., & Gudipati, V. (2018). Fortification of extruded snacks with chitosan: Effects on techno functional and sensory quality. *Carbohydrate Polymers*, 194, 267-273. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.050>
- Liu, Y., Wang, Y., Cao, P., & Liu, Y. (2018). Combination of gas chromatography-mass spectrometry and electron spin resonance spectroscopy for analysis of oxidative stability in soybean oil during deep-frying process. *Food Analytical Methods*, 11(5), 1485-1492. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-1132-7>
- Losoya-Sifuentes, C., Pinto-Jimenez, K., Cruz, M., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Loredó-Treviño, A.,... & Belmares, R. (2023). Determination of Nutritional and Antioxidant Properties of Maya Nut Flour (*Bro-simum alicastrum*) for Development of Functional Foods. *Foods*, 12(7), 1398. <https://doi.org/10.3390/foods12071398>
- Mansour, H. M., El-Sohaimy, S. A., Zeitoun, A. M., & Abdo, E. M. (2022). Effect of natural antioxidants from fruit leaves on the oxidative stability of soybean oil during accelerated storage. *Antioxidants*, 11(9), 1691. <https://doi.org/10.3390/antiox11091691>
- Mariscal-Moreno, R. M., Sánchez, K. R., & Cárdenas, J. d. D. F. (2022). Nixtamalization process affect maize tortillas storage quality. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 30, 100604. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100604>
- Mayo-Mayo, G., Navarrete-García, A., Maldonado-Astudillo, Y. I., Jiménez-Hernández, J., Santiago-Ramos, D., Arámbula-Villa, G.,... & Salazar, R. (2020). Addition of roselle and mango peel powder in tortilla chips: A strategy for increasing their functionality. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(3), 1511-1519. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00400-9>
- Mohammadi, M., Hajeb, P., Seyyedian, R., Mohebbi, G. H., & Barmak, A. (2013). Evaluation of oxidative quality parameters in imported edible oils in Iran. *British Food Journal*, 115(6), 789-795. <https://doi.org/10.1108/BFJ-Feb-2011-0035>

- Mohd-Esa, N., Hern, F. S., Ismail, A., & Yee, C. L. (2010). Antioxidant activity in different parts of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts and potential exploitation of the seeds. *Food Chemistry*, 122(4), 1055-1060. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.074>
- Moo-Huchin, V., Canto-Pinto, J., Cuevas-Glory, L., Sauri-Duch, E., Pérez-Pacheco, E., & Betancur-Ancona, D. (2019). Effect of extraction solvent on the phenolic compounds content and antioxidant activity of Ramon nut (*Brosimum alicastrum*). *Chemical Papers*, 73(7), 1647-1657. <https://doi.org/10.1007/s11696-019-00716-x>
- Moo-Huchin, V. M., Góngora-Chi, G. J., Sauri-Duch, E., Canto-Pinto, J. C., Betancur-Ancona, D., & Ramón-Canul, L. G. (2021). Tortilla de maíz adicionado con harina de *Brosimum alicastrum*: propiedades fisicoquímicas y actividad antioxidante. *CIENCIA ergo-sum*, 28(3), 1-12. <https://doi.org/10.30878/ces.v28n3a1>
- Moo-Huchin, V. M., Moo-Huchin, M. I., Estrada-León, R. J., Cuevas-Glory, L., Estrada-Mota, I. A., Ortiz-Vázquez, E.,... & Sauri-Duch, E. (2015). Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, 166(1), 17-22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.127>
- Nagpal, T., Yadav, V., Khare, S. K., Siddhanta, S., & Sahu, J. K. (2023). Monitoring the lipid oxidation and fatty acid profile of oil using algorithm-assisted surface-enhanced Raman spectroscopy. *Food Chemistry*, 136746. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136746>
- Özcan, M. M., İpek, D., Ghafoor, K., Al Juhaimi, F., Uslu, N., Babiker, E. E.,... & Alsawmahi, O. N. (2021). Physico-chemical and sensory properties of chips produced using different lupin (*Lupinus albus* L.) flour formulations and cooking methods. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(6), 2780-2788. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14913>
- 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. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1252389>
- Rababah, T. M., Yücel, S., Ereifej, K. I., Alhamad, M. N., Al-Mahasneh, M. A., Yang, W.,... & Ismael, K. (2011). Effect of grape seed extracts on the physicochemical and sensory properties of corn chips during storage. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(5), 631-637. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s11746-011-1767-2>
- Raleng, A., Singh, N. J., Sarangi, P., Manojkumar, P., & Wahengbam, A. (2022). Standardization of frying time-temperature strategy for enhancing the quality and storability of chayote chips. *Applied Food Research*, 2(2), 100167. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100167>
- Rohman, A., Che Man, Y., Ismail, A., & Hashim, P. (2011). Monitoring the oxidative stability of virgin coconut oil during oven test using chemical indexes and FTIR spectroscopy. *International Food Research Journal*, 18(1), 303-310.
- Salami, A., Asefi, N., Kenari, R. E., & Gharekhani, M. (2020). Addition of pumpkin peel extract obtained by supercritical fluid and subcritical water as an effective strategy to retard canola oil oxidation. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 2433-2442. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00491-4>
- Salazar, R., Arámbula-Villa, G., Luna-Bárcenas, G., Figueroa-Cárdenas, J., Azuara, E., & Vazquez-Landaverde, P. A. (2014). Effect of added calcium hydroxide during corn nixtamalization on acrylamide content in tortilla chips. *LWT-Food Science and Technology*, 56(1), 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.046>
- Sattar, D. E. S., Ali, T. M., Soomro, U. A., & Hasnain, A. (2022). Functional, antioxidant, and sensory properties of a ready-to-eat wheat flour snack incorporated with germinated legume flour. *Legume Science*, e174. <https://doi.org/10.1002/leg3.174>
- Schaich, K. (2014). Lipid co-oxidation of proteins: One size does not fit all. *Inform*, 25, 134-139.

- Serna-Saldivar, S. O. (2021). Understanding the functionality and manufacturing of nixtamalized maize products. *Journal of Cereal Science*, 99, 103205. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103205>
- Serna-Saldivar, S. O., & Chuck-Hernandez, C. (2019). Food uses of lime-cooked corn with emphasis in tortillas and snacks. In S. O. Serna-Saldivar (Ed.), *Corn* (pp. 469-500). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00017-6>
- Srivastava, Y., & Semwal, A. D. (2015). A study on monitoring of frying performance and oxidative stability of virgin coconut oil (VCO) during continuous/prolonged deep fat frying process using chemical and FTIR spectroscopy. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 984-991. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1078-8>
- Sugumaran, K., Anwar, N. Z. R., & Ghani, A. A. (2019). Effect of different processing methods on the physicochemical properties and sensory evaluations of sweet potatoes chips. *Journal of Agrobiotechnology*, 10(2), 51-63.
- Teruel, M. D. R., Gordon, M., Linares, M. B., Garrido, M. D., Ahromrit, A., & Niranjana, K. (2015). A comparative study of the characteristics of french fries produced by deep fat frying and air frying. *Journal of Food Science*, 80(2), E349-E358. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12753>
- Wu, G., Han, S., Zhang, Y., Liu, T., Karrar, E., Jin, Q.,... & Wang, X. (2022). Effect of phenolic extracts from *Camellia oleifera* seed cake on the formation of polar compounds, core aldehydes, and monoepoxy oleic acids during deep-fat frying. *Food Chemistry*, 372, 131143. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131143>
- Yoong, M., & Rozaina, T. (2021). Effects of mangrove apple (*Sonneratia caseolaris*) fruit extract on oxidative stability of palm olein under accelerated storage. *Food Research*, 5(1), 461-470. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(1\).445](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(1).445)
- Yuksel, F., Karaman, S., Gurbuz, M., Hayta, M., Yalcin, H., Dogan, M., & Kayacier, A. (2017). Production of deep-fried corn chips using stale bread powder: Effect of frying time, temperature and concentration. *LWT-Food Science and Technology*, 83(15), 235-242. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.076>
- Zaghi, A. N., Barbalho, S. M., Guiguer, E. L., & Otoboni, A. M. (2019). Frying process: From conventional to air frying technology. *Food Reviews International*, 35(8), 763-777. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1600541>