

Ensayo de Investigación

Evaluación de la actividad antioxidante de la harina de hojas de chaya (*Cnidoscolus aconitifolius* Mill.) en hamburguesas de carne de pavo

Evaluation of the antioxidant activity of chaya leaves meal (*Cnidoscolus aconitifolius* Mill.) in turkey meat burgers

Rodrigo Portillo Salgado¹, Nidia I. Dzib Chin¹, Dany A. Dzib Cauich¹,
Emmanuel de Jesús Chi Gutiérrez¹, Julio E. Oney Montalvo^{1*}

¹Instituto Tecnológico Superior de Calkiní.

Autor de correspondencia:

*jeoney@itescam.edu.mx

Recibido: 23-09-2024 Aceptado: 05-01-2026 (Artículo Arbitrado)

Resumen

Los antioxidantes sintéticos se utilizan comúnmente para minimizar los cambios oxidativos en los productos cárnicos; sin embargo, debido a la creciente preocupación sobre sus efectos negativos a la salud humana se busca sustituirlos por fuentes de antioxidantes de origen natural. El presente ensayo tuvo como objetivo evaluar tres concentraciones (0.5, 1.0 y 1.5 %) de harina de hojas de chaya sobre los cambios del pH, color y la actividad antioxidante en hamburguesas de carne de pavo durante un periodo de almacenamiento de 12 días. Las hamburguesas (100 g) se prepararon de acuerdo a una formulación estándar que incluía carne de pavo, sal común y harina de hojas de chaya. El pH y el color (CIEL*a*b*) se midieron cada tercer día durante el periodo de almacenamiento (días 0, 3, 6, 9 y 12). La actividad antioxidante se determinó por los métodos DPPH y ABTS+, así como por la cuantificación de polifenoles totales. Se observó un efecto significativo ($P \leq 0.05$; $P \leq 0.001$) tanto de la concentración de harina de hojas de chaya como del periodo de almacenamiento sobre el pH, el cual incrementó durante el periodo de almacenamiento. Asimismo, todos los parámetros de color se vieron afectados significativamente por los factores evaluados, excepto chroma°. Las hamburguesas adicionadas con 1.0 y 1.5 % de harina de hojas de chaya presentaron la mayor actividad antioxidante y contenido de polifenoles totales, en comparación con las hamburguesas no tratadas. En general, la adición de harina de hojas de chaya ralentizó el deterioro de la carne hamburguesa de pavo, lo que sugiere su potencial para prolongar la vida de anaquel en productos carnicos.

Palabras clave: Antioxidante natural, capacidad antioxidante, oxidación lipídica, polifenoles totales.

Abstract

Synthetic antioxidants are commonly used to minimize oxidative changes in meat products; however, due to growing concerns about their negative effects on human health there is a growing need to replace them with natural sources of antioxidants. The present essay aimed to evaluate three concentrations (0.5, 1.0 and 1.5 %) of chaya leaves meal on the changes in pH, color and antioxidant activity in turkey meat burgers during a 12-day storage period. The burgers (100 g) were prepared according to a standard formulation that included turkey meat, common salt and chaya leaves meal. pH and colour (CIEL*a*b*) were measured every third day during the storage period (days 0, 3, 6, 9 and 12). The antioxidant activity was determined by the DPPH and ABTS+ methods, as well as by the quantification of total polyphenols. A significant effect ($P \leq 0.05$; $P \leq 0.001$) was observed for both the concentration of chaya leaves meal and the storage period on the pH, which increased during the storage. Likewise, all the color parameters were significantly affected by the evaluated factors, except chroma°. The burgers added with 1.0 and 1.5 % chaya leaves meal presented the highest antioxidant activity and total polyphenol content, compared to the untreated burgers. Overall, the addition of chaya leaves meal slowed the spoilage of turkey burger meat, suggesting its potential to prolong the shelf life in meat products.

Keywords: Natural antioxidant, antioxidant capacity, lipid oxidation, total polyphenols.

Introducción

Uno de los mayores desafíos en la industria cárnica es extender la vida útil de la carne y subproductos sin comprometer sus características fisicoquímicas, nutricionales y organolépticas (Petcu et al., 2023). La carne contiene agentes que provocan la oxidación *in situ* de lípidos y proteínas, lo que conduce a la formación de sabores, olores y compuestos tóxicos indeseables. Un ejemplo de estos son las especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés), las cuales representan un riesgo para la salud de los consumidores (Olvera-Aguirre et al., 2023). Este proceso es más común en los productos cárnicos precocidos, congelados y recalentados, como las hamburguesas, debido a que el calor, la sal agregada y el procesamiento y/o manipulación de los mismos, pueden iniciar la oxidación lipídica (Al-Rimawi et al., 2017). Además, la presencia y crecimiento de microorganismos patógenos, como bacterias y hongos, puede provocar su deterioro, lo que altera su calidad microbiológica (Hajlaoui et al., 2019).

En general, la carne es un alimento esencial en la dieta de los mexicanos. Actualmente, los tres tipos de carne más consumidas son el pollo (35 kg/persona/año), cerdo (20 kg/persona/año) y bovino (15 kg/persona/año). Las hamburguesas de carne de cerdo son un producto cárnico popular entre los mexicanos debido a su disponibilidad y rápida preparación (Estévez-Moreno y Miranda-de la Loma, 2022). No obstante, existe cada vez más preocupación sobre los efectos perjudiciales de la carne roja hacia la salud, por lo que la carne de ave está teniendo mayor atención como sustituto de la carne roja en la elaboración de productos cárnicos (El-Din-Ibrahim et al., 2022). La carne de pavo se consume principalmente en festividades navideñas y familiares; sin embargo, en los últimos años se ha popularizado su consumo por ser considerada una carne saludable, con mayor contenido de proteínas, vitaminas, minerales, aminoácidos, y menos en grasas y colesterol. Sin embargo, la carne de pavo es más susceptible a la oxidación en comparación con la carne de pollo, debido a su menor capacidad para unir moléculas antioxidantes como la vitamina E en los tejidos musculares (Gong et al., 2010).

Los antioxidantes sintéticos son la práctica más común para minimizar los cambios oxidativos en los

productos cárnicos y, como consecuencia directa, prevenir la oxidación de lípidos, retardar el desarrollo de sabores desagradables, mejorar la estabilidad del color y prolongar su vida útil (Petcu et al., 2023). Sin embargo, debido a la creciente preocupación sobre la toxicidad y efectos adversos de los antioxidantes sintéticos, como el cáncer o las enfermedades cardiovasculares, actualmente se busca sustituirlos por antioxidantes naturales (Fruet et al., 2019; Ripke-Ferreira et al., 2022). En consecuencia, existe alta demanda por fuentes naturales con actividad antioxidante para ser incorporadas en la carne y productos cárnicos, debido en gran medida a su naturaleza no tóxica (Al-Rimawi et al., 2017). Adicionalmente, pueden ser una opción viable para enriquecer los productos cárnicos con compuestos bioactivos que promueven la salud del consumidor (Graciano-Cristóbal et al., 2022).

El uso de compuestos bioactivos, particularmente antioxidantes de origen vegetal como los polifenoles, flavonoides, taninos, terpenos, alcaloides, saponinas y cumarinas son una alternativa importante para reducir la tasa de autooxidación y crecimiento microbiano en la carne (El-Din-Ibrahim et al., 2022). De esta manera se pueden mejorar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los productos cárnicos cuando se agregan en concentraciones adecuadas (Olvera-Aguirre et al., 2023; Hamami et al., 2024). Se ha reportado que algunas frutas, verduras y diversas plantas son ricas en compuestos antioxidantes, principalmente polifenoles, que pueden aislarse y usarse como ingrediente para formular productos cárnicos (Fruet et al., 2019). En particular, las hojas de plantas nativas destacan como potenciales alternativas antioxidantes y antimicrobianas naturales a los aditivos sintéticos en la industria cárnica (Velázquez et al., 2021).

La chaya (*Cnidoscolus aconitifolius* Mill.) es una planta endémica de la región Maya que comprende la Península de Yucatán en México, Guatemala, Belice y parte de Honduras. En la Península de Yucatán, esta planta es cultivada en los solares familiares mayas, en donde también suelen encontrarse plantas silvestres de *C. aconitifolius* ("Tzin-tzin chay" en maya) (Chin-Chan et al., 2021). En la actualidad, las hojas de esta planta se consumen en platillos típicos, siendo una especie representativa de la gastronomía Maya. Asimismo, se utiliza como planta medicinal tradicio-

nal para tratar diabetes, reumatismo, trastornos gastrointestinales, así como diurético y antihipertensivo (Pérez-González et al., 2016; Us-Medina et al., 2020). Las hojas de chaya son una fuente rica de proteínas, vitaminas, minerales, aminoácidos, ácidos grasos, compuestos bioactivos y antioxidantes naturales. En un estudio, Godínez-Santillán et al. (2019) identificaron y cuantificaron 11 compuestos fenólicos en las hojas de *C. aconitifolius* (ácido gálico, ácido vanílico, vainillina, ácido clorogénico, ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido rosmarínico, ácido p-cumárico, resveratrol, luteolina y apigenina). Sin embargo, a pesar de conocer sus propiedades nutricionales y antioxidantes, existe escasa evidencia del aprovechamiento de las hojas de la Chaya en la formulación de alimentos funcionales (Avila-Nava et al., 2022).

Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la adición de tres concentraciones de harina de hojas de chaya (0.5, 1.0 y 1.5 %) sobre los cambios del pH, color y la actividad antioxidante en hamburguesas de carne de pavo durante un periodo de almacenamiento de 12 días.

Metodología

Elaboración de la harina de hojas de Chaya

Las hojas de Chaya se recolectaron manualmente en plantas adultas en floración en la localidad de Santa Cruz Pueblo (20° 22' 16" N y 90° 03' 03" O), ubicada al Noroeste del municipio de Calkiní, Campeche, a una altitud de 10 m.s.n.m. Las hojas se enjuagaron con agua destilada inmediatamente después de la

cosecha para eliminar el polvo y contaminantes extraños; posteriormente, se colocaron en bandejas y se secaron al aire libre bajo sombra en un ambiente estéril durante 20 minutos (Mashau et al., 2021). Posteriormente, las hojas se secaron nuevamente en un horno de secado (modelo TE-H80DM, TERLAB®, México) a 50 °C durante 48 h. Las hojas secas se molieron usando una licuadora eléctrica (Oster®) y la harina resultante se tamizó en un tamiz #40 con un tamaño de partícula de 0.45 mm hasta obtener un polvo más fino. La harina se colocó en bolsas de polietileno y se almacenó a temperatura ambiente en un lugar fresco y seco hasta su uso.

Preparación de las hamburguesas de carne de pavo

Las hamburguesas se prepararon usando carne de la pechuga (*Pectoralis major*) de pavo de línea commercial. Previamente, la carne se fileteó y picó, y posteriormente se molió usando un molino para carne con criba de 1/8" (M-22RSS, Torrey®, México). Las hamburguesas (100 g) se prepararon usando un molde de plástico (8 cm de diámetro y 1.5 cm de espesor) de acuerdo a la formulación estándar sugerida por Ripke-Ferreira et al. (2022) que incluía carne de pavo (según la formulación), 2 % de sal común y harina de hojas de chaya (0.5, 1.0 y 1.5 %). También se prepararon hamburguesas sin la adición de harina de hojas de chaya que se consideraron como tratamiento control (Figura 1). Todas las hamburguesas se envolvieron individualmente en plástico de polietileno y se almacenaron a $\pm 4^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis. En total se prepararon tres réplicas por tratamiento.

Medición del pH y color

Las mediciones del pH y color en las muestras de hamburguesas se realizaron durante un periodo de almacenamiento de 12 días, considerando los días 0, 3, 6, 9 y 12. El pH se midió usando un potenciómetro digital (Modelo HI 99161, Hanna Instruments®, USA) previamente calibrado (buffers de calibración de 4.0 y 7.0), equipado con un electrodo de vidrio, el cual se introdujo a un cm de profundidad en la sección transversal de la muestra (Al-Rimawi et al., 2017). El color se determinó usando un colorímetro digital (Modelo NR60CP, 3NH®, China) expresando los valores de L^* (luminosidad), a^* (variación de rojo a verde), b^* (va-

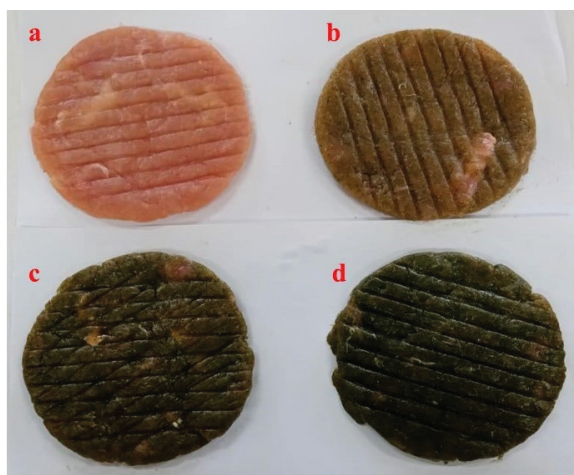


Figura 1. Presentación de las diferentes formulaciones de hamburguesas de carne de pavo usadas en el estudio. a) Control, b) hamburguesa con 0.5 % de HHC, c) hamburguesa con 1.0 % de HHC y d) hamburguesa con 1.5 % de HHC.

Fuente: Elaboración propia.

riación de amarillo a azul), C^* (croma), y Hue° (ángulo de tonalidad). Tanto para el pH como para el color se realizaron tres mediciones en posiciones aleatorias a lo largo de la superficie de cada hamburguesa por cada día de almacenamiento, y se promediaron los resultados.

Determinación de la actividad antioxidante y polifenoles totales

Obtención del extracto acuoso a partir de las hamburguesas adicionadas con harina de hojas de chaya

Se pesó 1 g de cada muestra de carne y se colocó en tubos Falcon de 15 mL. Posteriormente, se agregaron 5 mL de agua destilada y se sonicaron a 42 KHz durante 15 minutos. Después, el extracto obtenido se centrifugó (3500 rpm) a 4 °C durante 5 minutos para finalmente tomar el sobrenadante y realizar el análisis correspondiente. La obtención del extracto se realizó por triplicado los días 0, 3, 6, 9 y 12 posteriores a la preparación de las muestras de hamburguesas. Los extractos obtenidos se analizaron por actividad antioxidante (DPPH y ABTS+) y polifenoles totales como se describe a continuación.

Método del radical libre 2,2-difenil-1-picrihidrazil (DPPH)

La actividad antioxidante por el método DPPH se realizó siguiendo la metodología descrita por Brand-Williams et al. (1995) con algunas modificaciones. Inicialmente, la solución de DPPH se preparó usando metanol y se diluyó a una concentración con una absorbancia de 0.7 ± 0.002 a una longitud de onda de 515 nm. Luego, se añadieron 100 μ L del extracto acuoso a 3.9 mL de la solución DPPH con absorbancia ajustada (0.7 Abs); la mezcla se agitó y se dejó reposar 30 min para su posterior lectura usando un espectrofotómetro (PerkinElmer®) a 515 nm. El porcentaje de inhibición se determinó mediante la fórmula (1).

$$\% \text{ de inhibición de DPPH} = \frac{A_{i0} - A_{i30}}{A_{i0}} \times 100 \quad (1)$$

Donde: A_{i0} es la absorbancia inicial y A_{i30} es la absorbancia a los 30 minutos. Se trabajó con una curva de calibración que se realizó mediante las diluciones de trolox a diferentes concentraciones (100, 150, 200,

300, 400, 500, 600, 700 y 800 μ M). El porcentaje de inhibición de DPPH (%) es proporcional y lineal al aumentar la adición de solución de Trolox.

Método de captación del radical ácido 2,2'-azinobis (3-etilbezotiazolin)- 6-sulfónico (ABTS+)

Inicialmente, la solución de ABTS+ se preparó pesando 19.2 mg de ABTS y se disolvió en 5 mL de agua destilada. Posteriormente se agregaron 88 μ L de $K_2S_2O_8$ (0.0378 g/mL) y la mezcla se dejó incubar a temperatura ambiente durante 16 horas en un sitio con oscuridad total. Después, la mezcla se diluyó con etanol hasta obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.002 a una longitud de onda de 734 nm. La actividad antioxidante se determinó agregando 2970 μ L de la solución de ABTS en un tubo Falcon de 15 mL. Posteriormente, se añadieron 30 μ L del extracto antioxidante, se homogenizó usando un vortex y se dejó reposar por 6 minutos para finalmente leer la absorbancia usando un espectrofotómetro (PerkinElmer®) a 734 nm. El porcentaje de inhibición se determinó mediante la fórmula (2).

$$\% \text{ de inhibición de ABTS} = \frac{A_{i0} - A_{i6}}{A_{i6}} \times 100 \quad (2)$$

Donde: A_{i0} es la absorbancia inicial y A_{i6} es la absorbancia a los 6 minutos. Se trabajó con una curva de calibración que se realizó usando diferentes concentraciones de Trolox (100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800 μ M). Los resultados de la actividad antioxidante de las muestras se expresan como equivalentes de μ M Trolox/100 g de muestra.

Análisis de polifenoles totales

Los polifenoles totales se cuantificaron por el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton et al. (1999) con algunas modificaciones. Inicialmente, se mezclaron 25 μ L de extracto con 25 μ L de agua, seguido de una adición de 3 mL de agua desionizada y 250 μ L de compuesto de Folin-Ciocalteu, que se dejó reposar durante 5 minutos. Luego, se agregaron 750 μ L de 20 % de Na_2CO_3 y 950 μ L de agua desionizada. Se agitó y se dejó reposar durante 30 minutos a temperatura ambiente. Después, la absorbancia se midió a 765 nm en un espectrofotómetro (PerkinElmer®). Se utilizó ácido gálico a diferentes concentraciones (5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60, 80 y 100 mg/L) como patrón para determinar los polifenoles totales en los extractos.

Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó utilizando el paquete estadístico SAS ver. 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, 2016). Se realizó una prueba de Shapiro–Wilk para evaluar la normalidad de los datos. Los resultados del pH, color y la actividad antioxidante se analizaron mediante un análisis de varianza de dos vías con el procedimiento PROC GLM considerando a la concentración de harina de hojas de chaya (0, 0.5, 1.0 y 1.5 %) y los días de almacenamiento (0, 3, 6, 9 y 12 días) como efectos fijos. También se analizó el efecto de la interacción entre ambos factores. La fórmula (3) se utilizó para el diseño experimental del modelo lineal general.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (A \times B)_{ij} + e_{ijk} \quad (3)$$

Donde: Y_{ijk} es la variable respuesta; μ es la media general común a todas las observaciones; A_i es el efecto del i^{th} concentración de harina de hojas de chaya (0, 0.5, 1.0 y 1.5 %); B_j es el efecto del j^{th} día de almacenamiento (0, 3, 6, 9 y 12 d); $(A \times B)_{ij}$ es el efecto de la interacción entre la concentración de harina de hojas de chaya y los días de almacenamiento; e_{ijk} es el error aleatorio con media 0 y varianza σ^2 .

Las diferencias significativas entre las medias se evaluaron mediante la prueba de Bonferroni considerando un nivel de significancia del 95 %.

Resultados y discusión

Se observó un efecto significativo tanto de la concentración de harina de hojas de chaya ($P \leq 0.001$) como del periodo de almacenamiento ($P \leq 0.05$) sobre el pH y los parámetros de color (Tabla 1). El pH incrementó durante los días de almacenamiento con una diferencia significativa para la hamburguesa adicionada con 0.5 % de harina de hojas de chaya ($\text{pH} = 5.94$) (Figura 2). Al respecto, se sabe que el incremento del pH en los productos carnicos durante su almacenamiento podría atribuirse al grado de deterioro de los mismos debido al crecimiento de microorganismos proteolíticos y la consecuente liberación de compuestos nitrogenados (Hajlaoui et al., 2019). Por otra parte, la reducción del pH durante el almacenamiento se debe a la producción de ácido láctico por parte de las bacterias ácido lácticas. La evaluación del comportamiento del pH en el tiempo

es fundamental para comprender el daño que ocurre en las matrices de los alimentos (Ripke-Ferreira et al., 2022). Adicionalmente, este parámetro tiene una relación directa con los atributos de calidad de la carne y productos cárnicos, tales como la terneza, capacidad de retención de agua, color, jugosidad y la vida útil (Mir et al., 2017).

Los valores de pH registrados en las hamburguesas de carne de pavo son inferiores a los valores de pH reportados en carne de pavo de genotipos comerciales (Sarica et al., 2011). Sin embargo, se encuentran dentro del rango establecido por Ripke-Ferreira et al. (2022) para definir carne de buena calidad (entre 5.6 y 6.2); por lo tanto, las hamburguesas evaluadas en este estudio se pueden considerar aptas para el consumo. En su estudio, El-Din-Ibrahim et al. (2022) observaron una ligera disminución en los valores de pH en hamburguesas de pollo adicionadas con harina de hojas de *Moringa oleifera* y *Olea europaea* L. durante un periodo de almacenamiento de 20 d. Los autores atribuyeron sus resultados a los componentes fenólicos naturales de las plantas usadas, indicando que estos compuestos pueden reducir el pH y crear un ambiente inadecuado para el crecimiento microbiano en la carne.

Por otra parte, el parámetro L^* medido en las muestras de hamburguesas de carne de pavo se vio afectado significativamente ($P \leq 0.001$) por la concentración de harina de hojas de chaya y los días de almacenamiento; sin embargo, la interacción entre estos factores fue insignificante ($P = 0.3303$) (no se muestra graficamente). Como se esperaba, las hamburguesas no tratadas tuvieron valores más altos de este parámetro, indicando una carne más brillante, aunque disminuyó durante el periodo de almace-

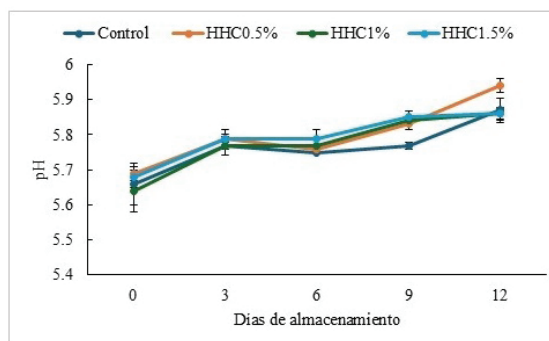


Figura 2. Valores de pH registrados en hamburguesas de carne de pavo según la interacción entre la concentración de harina de hojas de chaya (0, 0.5, 1.0 y 1.5%) y periodo de almacenamiento (0, 3, 6, 9 y 12 d). **Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 1. Efectos de la concentración de harina de hojas de Chaya y días de almacenamiento sobre el pH y parámetros de color en hamburguesas de carne de pavo.

HHC (%)	ALMAC (d)	pH	Color				
			<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	<i>C</i> [*]	Hue ^o
0	0	5.66 ^h	40.85 ^a	7.93 ^a	7.39 ^c	10.88 ^{cb}	42.94 ^g
	3	5.77 ^{fedg}	35.16 ^{b^{ac}}	3.40 ^b	5.48 ^c	6.51 ^d	58.03 ^f
	6	5.75 ^{f^g}	36.49 ^{ba}	2.58 ^b	7.74 ^{cb}	8.18 ^{cbd}	71.23 ^e
	9	5.77 ^{fedg}	36.49 ^{ba}	2.58 ^b	7.74 ^{cb}	8.18 ^{cbd}	71.23 ^e
	12	5.87 ^{ba}	25.23 ^{ebdc}	2.24 ^b	8.11 ^{cb}	8.43 ^{cbd}	74.39 ^e
0.5	0	5.69 ^{fhg}	32.04 ^{bdac}	-0.07 ^c	11.72 ^b	11.72 ^b	90.49 ^d
	3	5.79 ^{bedc}	25.36 ^{ebdc}	-0.98 ^{dc}	7.56 ^{cb}	7.62 ^{cbd}	97.43 ^{dc}
	6	5.76 ^{fedg}	24.38 ^{ebdc}	-1.02 ^{dce}	7.14 ^c	7.21 ^{cd}	98.09 ^{dc}
	9	5.83 ^{bedc}	28.69 ^{ebdac}	-1.33 ^{dce}	7.95 ^{cb}	7.97 ^{cbd}	99.62 ^{bdac}
	12	5.94 ^a	20.68 ^{ed}	-1.06 ^{dce}	5.79 ^c	5.89 ^d	100.28 ^{bdac}
1.0	0	5.64 ^h	25.62 ^{ebdc}	-2.45 ^{fe}	16.80 ^a	16.98 ^a	98.28 ^{dc}
	3	5.77 ^{fedc}	26.12 ^{ebdc}	-2.42 ^{dfe}	7.62 ^{cb}	8.01 ^{cbd}	107.79 ^{bac}
	6	5.77 ^{fedc}	23.65 ^{ebdc}	-1.40 ^{dce}	6.94 ^c	7.09 ^{cd}	101.39 ^{bdac}
	9	5.84 ^{bedc}	20.93 ^{ed}	-1.19 ^{dce}	6.62 ^c	6.77 ^{cd}	101.22 ^{bdac}
	12	5.86 ^{ba}	21.82 ^{edc}	-1.75 ^{dfe}	5.90 ^c	6.17 ^d	103.51 ^{bac}
1.5	0	5.68 ^{hg}	25.14 ^{ebdc}	-3.10 ^f	16.52 ^a	17.02 ^a	100.77 ^{bdac}
	3	5.79 ^{bedc}	23.90 ^{ebdc}	-2.48 ^{fe}	6.90 ^c	7.30 ^{cd}	109.82 ^{ba}
	6	5.79 ^{bedc}	19.91 ^{ed}	-1.25 ^{dce}	5.76 ^c	6.37 ^d	102.12 ^{bac}
	9	5.85 ^{bdc}	20.02 ^{ed}	-1.53 ^{dce}	7.14 ^c	7.30 ^{cd}	102.02 ^{bac}
	12	5.86 ^{bac}	18.12 ^e	-2.23 ^{dfe}	5.71 ^c	6.11 ^d	111.33 ^a
RMSE		0.026	4.104	0.448	1.310	1.296	3.491
Efectos							
HHC		0.0020	<.0001	<.0001	0.0237	0.2316	<.0001
ALMAC		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
HHC * ALMAC		0.0183	0.3303	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

HHC: concentración (%) de harina de hojas de Chaya; ALMAC: días de almacenamiento; RMSE= error cuadrático medio. abcdef Medias dentro de la misma columna sin una letra en superíndice común difieren significativamente ($P \leq 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

miento. Por el contrario, las hamburguesas adicionales con 1.5 % presentaron una carne menos brillante; en consecuencia, más oscura. Estas observaciones podrían justificarse por el aumento de la concentración de harina de hojas de chaya debido a que los pigmentos de la chaya son liberados y distribuidos uniformemente en la carne de la hamburguesa (ver Figura 1).

La apariencia y el color son características importantes y perceptibles que influyen en el juicio de calidad de la carne por parte de los consumidores antes y después de comprar un producto cárnico (Mir et al., 2017). Por otra parte, las variaciones en el color de la carne de pechuga de ave debido a los efectos del pH, afectan la vida útil, el desarrollo de olores, la pérdida por goteo, la capacidad de retención de agua y la pérdida por cocción (Mir et al., 2017). Normalmente,

en el caso de las carnes blancas, como la del pavo, el color depende en gran medida de las reservas de glucógeno muscular en el momento del sacrificio y de la evolución *postmortem* del pH, que afecta las propiedades de dispersión de la luz de la carne resultante (Baéza et al., 2022). Sin embargo, los cambios de color en las muestras de carne crudas son comunes cuando se agregan componentes no cárnicos, como harinas de origen vegetal, los cuales pueden variar según la concentración agregada debido a que contienen pigmentos naturales, incluidos los polifenoles, que pueden afectar el color incluso en los casos en que la actividad antioxidante es baja, siendo posiblemente los responsables de la apariencia de las hamburguesas (Hamami et al., 2024). En línea con lo anterior, Ripke-Ferreira et al. (2022) observaron que las muestras de hamburguesas de salmón tuvieron

una reducción en el valor L^* proporcionalmente con el aumento de la concentración de harina de *Salvia officinalis*.

Asimismo, el parámetro a^* fue afectado significativamente ($P \leq 0.001$) por los factores evaluados, así como por su interacción (Tabla 1, Figura 3). Se observó una disminución en los valores a^* en las hamburguesas con la adición de harina de hojas de чая, más aún en aquellas tratadas al 1.5 %. Asimismo, los valores a^* disminuyeron ligeramente con el aumento del período de almacenamiento para todas las muestras. Esta reducción puede deberse a la mayor liberación de pigmentos durante el almacenamiento (Ripke-Ferreira et al., 2022). Además, debido a que las hojas de чай tienen una gran concentración de antioxidantes bioactivos y actividad antioxidante, es posible que haya estabilizado el color de las hamburguesas (Hamami et al., 2024). En particular, el parámetro a^* es el más importante para evaluar la oxidación de la carne, que se debe a la transformación de oximioglobina (rojo brillante) en metmioglobina (marrón). En este sentido, las disminuciones en los valores a^* , tornándose de color marrón podrían hacer que la carne sea menos aceptable para los consumidores (Hajlaoui et al., 2019). No obstante, como los valores observados están cerca de cero, hay intermediación entre el rojo y el verde, evidenciando

la coloración verdosa característica de los pigmentos de las hojas de чай.

Para el caso del parámetro b^* , el cual también fue afectado por la interacción entre los factores evaluados ($P \leq 0.001$) (Figura 3), se observó que en el día 0, el amarillamiento de las muestras de hamburguesas fue proporcional con respecto a la adición de harina de hojas de чай; sin embargo, disminuyó significativamente al día 3, y se mantuvo estable durante el período de almacenamiento, en comparación con las muestras de hamburguesa no tratadas. Similarmente, Hajlaoui et al. (2019) observaron que las muestras de hamburguesas de carne de res adicionadas con extractos de hojas de *Oudneya Africana* L. tuvieron una disminución del amarilleo con el aumento del período de almacenamiento. De acuerdo con Ripke-Ferreira et al. (2022), la decoloración de los productos cárnicos durante el almacenamiento en frío es común, causada por las reacciones oxidativas en el producto.

El parámetro C^* no se vio afectado por la concentración de harina de hojas de чай ($P = 0.2316$); sin embargo, se observó una disminución significativa ($P \leq 0.001$) los primeros tres días de almacenamiento; posteriormente, se mantuvo estable hasta el día 9, después decayó en todas las hamburguesas tratadas (Figura 3). También se obtuvieron diferencias signifi-

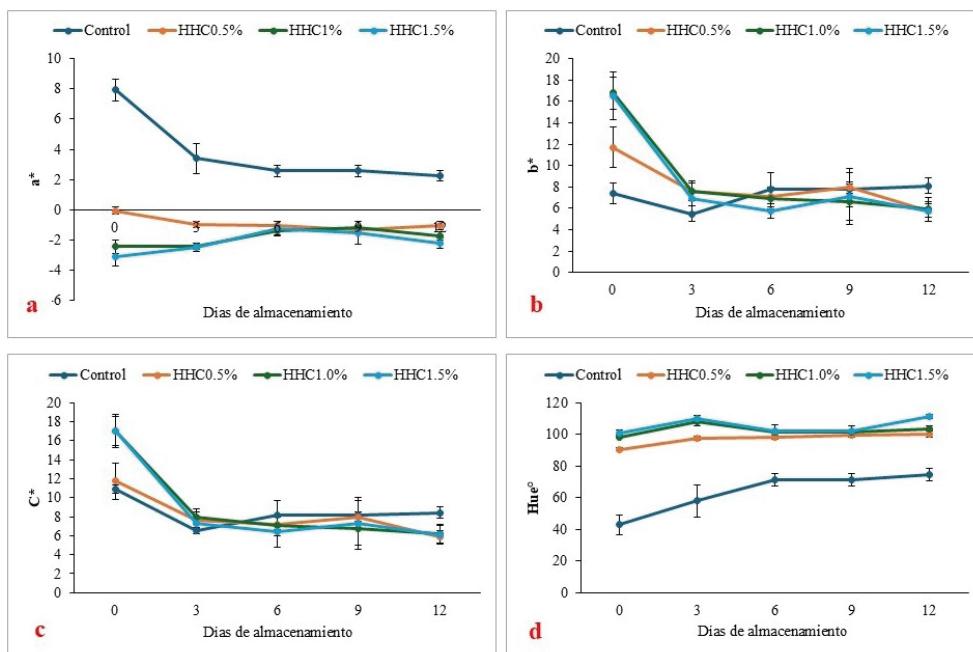


Figura 3. Parámetros de color registrados en hamburguesas de carne de pavo según la interacción entre la concentración de harina de hojas de чай (0, 0.5, 1.0 y 1.5%) y período de almacenamiento (0, 3, 6, 9 y 12 d). a) a^* ; variación de rojo a verde, b) b^* ; variación de amarillo a azul, c) C^* ; croma, y d) Hue° ; ángulo de tonalidad. **Fuente:** Elaboración propia.

cativas debido a la interacción entre los factores evaluados en el presente estudio ($P \leq 0.001$). El parámetro C^* es un indicador de la saturación y, por tanto, se refiere al grado de viveza de un color, por lo que no se utiliza con tanta frecuencia en la investigación científica de la carne y productos cárnicos (Ruedt et al., 2023). Como lo describen Quintero-Rodríguez et al. (2023), la carne blanca comúnmente presenta valores C^* menores a 14, la carne con apariencia rosada entre 14 y 22, la carne de color rojo tiene entre 18 y 24, y la carne muy roja entre 23 y 30. Nuestras observaciones son consistentes con los resultados obtenidos por Hamami et al. (2024) quienes informaron que los valores C^* y b^* registrados en hamburguesas de carne de res formuladas con fruto seco molido de *Grewia tenax* disminuyeron durante el almacenamiento, asociando tales hallazgos con la liberación de colorantes naturales del material vegetal.

Los valores Hue° aumentaron los primeros tres días de almacenamiento a medida que la concentración de harina de hojas de chaya incrementó ($P \leq 0.001$), en comparación con las muestras de hamburguesas control; a partir del día 6 se observó una estabilización de este parámetro. Se sabe que Hue° indica el tono de un color y se expresa en grados: 0° sería rojo, 90° amarillo, 180° verde y 270° azul. Por lo tanto, este parámetro es muy útil para indicar cambios de color a lo largo del tiempo, siendo adecuado para seguir decoloraciones (Ruedt et al., 2023). Nuestros resultados sugieren que las hamburguesas adicionales con 1.5 % de harina de hojas de chaya presentaron una mayor tonalidad amarillo-verdosa, lo que podrían justificarse con los pigmentos de la chaya que se transfirieron a las hamburguesas, provocando la modificación de su color. En cambio, las hamburguesas control mantuvieron una tonalidad considerada

Tabla 2. Efectos de la concentración de harina de hojas de chaya y días de almacenamiento sobre la actividad antioxidante (DPPH y ABTS+) y la concentración de polifenoles totales en hamburguesas de carne de pavo.

HHC (%)	ALMAC (d)	DPPH (Trolox (mg/100g)	ABTS (Trolox mg/100g)	Polifenoles totales (mg de Ac. Gálico/100g)
0	0	49.77 ^{ab}	106.33 ^{def}	93.93 ^{bcde}
	3	34.54 ^{cde}	97.50 ^{efg}	91.94 ^{de}
	6	11.83 ^{hi}	88.27 ^{gh}	112.94 ^{abcd}
	9	23.18 ^{fg}	57.26 ^{kl}	109.53 ^{abcd}
	12	11.11 ⁱ	39.14 ^l	82.85 ^e
0.5	0	52.61 ^{ab}	116.65 ^{de}	121.10 ^a
	3	44.46 ^{bc}	101.78 ^{ef}	111.56 ^{abcd}
	6	23.54 ^{efg}	70.52 ^{hi}	110.67 ^{abcd}
	9	28.11 ^{defg}	59.93 ^{jk}	108.74 ^{abcd}
	12	26.20 ^{defg}	42.69 ^{kl}	92.21 ^{cde}
1.0	0	47.49 ^b	239.20 ^a	115.93 ^{ab}
	3	34.89 ^{cd}	122.94 ^d	123.18 ^a
	6	27.89 ^{defg}	101.56 ^{ef}	115.95 ^{ab}
	9	18.75 ^{ghi}	79.33 ^{hi}	108.98 ^{abcd}
	12	19.14 ^{ghi}	55.17 ^{efg}	94.47 ^{bcde}
1.5	0	59.23 ^a	200.34 ^b	129.40 ^a
	3	32.92 ^{def}	152.60 ^c	125.90 ^a
	6	32.87 ^{def}	114.97 ^{de}	123.18 ^a
	9	22.68 ^{ghi}	97.25 ^{efg}	115.83 ^{ab}
	12	19.15 ^{ghi}	61.48 ^{jk}	115.14 ^{abc}
Efectos				
HHC		0.0045	<0.0001	0.0005
ALMAC		<0.0001	<0.0001	0.0081
HHC * ALMAC		0.0966	<0.0001	0.5999

HHC: concentración (%) de harina de hojas de Chaya; ALMAC: días de almacenamiento; RMSE= error cuadrático medio. ^{abcdef} Medias dentro de la misma columna sin una letra en superíndice común difieren significativamente ($P \leq 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

como rojiza. Por su parte, Graciano-Cristóbal et al. (2022) reportaron que la adición de extractos naturales elaborados a base de especias culinarias (cebolla, cilantro, orégano, laurel, pimienta negra, entre otras) tuvo un efecto significativo sobre los valores Hue° tomados en hamburguesas de carne de cerdo almacenadas en frío, ocasionando así una coloración café con ligeros toques dorados (tonalidad tostada).

Por otra parte, se observó un efecto significativo ($P \leq 0.05$; $P \leq 0.001$) tanto de la concentración de harina de hoja de chaya como de los días de almacenamiento sobre la actividad antioxidante y la concentración de polifenoles totales en las muestras de hamburguesas de carne de pavo (Tabla 2). En tanto, la interacción de estos dos factores solo tuvo un efecto significativo ($P \leq 0.05$) en la actividad antioxidante evaluada por el método de ABTS+. Las hamburguesas adicionadas con 1.5 % de harina de hojas de chaya presentaron la mayor actividad antioxidante mediante la técnica de DPPH (59.23 mg/100g de Trolox), en comparación con las hamburguesas no tratadas (11.11 mg/100g de Trolox). Asimismo, los resultados evidenciaron una disminución de la actividad antioxidante evaluada por el método DPPH durante el periodo de almacenamiento (Figura 4) ocasionada por la posible degradación de las moléculas antioxidantes que se encuentran presentes en la carne, por

ejemplo, péptidos bioactivos (Sánchez-Mendoza et al., 2016). Este fenómeno se presenta también en los compuestos antioxidantes característicos de la hoja de chaya (por ejemplo: diferentes tipos de polifenoles), por eso las formulaciones que tienen mayor porcentaje de esta harina también tuvieron el mismo comportamiento que la muestra control.

Se presentó un comportamiento similar al determinar la actividad antioxidante mediante la técnica de ABTS+, debido a que las hamburguesas adicionadas con 1.0 y 1.5 % de harina de chaya presentaron los valores más altos de actividad antioxidante (239.20 y 200.34 mg/100g de Trolox, respectivamente) (Figura 4). Estos resultados indican un posible efecto por parte de los componentes bioactivos presentes en las hojas de chaya, tales como ácidos fenólicos, flavonoides, ácido ascórbico y carotenoides (Carrillo et al., 2013). Este comportamiento se debe a que ambos métodos son adecuados para la determinación de los compuestos antioxidantes totales presentes en muestras alimenticias, aunque la metodología de ABTS+ se ha caracterizado por presentar una mayor repetibilidad, detectabilidad y sensibilidad a comparación de la metodología de DPPH, debido a que puede ser interferida por los compuestos que presentan absorbancia a 515 nm (Martysiak-Zurowska y Went, 2012).

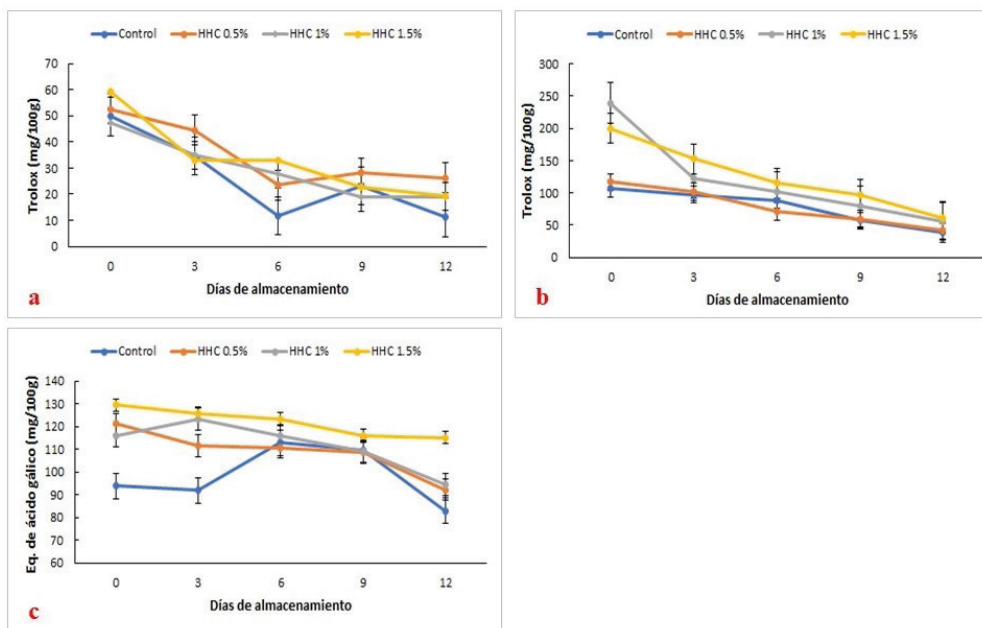


Figura 4. Actividad antioxidante y polifenoles totales en hamburguesas de carne de pavo según la interacción entre la concentración de harina de hojas de chaya (0, 0.5, 1.0 y 1.5 %) y periodo de almacenamiento (0, 3, 6, 9 y 12 d). a) DPPH, b) ABTS+ y c) Polifenoles totales. **Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente, la mayor concentración de polifenoles totales se obtuvo en las hamburguesas adicionales con 1.5 % de harina de hojas de chaya (125.90 mg de Ac. Gálico/100g), mientras que la menor concentración (82.85 mg de Ac. Gálico/100g) se observó en las hamburguesas no tratadas. La relación entre la concentración de polifenoles totales con el porcentaje de chaya utilizado para la formulación se debe a los diferentes grupos fenólicos que han sido identificados como cumarinas, flavonoides, taninos, antraquinonas y flobotaninas. De estos compuestos fenólicos uno de los que más destacan son los flavonoides, de los cuales se ha identificado la hesperidina, el kaempferol, el ácido protocatéquico, la quercetina y la rutina (Kuri-García et al., 2017).

La importancia de estos compuestos se debe a que se han asociado a características antioxidantes que impiden el estrés oxidativo generado por los radicales libres formados en el cuerpo. Además de efectos farmacológicos como hipoglucémicos mediante la disminución de la absorción de glucosa, y la reducción de la hiperlipidemia (Ramos-Gomez et al., 2017). Estos resultados corroboran el potencial de la adición de harina de chaya a la carne de pavo. Debido a que la presencia de estos antioxidantes, permitiría aumentar la vida de anaquel, pero además le daría características funcionales a este producto, abriendo la posibilidad de adicionar esta harina a otro tipo de productos cárnicos.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados observados, la adición de harina de hojas de chaya en hamburguesas de carne de pavo modificó el pH y los parámetros de color durante el periodo de almacenamiento. Los compuestos fenólicos presentes en las hojas de chaya permitieron retrasar la oxidación lipídica en la carne, lo que correspondió con el aumento de la actividad antioxidante conforme se incrementó el porcentaje de harina de chaya en la formulación. Se sugiere la adición del 1.0 a 1.5 % de harina de chaya a hamburguesas elaboradas con este tipo de carne. Esto demuestra una estrategia eficiente para el aumento de la vida de anaquel de algunos productos cárnicos; adicionalmente, pueden ser considerados como alimentos más saludables, porque podría reemplazar a los antioxidantes sintéticos. Se requiere un estudio sensorial para evaluar la aceptación general del producto.

Referencias

- Al-Rimawi, F., Tarawa, M.S., Elama, C. (2017). Olive leaf extract as natural antioxidant additive of fresh hamburger stored at 4°C running title: Antioxidants from olive leaves in hamburger. *American Journal of Food Science and Technology*, 5(4): 162–166.
- Avila-Nava, A., Alarcón-Telésforo, S.L., Talamantes-Gómez, J.M., Corona, L., Gutiérrez-Solis, A.L., Lugo, R., Márquez-Mota, C.C. (2022). Development of a functional cookie formulated with Chaya (*Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnston) and amaranth (*Amaranthus cruentus*). *Molecules*, 27(21): 7397.
- Baéza, E., Guillier, L., Petracci, M. (2022). Review: Production factors affecting poultry carcass and meat quality attributes. *Animal*, 16: 100331.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Carrillo, L. de la R., Wall-Medrano, A., Díaz, J. A. L., Álvarez-Parrilla, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *In Nutricion Hospitalaria*, 28(1): 36–46.
- Chin-Chan, T., Ortiz-García, M.M., Ruiz-Gil, P.J., Martínez-Castillo, J. (2021). Diversidad genética de la chaya (*Cnidoscolus aconitifolius* Mill.) I. M. Johnston. *ssp. aconitifolius* en Yucatán, México, su posible centro de domesticación. *Polibotanica*, 51: 185–201.
- El-Din-Ibrahim, M.E., Alqurashi, R.M., Alfaraj, F.Y. (2022). Antioxidant activity of *Moringa oleifera* and *Olive Olea europaea* L. leaf powders and extracts on quality and oxidation stability of chicken burgers. *Antioxidants*, 11: 496.
- Estévez-Moreno, L.X., Miranda-de la Loma, G.C. (2022). Meat consumption and consumer attitudes in México: Can persistence lead to change? *Meat Science*, 193: 10894.
- Fruet, A.P.B., Nörnberg, J.L., Calkins, C.R., De Mello, A. (2019). Effects of different antioxidants on quality of beef patties from steers fed low-moisture distillers grains. *Meat Science*, 154: 119–125.
- Godínez-Santillán, R.I., Chávez-Servín, J.L., García-Gasca, T., Guzmán-Maldonado, S.H. (2019). Phenolic characterization and antioxidant capacity of alcoholic extracts from raw and boiled leaves of *Cnidoscolus aconitifolius* (Euphorbiaceae). *Acta Botanica Mexicana*, 126: e1493.
- Gong, Y., Parker, R.S., Richards, M.P. (2010). Factors affecting lipid oxidation in breast and thigh muscle from chicken, turkey and duck. *Journal of Food Biochemistry*, 34: 869–885.
- Graciano-Cristóbal, M.J., Rodríguez-Carpena, J.G., Balois-Morales, R., Jiménez-Ruiz, E.I., Bautista-Rosales, P.U. (2022). Efecto de extractos naturales sobre la estabilidad oxidativa de hamburguesas de carne de cerdo durante el almacenamiento refrigerado. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(2): 323–339.
- Hajlaoui, H., Arraouadi, S., Mighri, H., Chaaibia, M., Gharsallah, N., Ros, G., Nieto, G., Kadri, A. (2019). Phytochemical constituents and antioxidant activity of *Oudneya africana* L. leaves extracts: evaluation Effects on fatty acids and proteins oxidation of beef burger during refrigerated storage. *Antioxidants*, 8: 442.
- Hamami, M.A.H., Ahmed, I.A.M., Al-Juhaimi, F.Y., Shoaibair, Y.I., AbuDujayn, A.A., Babiker, E.E. (2024). Utilization of *Grewia tenax* fruit dried-ground as a preservative and antioxidant in beef burgers. *CYTA – Journal of Food*, 22(1): 2341794.

- Kuri-García, A., Chávez-Servín, J.L., Guzmán-Maldonado, S.H. (2017). Phenolic profile and antioxidant capacity of *Cnidoscopus chayamansa* and *Cnidoscopus aconitifolius*: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 11(45): 713–727.
- Martysiak-Żurowska, D., Wenta, W. (2012). A comparison of ABTS and DPPH methods for assessing the total antioxidant capacity of human milk. *Acta scientiarum polonorum technologia alimentaria*, 11(1): 83–89.
- Mashau, M.E., Ramatsetse, K.E., Ramashia, S.E. (2021). Effects of adding *Moringa oleifera* leaves powder on the nutritional properties, lipid oxidation and microbial growth in ground beef during cold storage. *Applied Sciences*, 11: 2944.
- Mir, N.A., Rafiq, A., Kumar, F., Singh, V., Shukla, V. (2017). Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 54(10): 2997–3009.
- Olvera-Aguirre, G., Piñeiro-Vázquez, Á.T., Sanginés-García, J., Sánchez-Zárate, A., Ochoa-Flores, A.A., Segura-Campos, M.R., Vargas-Bello-Pérez, E., Chay-Canul, A.J. (2023). Using plant-based compounds as preservatives for meat products: A review. *Helvion*, 9: e17071.
- Petcu, C.D., Mihai, O.D., Tăpăloagă, D., Gheorghe-Irímia, R.-A., Pogurschi, E.N., Militaru, M., Borda, C., Ghimpeteanu, O.-M. (2023). Effects of plant-based antioxidants in animal diets and meat products: A review. *Foods*, 12: 1334.
- Pérez-González, M.Z., Gutiérrez-Rebolledo, G.A., Jiménez-Arellanes, M.E. (2016). Importancia nutricional, farmacológica y química de la chaya (*Cnidoscopus chayamansa*). Revisión bibliográfica. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 20(60): 43–56.
- Quiñones, M., Miguel, A., Alexandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 17(1): 76–89.
- Quintero-Rodríguez, B.J., Romo-Valdez, A.M., Cervantes-Noriega, A., Portillo-Loera, J.J., Rios-Rincón, F.G. (2023). Efecto del nivel de marinado y del tiempo de almacenamiento en la estabilidad del color de carne fresca de bovino. *Nacameh*, 17(1): 28–41.
- Ramos-Gomez, M., Figueroa-Pérez, M. G., Guzman-Maldonado, H., Loarca-Piña, G., Mendoza, S., Quezada-Tristán, T., Reynoso-Camacho, R. (2017). Phytochemical profile, antioxidant properties and hypoglycemic effect of chaya (*Cnidoscopus chayamansa*) in STZ-induced diabetic rats. *Journal of Food Biochemistry*, 41(1): e12281.
- Ripke-Ferreira, C.S., Figueiredo-Saqueti, B.H., Silva dos Santos, P.D., Martins da Silva, J., Matiucci, M.A., Feihmann, A.C., Graton-Mikcha, J.M., Oliveira-Santos, O. (2022). Effect of Salvia (*Salvia officinalis*) on the oxidative stability of salmon hamburgers. *LWT - Food Science and Technology*, 154: 112867.
- Ross-Ibarra, J., Molina-Cruz, A. (2002). The ethnobotany of Chaya (*Cnidoscopus aconitifolius* ssp. *aconitifolius* Breckon): A nutritious Maya Vegetable. *Economic Botany*, 56: 350–365.
- Ruedt, C., Gibis, M., Weiss, J. (2023). Meat color and iridescence: Origin, analysis, and approaches to modulation. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, 22(4): 3366–3394.
- Sánchez-Mendoza, N.A., Dávila-Ortiz, G., Jiménez-Martínez, C. (2016). Péptidos con actividad antioxidante provenientes de fuentes animales y vegetales. En M.E. Ramírez-Ortiz (Ed.). *Alimentos Funcionales de Hoy*. Barcelona, España: Omnia Science. Pp. 117–142.
- SAS. 2016. SAS/STAT® 14.2 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sarica, M., Ocak, N., Turhan, S., Kop, C., Yamak, U.S. (2011). Evaluation of meat quality from 3 turkey genotypes reared with or without outdoor access. *Poultry Science*, 90: 1313–1323.
- Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299: 152–178.
- Us-Medina, U., Millán-Linares, M.C., Arana-Argaes, V.E., Segura-Campos, M.R. (2020). Actividad antioxidante y antiinflamatoria in vitro de extractos de chaya (*Cnidoscopus aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnston). *Nutrición Hospitalaria*, 37(1): 46–55.
- Velázquez, L., Quiñones, J., Díaz, R., Pateiro, M., Lorenzo, J.M., Sepúlveda, N. (2021). Natural antioxidants from endemic leaves in the elaboration of processed meat products: Current status. *Antioxidants*, 10: 1396.