

Evaluation of pro-oxidizing agents that influence the quality of chicken meat

Evaluación de los agentes pro-oxidantes que influyen en la calidad de la carne de pollo

Damián-Hernández, Xochitl¹, Hernández-Cázares, Aleida S.^{1*}, Hidalgo-Contreras, Juan V.¹, Recillas-Mota, Maricarmen T.², Gómez-Merino, Fernando C.¹, Ríos-Corripio, M. A.³

¹Colegio de Postgraduados. Campus Córdoba. Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, C. P. 94946. ²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Unidad Hermosillo. Hermosillo, Sonora, México, C. P. 83304. ³CONACYT-Colegio de Postgraduados. Campus Córdoba. Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, C. P. 94946.

*Autor para correspondencia: aleyse@colpos.mx

ABSTRACT

Objective: To analyze the main exogenous pro-oxidizing agents in chicken breast meat and its effect on the oxidative phenomenon.

Design/methodology/approach: Chicken breast (*Pectoralis major*) in the form of patties (25 g) was used to establish the different treatments: T1 - ground chicken breast, T2 - freeze and thaw cycle, T3 - vacuum packed, T4 - dehydrated, T5 - cooking in a water bath, T6 - addition of NaCl, T7 - cooking on the grill and T8 - exposure to LED light. After treatment, they were stored at 4 °C for 15 d and analyzed at 0, 3, 6, 9, 12 and 15 d. The variables analyzed were weight loss, color, pH, titratable acidity and 2-ThioBarbituric Acid Reactive Substances (TBARS), using a completely randomized design (DCA), with an analysis of variance (ANOVA) and means comparison test (Tukey; $P \leq 0.05$).

Results: It was confirmed that ground chicken meat, subjected to heat treatment (grilled-T7 and water bath-T5) and stored in refrigeration at 4 °C, exhibited greater pro-oxidant action reflected in the greater weight losses, luminosity and TBARS.

Limitations/implications: Not having different levels of oxidative application in each treatment.

Findings/conclusions: It is possible to understand the lipid oxidation of chicken meat under the study of the application of different pro-oxidizing agents.

Keywords: Heat treatments, lipid oxidation, meat products.

RESUMEN

Objetivo: Analizar los principales agentes pro-oxidantes exógenos en carne de pechuga de pollo y su efecto en el fenómeno oxidativo.

Diseño/metodología/aproximación: Pechuga de pollo (*Pectoralis major*) en forma de patties (25 g) se utilizó para establecer los diferentes tratamientos: T1 - pechuga de pollo molida, T2 - ciclo de congelación y descongelación, T3 - envasadas al vacío, T4 - deshidratado, T5 - cocción en baño María, T6 - adición de NaCl, T7 - cocción a la parrilla y T8 - exposición a luz LED. Posterior al tratamiento se almacenaron a 4 °C 15 d y se analizaron a 0, 3, 6, 9, 12 y 15 d. Las variables analizadas fueron pérdida de peso, color, pH, acidez titulable y sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), mediante un diseño completamente al azar (DCA), con un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias (Tukey; $P \leq 0.05$).

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 2, febrero, 2020. pp: 15-21.

Recibido: octubre, 2019. **Aceptado:** enero, 2020.

Resultados: Se confirmó que la carne de pollo molida, sometida a tratamiento térmico (cocción a la parrilla-T7 y baño María-T5) y almacenada en refrigeración a 4 °C, presentó mayor acción pro-oxidante reflejado en las mayores pérdidas de peso, luminosidad y TBARS.

Limitaciones/implicaciones: No contar con diferentes niveles de aplicación oxidativo para cada tratamiento.

Hallazgos/conclusiones: Es posible entender la oxidación lipídica de la carne de pollo bajo el estudio de la aplicación de diferentes agentes pro-oxidantes.

Palabras clave: Tratamientos térmicos, oxidación lipídica, productos cárnicos.

En este contexto, la presente investigación se enfocó a evaluar los principales pro-oxidantes que afectan la calidad de la carne de pollo, como el oxígeno, tratamientos térmicos, adición de NaCl, exposición a la luz, ciclos de congelado y descongelado, así como la humedad de la carne, con el fin de identificar que agente o interacción de ellos con el tiempo de almacenamiento en refrigeración generan efectos marcados sobre la oxidación lipídica de la carne de pollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

La evaluación de los agentes pro-oxidantes se realizó en carne de pechuga de pollo (*Pectoralis major*), obtenidas del mismo lote con 6 h *post-mortem*, tratada térmicamente (4 °C) para su proceso de conversión de músculo a carne. Para ello se retiró la piel, el hueso y grasa visible de la pechuga, se trituró en molino marca Torrey® Modelo M-22RW con cedazo TORREY CI-22 3/8 F y se moldeó en forma de patties (carne tipo hamburguesa) de 25 g con un diámetro de 40 mm.

Preparación de las muestras

Para el estudio se sometió a la carne de pechuga de pollo a diferentes agentes pro-oxidantes, se elaboraron patties con las siguientes características: T1 - pechuga de pollo molida, T2: sometidas a congelación (-20 °C) y descongelación (hasta 6 °C durante 8 h), T3: envasadas al vacío (98 %), T4: sometidas a deshidratación a 70 °C durante 18 h en estufa de aire, T5: sometidas a cocción por inmersión en baño María (BM) hasta alcanzar una temperatura interna de 75 °C, T6: adicionadas con 2 g 100 g⁻¹ de NaCl, T7: cocinadas a la parrilla a 280 °C, 3 min por cada lado, T8: expuestas a la luz LED (900

INTRODUCCIÓN

Las características físicas y químicas de la carne, la hacen un sistema complejo y muy susceptible a la oxidación (Wood *et al.*, 2008). Tanto la oxidación lipídica como proteica, resultan en una gran cantidad de reacciones químicas, que generan cambios de color, textura y producen compuestos volátiles responsables del sabor y aroma, condiciones determinantes en la aceptación de la carne por el consumidor. Así, el nivel de oxidación en la carne depende de varios factores intrínsecos y extrínsecos, entre los que destacan la especie, el tipo de músculo, la edad y la dieta del animal, mismos que determinan la cantidad y calidad de los ácidos grasos (Estévez, 2017).

Los factores pro-oxidantes endógenos como el hierro (Fe), la mioglobina (Mb), el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y pro-oxidantes exógenos como el oxígeno tienen también un efecto en la oxidación generando radicales libres (Estévez, 2011). Los fenómenos de fotooxidación (Lázaro *et al.*, 2014) generados por irradiación gamma o la luz a la que se expone la carne durante el proceso y la comercialización; los métodos de conservación de congelación y descongelación (Ali *et al.*, 2015). Los empaques permeables a la luz y al oxígeno (Tang *et al.*, 2001) y los métodos de preparación de los alimentos por cocción, pueden propiciar cambios de estado de la Mb ya sea a nivel industrial, comercial o casero contribuyen en conjunto con los factores intrínsecos a deteriorar la calidad sensorial y nutritiva de la carne y de los productos cárnicos (Estévez, 2015). Además, la presencia de sales de sodio provocan oxidación de la carne, las cuales podrían liberar el ion de hierro de la Mb, proveyendo de hierro libre para catálisis de oxidación lipídica (Tang *et al.*, 2001).

La carne de pollo contiene 1.30 mg g⁻¹ de ácidos grasos monoinsaturados y 0.70 mg g⁻¹ de poliinsaturados (Tang *et al.*, 2001), característica que la hace susceptible a la oxidación. Por lo que su estabilidad oxidativa depende no solo de la presencia de varios agentes pro-oxidantes durante su manejo, sino también de compuestos antioxidantes naturales presentes en la carne (péptidos bioactivos, glutatión, vitamina E, polifenoles y coenzimas como la Q10) (Mattila y Kumpulainen, 2001) enzimas (superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa) (Shahidi, 2016).

lúmenes). Una vez se aplicó el tratamiento, todas las patties se envasaron en bolsas de cierre hermético, se almacenaron en refrigeración a 4 °C y se analizaron fisicoquímicamente a los 0, 3, 6, 9, 12, 15 d, por triplicado.

Análisis fisicoquímicos

Pérdidas de peso. El cálculo del porcentaje de pérdidas de peso se obtuvo según la metodología establecida por Rahman *et al.* (2015). Para ello se pesó la muestra antes y después del proceso de cocción o almacenamiento y después de atemperar al ambiente, según lo describe Lee y Bae (2017), con las modificaciones de cocción de cada tratamiento.

Color. La determinación del color se realizó con un colorímetro marca Konica Minolta®, Modelo CR 400, en la escala CIELAB (L* a* b*), L* (luminosidad de negro a blanco), a* (-verde a +rojo) b* (-Azul a +amarillo), en cada tiempo de almacenamiento.

pH. La determinación del pH se realizó con base en la metodología propuesta por Guerrero-Legarreta *et al.* (2002) con un potenciómetro marca Thermo Scientific®, modelo Orion 3 Star.

Acidez titulable. La determinación de la acidez titulable se realizó con base en el método 947.05 de la AOAC (1990). Se tomó como blanco agua bidestilada, se reportó como % de ácido láctico mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de ácido láctico} = \frac{(V - V_b) \times (N \text{ NaOH}) \times (\text{meq}) \times (\text{fd})}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

donde V , corresponde al volumen de NaOH gastado; V_b , volumen de NaOH gastado en el blanco; N , NaOH, normalidad del hidróxido de sodio; meq , miliequivalentes del ácido láctico y fd , factor de dilución.

Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS). La determinación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) se realizó por el método de destilación descrito por Tarladgis *et al.* (1960) con algunas modificaciones. Los TBARS se reportó como mg MDH kg⁻¹.

Análisis estadístico

Se diseñaron ocho tratamientos bajo un diseño estadístico completamente al azar (DCA) con tres repeticiones. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \text{tiempo}_j + (\tau * \text{tiempo})_{ij} + e_{ijk}$$

$$\text{con } i=1,2,3,4,5,6,7,8 \quad j=1,2,3,4,5,6 \quad \text{y } k=1,2,3$$

donde: y_{ijk} es la variable respuesta del i -ésimo tratamiento en el j -ésimo tiempo y la k -ésima repetición; μ es la media global; τ_i es el efecto fijo del i -ésimo tratamiento; tiempo_j es el efecto fijo del j -ésimo tiempo; $(\tau * \text{tiempo})_{ij}$ es el efecto combinado de la interacción del i -ésimo tratamiento con el j -ésimo tiempo; e_{ijk} es el error experimental aleatorio el cual se asume independiente e idénticamente distribuido normal con media cero y varianza.

El análisis se realizó con el procedimiento GLIMMIX del paquete estadístico SAS® versión 9.4. Las comparaciones de las medias fue a través de la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Asimismo, se realizó la prueba de correlación de Pearson, para identificar el grado de correlación entre las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis fisicoquímicos

Pérdidas de peso. Las patties deshidratadas (T4), perdieron por efecto del tratamiento inicial el 70.18 % de peso; sin embargo, al ser almacenadas en refrigeración, éstas mantuvieron una pérdida constante del 1.12 % (Figura 1). Para el T7 y el T5 se observó una pérdida del 2.58 % y 1.97 % tras aplicar el tratamiento de cocción, y de 10.44 % y 6.92 % respectivamente (Cuadro 1). Esto es debido a que durante el calentamiento de la carne se producen cambios físicos tales como la contracción del tejido, la liberación de líquidos, decoloración de la carne y reducción de sustratos (Guerrero-Legarreta, 2010). Además, la capacidad de retención de agua (CRA) de la carne depende de las estructuras miofibrilares, particularmente la miosina (Ali *et al.*, 2015); y éstas a su vez de fuerzas iónicas, el pH y la oxidación, datos que a su vez coinciden con los valores más altos de oxidación obtenidos en TBARS (Cuadro 1).

O'Neill *et al.* (1999) y Tang *et al.* (2001) reportaron un incremento en la oxidación atribuido a la adición de NaCl y al proceso de cocción; sin embargo, el nivel de adición de NaCl en este estudio (2 g 100 g⁻¹) no aceleró la oxidación lipídica (0.34 ± 0.17 mg MDH kg⁻¹), reflejándose en la escasa pérdida de peso, sin diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con las patties de T1 y T8. Beltran *et al.* (2003) corroboran lo sucedido en el T1, al indicar que el procesamiento mecánico (molienda) no afecta la oxidación de

la carne de pollo, solo es una característica de calidad que promueve la pérdida de agua, por el cambio en la estructura de la carne y aspecto que se reflejara en el color de la misma.

Color. La medición de color mostró en su análisis estadístico que la interacción del tiempo de almacenamiento en refrigeración en cada tratamiento no fue significativa, pero si entre tratamientos (Cuadro 1). En luminosidad, los tratamientos con procesos de cocción en baño María y a la parrilla (T5 y T7), fueron los que mayor valor presentaron, con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) al resto de los tratamientos (Cuadro 1). Ali *et al.* (2015) consideraron que un aumento en los valores de luminosidad es debido a desnaturalización proteica por efecto del tratamiento térmico. Además, Guerrero-Lagarreta, (2010) indica que el proceso de cocción a altas temperaturas provoca cambios de color en la carne debido principalmente a la reacción de Maillard, como se observa en el T4, con valores de luminosidad bajos y altos valores de a^* , debido a un cambio visible a color marrón.

Para la carne empacada al vacío (T3), los valores de L^* se mantuvieron similares a los T1, T2 y T8; presentaron valores de b^* ligeramente por arriba de los tratamientos en crudo en presencia de oxígeno, siendo diferente estadísticamente solo con T6. Asimismo, un valor bajo de pH promueve la oxidación de la Mb, y con una alta dispersión de luz la Mb incrementa la absorción selectiva

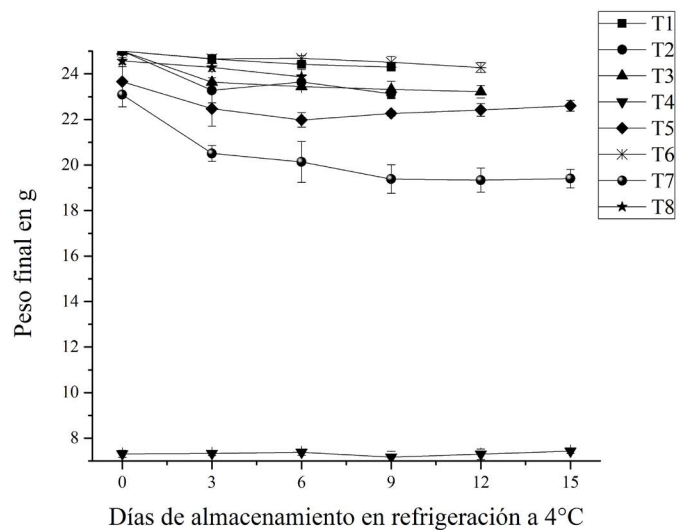


Figura 1. Análisis de la pérdida de peso final de la patties de pechuga de pollo sometida a diferentes agentes pro-oxidantes y almacenada en refrigeración a 4 °C.

T1: patties de pechuga de pollo molida, T2: patties sometidas a congelación (-20 °C) y descongelación (hasta 6 °C durante 8 h), T3: patties envasada al vacío, T4: patties sometidas a deshidratación a 70 °C durante 18 h en estufa de aire, T5: patties sometidas a cocción por inmersión en baño María hasta alcanzar una temperatura interna de 75 °C; T6: patties adicionadas con 2 g 100 g⁻¹ de NaCl; T7: patties cocinadas a la parrilla a 280 °C, 3 min por cada lado, T8: patties expuestas a la luz LED (900 lúmenes) durante 15 d.

de luz verde, lo que resulta en una carne que parece menos roja y más amarilla (Castellini *et al.*, 2002); como se observó al comparar el T3 (pH más bajo) con el resto de los tratamientos en crudo en presencia de oxígeno.

Cuadro 1. Medias del efecto de diferentes agentes pro-oxidantes sobre carne de pechuga de pollo en forma de patties almacenada en refrigeración a 4 °C ± SD.

Tratamientos analizados ± SD*	Variables respuesta						
	Pérdidas de peso (%)	pH	Acidez (% de ácido láctico)	TBARS (mg MDH kg ⁻¹)	Color		
					L*	a*	b*
1	1.55±1.18 ^{ba}	6.24±0.39 ^{ba}	0.03±0.26 ^{cd}	0.17±0.05 ^c	52.33±3.03 ^{cb}	-0.15±1.05 ^c	23.50±5.92 ^{ba}
2	4.59±3.17 ^{bc}	6.14±0.31 ^{ba}	0.03±0.14 ^b	0.25±0.05 ^c	51.99±4.59 ^{cb}	-0.32±1.2 ^c	22.84±7.59 ^{ba}
3	5.46±2.88 ^c	5.98±0.15 ^b	0.03±0.18 ^a	0.18±0.04 ^c	52.67±5.71 ^b	1.24±1.67 ^{cb}	26.15±4.7 ^a
4	1.12±26.65 ^f	6.17±0.1 ^{ba}	0.02±0.36 ^e	0.68±1.11 ^c	37.45±6.46 ^d	15.88±4.15 ^a	26.85±7.82 ^a
5	6.92±4.07 ^d	6.25±0.23 ^a	0.02±0.33 ^d	3.13±1.74 ^b	78.56±6.62 ^a	2.81±0.96 ^b	21.75±5.78 ^{ba}
6	1.47±1.19 ^a	6.23±0.30 ^a	0.03±0.3 ^{cd}	0.34±0.17 ^c	45.66±8.14 ^c	0.03±1.02 ^c	19.63±5.5 ^b
7	10.44±3.05 ^e	6.15±0.19 ^{ba}	0.03±0.28 ^{cd}	4.84±3.06 ^a	76.88±3.18 ^a	1.70±0.82 ^{cb}	27.03±3.77 ^a
8	2.26±1.76 ^{bac}	6.37±0.4 ^a	0.03±0.21 ^{cb}	0.21±0.08 ^c	52.94±4.23 ^b	-0.48±0.95 ^c	24.27±4.02 ^{ba}
LSD	2.77	0.26	0.16	1.27	6.88	2.24	6.74

^{ab} Las medias entre columnas que no comparten letras iguales son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). LSD: diferencia mínima significativa. T1: patties de pechuga de pollo molida, T2: patties sometidas a congelación (-20 °C) y descongelación (hasta 6 °C durante 8 h), T3: patties envasada al vacío, T4: patties sometidas a deshidratación a 70 °C durante 18 h en estufa de aire, T5: patties sometidas a cocción por inmersión en baño maría hasta alcanzar una temperatura interna de 75 °C; T6: patties adicionadas con 2 g 100 g⁻¹ de NaCl; T7: patties cocinadas a la parrilla a 280 °C, 3 min por cada lado, T8: patties expuestas a la luz LED (900 lúmenes) durante 15 d.

pH. En el análisis de pH, las patties de pechuga de pollo bajo T1, T5, T6 y T8 mostraron diferencias significativas con las T3. Éste último presentó los menores valores de pH con un promedio de 5.98 (Cuadro 1) y se mantuvo constante durante 9 d, indicando buena estabilidad durante su almacenamiento en refrigeración. Guerrero-Legarreta (2010) indica que una atmósfera ausente de oxígeno evita el crecimiento de bacterias mesófilas y psicótrofas que podrían ser responsables, junto con otros factores, del aumento de pH.

La carne con un valor de pH alto muestra mayor solubilidad de proteínas, condición similar se observa en procesos de congelación, sin importar el pH inicial de la carne, atribuyendo dicha desnaturalización a reacciones enzimáticas. Sin embargo, en este estudio la carne con un ciclo de congelación y descongelación (T2) no se vio afectada por la oxidación, pero presentó un claro aumento de pH durante su almacenamiento (Cuadro 1). Mientras, Ali et al. (2015), reportaron oxidación lipídica a partir del cuarto ciclo de congelación y descongelación, sustentando que un ciclo de congelación no afectó las características de calidad de la carne, como fue en este caso. Así, aun cuando T4, T5 y T7 mostraron un valor inicial alto de pH, por efecto del mismo tratamiento, éste se mantuvo constante durante el almacenamiento, pero con mayores valores de oxidación lipídica.

Castellini et al. (2002), indicaron que el pH afecta la estructura de las miofibrillas y en consecuencia en la CRA y cambios en el color, que en conjunto caracterizan el fenómeno oxidativo. El T8 y T1 en promedio alcanzaron los valores de pH más altos, con diferencias estadísticas, indicando que, en muestras crudas, el tratamiento empleado para su almacenamiento, puede influir en el deterioro de la calidad de la carne de pollo.

Acidez titulable. En el análisis de acidez titulable, el T3 presentó el valor promedio más alto (Cuadro 1), encontrando diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con el T4 con los valores más bajos y el resto de los tratamientos, manteniendo su vida útil hasta el día 15. Esto puede atribuirse a la baja a_w de este tratamiento por efecto de la deshidratación y a su oposición al crecimiento microbiano. Chouliara et al. (2007) contemplan que la vida útil de la carne fresca de pollo es de 5 d almacenada en refrigeración a 4 °C. En este estudio el T3 y T6 se mantuvieron por un periodo de 12 d; siendo el T3 el que mantuvo un valor constante de pH y acidez durante todo el periodo de almacenamiento (Cuadro 1). Este periodo de resis-

tencia es atribuido a la ausencia de oxígeno en el T3 y a la reducción de a_w en el T6, por las sales añadidas.

Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico. En relación a TBARS, los T5 y T7 fueron diferentes estadísticamente entre ellos y con el resto de los tratamientos (Cuadro 1), indicando que las patties sometidas a procesos térmicos, generan en la carne de pechuga de pollo el mayor grado de oxidación (Figura 2). En estos tratamientos el tiempo y temperatura, así como la exposición directa de la muestra al tratamiento térmico jugaron un papel clave en la oxidación de la carne.

Pathera et al. (2016) observaron una menor oxidación lipídica en carne cocinada al vapor que aquella cocinada en horno y en microondas, indicando que el método de procesamiento térmico genera en el producto, cambios en su calidad sensorial y nutritiva. En tanto, Min et al. (2010) observaron un aumento en los valores de mg de malondialdehído (MDH) kg^{-1} en patties de pechuga de pollo cocida en baño de agua a 95 °C y almacenadas a 4 °C, cuando además se les adicionaba 1.5 % de NaCl, indicando que la adición de sodio tiene mayor efecto al suministrarla en productos con procesamiento térmico.

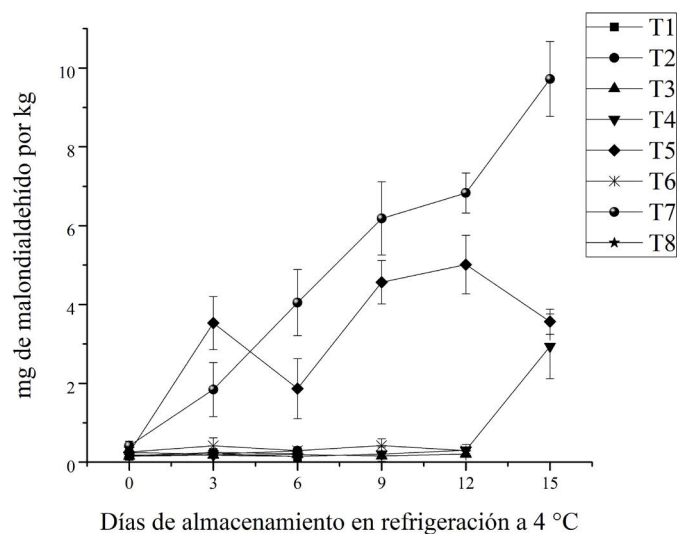


Figura 2. Comportamiento de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, expresada en mg kg^{-1} de MDH de pechuga de pollo sometida a diferentes agentes pro-oxidantes y almacenada en refrigeración a 4 °C.

T1: patties de pechuga de pollo molida, T2: patties sometidas a congelación (-20 °C) y descongelación (hasta 6 °C durante 8 h), T3: patties envasada al vacío, T4: patties sometidas a deshidratación a 70 °C durante 18 h en estufa de aire, T5: patties sometidas a cocción por inmersión en baño maría hasta alcanzar una temperatura interna de 75 °C; T6: patties adicionadas con 2 g 100 g^{-1} de NaCl; T7: patties cocinadas a la parrilla a 280 °C, 3 min por cada lado, T8: patties expuestas a la luz LED (900 lúmenes) durante 15 d.



En este estudio para los tratamientos con procesamiento térmico (T5 y T7) se obtuvieron los valores más altos de TBARS (Cuadro 1). Mirzaei *et al.* (2017) reportaron en carne de pechuga de pollo cocinada en microondas y almacenada 24 h a 4 °C, un valor 4.23 mg kg⁻¹ de TBARS. La oxidación lipídica se relaciona con un daño en la membrana celular cuando se utilizan tratamientos térmicos (Beltran *et al.*, 2003), así como con la cantidad de grasa, ácidos grasos poliinsaturados y contenido de hierro (Tang *et al.*, 2001), siendo más resistente la carne de pollo que las carnes rojas (Min *et al.*, 2010).

Min *et al.* (2010) observaron que la adición de NaCl (1.5 g 100 g⁻¹) y la mioglobina presente (5 mg g⁻¹ del producto final), no afectaron la oxidación de carne de pollo cruda, corroborando lo obtenido en este estudio para el T6. La pechuga de pollo cruda tiene alta capacidad antioxidante, debido al bajo contenido de hierro iónico libre (Min *et al.*, 2010). Lázaro *et al.* (2012) mostraron valores iniciales de MDH en carne de pollo cruda en un rango de 0.10-0.25 mg kg⁻¹, datos similares a los reportados en este estudio para los tratamientos en crudo (Cuadro 1). Chouliara *et al.* (2007) reportan valores de MDH hasta 0.9 g kg⁻¹ en pechuga entera de pollo almacenada a 4 °C, en este caso se observó este mismo comportamiento durante 12 d en los T1, T2, T3, T6 y T8, donde, pueden considerarse dentro de los valores aceptados como normales. El T4 mostró un aumento marcado de TBAR hasta el día 15 de almacenamiento (Figura 2). Este tratamiento también fue sometido a un proceso térmico para lograr la deshidratación; sin embargo, no

alcanzó las temperaturas del T5 y T7, donde la oxidación lipídica fue más evidente.

Al analizar el coeficiente de correlación de Pearson se pudo observar el grado de relación de la variable TBARS de manera positiva con la luminosidad de 0.517 ($P \leq 0.0001$) y las pérdidas de peso de 0.674 ($P \leq 0.0001$) y una correlación negativa con la acidez titulable de -0.282 ($P = 0.003$); es decir, estas variables aumentan al aumentar la oxidación lipídica. Asimismo, la acidez titulable del producto disminuye debido al aumento de pH registrando un coeficiente de correlación entre estas dos variables de -0.497 ($P < 0.0001$). Lo anterior caracteriza el comportamiento de los tratamientos en este estudio.

CONCLUSIONES

Los agentes pro-oxidantes probados en este estudio, indicaron que la carne de pechuga de pollo molida, moldeada en forma de patties y almacenada en refrigeración a 4 °C, sometida a tratamiento térmico a altas temperaturas, a la parrilla o por inmersión en agua, afectaron el producto cárnico, siendo el principal factor pro-oxidante externo en la carne, reflejado por su alto contenido de MDH. El nivel de oxidación mostró una correlación directa positiva con las variables pérdida de peso y luminosidad, para la carne que se sometió a tratamiento térmico. No obstante, dichos tratamientos conservaron el producto cárnico durante 15 d, periodo superior en relación con la carne cruda almacenada en refrigeración.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable y al LGAC 2 del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo para realizar esta investigación.

LITERATURA CITADA

- AOAC 1990. Acidez titulable. 947.05. In Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 15th ed. Washington DC.
- Ali, S., Zhang, W., Rajput, N., Khan, M. A., Li, C., & Zhou, G. (2015). Effect of multiple freeze-thaw cycles on the quality of chicken breast meat. *Food Chemistry*, 173, 808–814. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.095>
- Beltran, E., Pla, R., Yuste, J., & Mor-Mur, M. (2003). Lipid oxidation of pressurized and cooked chicken: role of sodium chloride and mechanical processing on TBARS and hexanal values. *Meat Science*, 64(1), 19–25. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00132-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00132-8)
- Castellini, C., Mugnai, C., & Dal Bosco, A. (2002). Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *Meat Science*, 60(3), 219–225. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00124-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00124-3)
- Chouliara, E., Karatapanis, A., Savva, I. N., & Kontominas, M. G. (2007). Combined effect of oregano essential oil and modified atmosphere packaging on shelf-life extension of fresh chicken breast meat, stored at 4°C. *Food Microbiology*, 24(6), 607–617. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.12.005>
- Estévez, M. (2011). Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat Science*, 89(3), 259–279. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.025>
- Estévez, M. (2015). Oxidative damage to poultry: from farm to fork. *Poultry Science*, 94(6), 1368–1378. <https://doi.org/10.3382/ps/pev094>
- Estévez, M. (2017). What's new in meat oxidation? En *New Aspects of Meat Quality* (pp. 91–109). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100593-4.00006-0>
- Guerrero-Legarreta, I., Pérez-Chabela, M. de L., & Ponce-Alquicira, E. (2002). Curso práctico de tecnología de carnes y de pescado. Unidad Autónoma Metropolitana, Unidad Ixtapalapa, 171.

- Guerrero-Legarreta, Isabel (Ed.). (2010). Handbook of poultry science and technology. Recuperado de https://ubblab.weebly.com/uploads/4/7/4/6/47469791/handbook_of_poultry_science_and_technology.pdf
- Lázaro, C. A., Conte-Júnior, C. A., Monteiro, M. L. G., Canto, A. C. V. S., Costa-Lima, B. R. C., Mano, S. B., & Franco, R. M. (2014). Effects of ultraviolet light on biogenic amines and other quality indicators of chicken meat during refrigerated storage. *Poultry Science*, 93(9), 2304–2313. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03642>
- Lázaro, C. A., Conte-Júnior, C. A., Canto, A. C. V. da C. S., Lucia, M., Monteiro, G., Lima, B. R. C. da C., & Franco, R. M. (2012). Biochemical changes in alternative poultry meat during refrigerated storage. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária*, 19(3), 195–200. <https://doi.org/10.4322/rbcv.2014.108>
- Lee, H.-S., & Bae, D.-H. (2017). Changes in the shelf life of frozen pork patties containing 10 and 15 percent fat according to different storage temperatures. *British Food Journal*, 120(1), 224–239. <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2017-0109>
- Mattila, P., & Kumpulainen, J. (2001). Coenzymes Q9 and Q10: Contents in Foods and Dietary Intake. 9. <https://doi.org/10.006/jfca.2000.0983>
- Min, Byungrok, Cordray, J. C., & Ahn, D. U. (2010). Effect of NaCl, myoglobin, Fe(II), and Fe(III) on lipid oxidation of raw and cooked chicken breast and beef loin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(1), 600–605. <https://doi.org/10.1021/jf9029404>
- Mirzaei, A., Afshoon, A., & Barmak, M. J. (2017). Antioxidant activity of meat from chicken and goat cooked in microwave cooking system. *International journal of advanced biotechnology and research*, 8(2), 1090–1094.
- O'Neill, L. M., Galvin, K., Morrissey, P. A., & Buckley, D. J. (1999). Effect of carnosine, salt and dietary vitamin E on the oxidative stability of chicken meat. *Meat Science*, 52(1), 89–94. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00152-1](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00152-1)
- Pathera, A. K., Riar, C. S., Yadav, S., & Singh, P. K. (2016). Effect of cooking methods on lipid oxidation, microbiological and sensory quality of chicken nuggets under refrigerated storage. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1232472>
- Rahman, M. H., Hossain, M. M., Rahman, S. M. E., Amin, M. R., & Oh, D.-H. (2015). Evaluation of physicochemical deterioration and lipid oxidation of beef muscle affected by freeze-thaw cycles. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 35(6), 772–782. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2015.35.6.772>
- Shahidi, F. (2016). Oxidative stability and shelf life of meat and meat products. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-63067-056-6.00010-0>
- Tang, S., Kerry, J. P., Sheehan, D., Buckley, D. J., & Morrissey, P. A. (2001). Antioxidative effect of added tea catechins on susceptibility of cooked red meat, poultry and fish patties to lipid oxidation. *Food Research International*, 34(8), 651–657. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00190-3](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00190-3)
- Tarladgis, B. G., Watts, B. M., Younathan, M. T., & Dugan, L. (1960). A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 37(1), 44–48. <https://doi.org/10.1007/BF02630824>
- Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Whittington, F. M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78(4), 343–358. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>

