

Efecto de extractos naturales sobre la estabilidad oxidativa de hamburguesas de carne de cerdo durante el almacenamiento refrigerado

María Josefina Graciano Cristóbal ^a

Javier Germán Rodríguez Carpena ^{b*}

María Teresa Sumaya Martínez ^a

Rosendo Balois Morales ^a

Edgar Iván Jiménez Ruiz ^a

Pedro Ulises Bautista Rosales ^a

^a Universidad Autónoma de Nayarit. Secretaría de Investigación y Posgrado. Laboratorio de Tecnología de Alimentos. Ciudad de la Cultura “Amado Nervo” S/N. 63155. Tepic, Nayarit, México.

^b Centro de Investigación y Transferencia Tecnológica. Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Carne. Tepic, Nayarit, México.

*Autor de correspondencia: german.rc@uan.edu.mx

Resumen:

Se evaluó el efecto de tres extractos naturales elaborados a base de especias culinarias con actividad antioxidante, sobre la estabilidad oxidativa de lípidos y proteínas, cambios de color, y calidad sensorial de carne de cerdo cocinada durante 12 días de almacenamiento refrigerado. Se elaboraron sistemas modelo tipo hamburguesa con el músculo *Longissimus thoracis et lomborum*, grasa dorsal, sal, agua y el extracto correspondiente. La actividad antioxidante de los extractos se determinó mediante los métodos DPPH y ABTS+, mientras que la oxidación de lípidos y proteínas por TBA-RS y DNPH respectivamente. Para la evaluación de color se utilizaron los parámetros de luminosidad (L*) y ángulo Hue (°h). El análisis sensorial se realizó con un panel no entrenado, el cual evaluó los atributos de sabor,

color, olor y textura. El procesamiento estadístico de los datos obtenidos de actividad antioxidante, oxidación lipídica y proteica, así como de color se realizaron mediante un análisis de varianza. La evaluación sensorial fue procesada con estadística no paramétrica. El extracto dos presentó la mayor actividad antioxidante ($P \leq 0.05$); los tres extractos lograron inhibir ($P \leq 0.05$) la oxidación de lípidos en las hamburguesas ($P \leq 0.05$); sin embargo, ninguno de los tres extractos logró inhibir la oxidación proteica. Tampoco hubo diferencias ($P \geq 0.05$) respecto al parámetro de L^* , mientras que los valores de ΔE^* mostraron que los tres extractos lograron conservar el color de las hamburguesas cocinadas durante el almacenamiento refrigerado. Finalmente, la evaluación sensorial evidenció que ninguno de los tres extractos alteró la calidad organoléptica de las hamburguesas.

Palabras clave: Extractos naturales, Especies culinarias, Antioxidantes, Oxidación lipídica, Oxidación proteica.

Recibido: 12/08/2020

Aceptado: 05/07/2021

Introducción

La carne es especialmente propensa a los procesos de oxidación debido a sus estructuras y composición compleja, incluidos los lípidos, ácidos grasos insaturados y los sistemas de miofibrillas⁽¹⁾. Los lípidos de la carne son químicamente inestables y fáciles de oxidar, especialmente durante la manipulación, la cocción y el almacenamiento *post mortem*⁽²⁾. Los cambios asociados a la oxidación de los lípidos incluyen el olor rancio, la decoloración, la pérdida del valor nutricional, la disminución de la vida útil y la formación de compuestos tóxicos, que pueden ser perjudiciales para la salud de los consumidores⁽²⁾. Así mismo, la oxidación de proteínas implica la pérdida de valor nutricional en la carne, provocando la disminución en la biodisponibilidad de proteínas, un cambio en la composición de aminoácidos, una disminución en la solubilidad de las proteínas, la pérdida de actividad proteolítica y la digestibilidad de las proteínas⁽³⁾.

Recientemente, con el brote de la pandemia del coronavirus 2019 (COVID-19), algunos investigadores han evaluado los cambios en el patrón de comportamiento de compra de los consumidores, reportando un incremento en la tendencia de cambiar los hábitos, sobre todo, alimenticios y nutricionales hacia el consumo de alimentos funcionales y nutraceuticos, con una tendencia hacia tipos de comidas más saludables, elaboradas con conservadores naturales y caseros^(4,5).

Las estrategias antioxidantes basadas en el uso de fuentes naturales pueden ser una opción viable para enriquecer la carne con compuestos bioactivos que promueven la salud y que, a su vez, evitarían el deterioro por la oxidación. Los fitoquímicos antioxidantes se pueden aplicar a través de la formulación de alimentos o estrategias dietéticas⁽⁶⁾.

La inclusión de antioxidantes naturales en los productos cárnicos ha sido reportada por diferentes autores con un efecto positivo en términos de control de procesos oxidativos^(7,8). Las especias culinarias, tal como canela, clavo, cilantro, cebolla, pimienta negra, ajo, orégano, hojas de laurel, cúrcuma, entre otras, son una fuente importante de compuestos bioactivos con actividad antioxidante^(9,10). Son pocos los estudios que reportan la inclusión de mezclas de especias culinarias en los productos cárnicos de cerdo^(11,12). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la protección antioxidante de proteínas y lípidos en carne de cerdo procesada a través de extractos naturales elaborados a base de mezclas de especias culinarias.

Material y métodos

Elaboración de los extractos

Se elaboraron un total de tres extractos considerados como tratamientos #1 (200 g de cebolla, 20 g de cilantro, 15 g de orégano), #2 (200 g de cebolla, 20 g de cilantro, 15 g de hojas de laurel) y #3 [200 g de cebolla, 20 g de cilantro, 2 g de pimienta negra, 18 g de chile verde, 14 g de ajo, 6 g de sal, 8 g de cálices de jamaica verde (variedad UAN-4) con las distintas especias culinarias, más 50 ml de una bina base y 75 ml de jugo de limón]. Su preparación consistió en moler a la vez cada uno de los ingredientes con la ayuda de una licuadora convencional hasta obtener una consistencia pastosa. Posteriormente, la pasta se colocó en tubos Falcón de 50 ml para su centrifugación (5,000 rpm, 5 min). El sobrenadante fue utilizado como el extracto para mezclarse con la carne que se utilizó para la elaboración de sistemas modelo.

Elaboración de la bina base

La elaboración de la bina base consistió en macerar 5 g de canela y 5 g de clavo en polvo (por separado) en 10 ml de ron (40 % de alcohol) durante 24 h. El sobrenadante obtenido de las dos maceraciones se mezcló para formar así la bina base.

Elaboración de sistemas modelo tipo hamburguesa

Se desarrollaron sistemas modelo tipo hamburguesa compuestos por el 80 % de carne de cerdo (músculo *Longissimus thoracis et lomborum*), 10 % de grasa dorsal, 1 % de sal, 9 % de agua (para las hamburguesas control), y 4.5 % de agua y 4.5 % del extracto en las

hamburguesas tratadas. La elaboración de las hamburguesas consistió en moler la carne y la grasa en un molino para carne con criba de 1/8" (marca Torrey®, modelo M12-FS), una vez molida la carne, se mezcló la sal, el agua y el extracto (si es que aplica) hasta obtener una mezcla homogénea. La mezcla se envasó al alto vacío para eliminar las burbujas de aire internas que se pudieran formar. A partir de la mezcla, se pesaron porciones de 60 g y con la ayuda de un aro metálico de 8 cm de diámetro, se elaboraron los sistemas modelo tipo hamburguesa. Las hamburguesas fueron previamente cocinadas a la plancha a una temperatura de 230 °C durante 5 min por cada lado en una parrilla marca Oster Bioceramic®.

A partir de cada tratamiento (sin extracto, extracto #1, #2 y #3), se elaboraron los sistemas modelo tipo hamburguesa (tres replicas por tratamiento y por cada día de muestreo) para evaluar la estabilidad oxidativa del color, lípidos y proteínas. Las hamburguesas fueron depositadas en bandejas de poliestireno y cubiertas con papel film transparente permeable al oxígeno (14µm de grosor y 10,445 ml/m²/24 h) y almacenadas en refrigeración a 4 ± 2 °C con luz blanca fluorescente (1,620 lux) las 24 h. Los muestreos se realizaron los días 0, 3, 6, 9 y 12.

Determinación de acción antioxidante

Los compuestos fenólicos totales se determinaron por el método de Stintzing *et al*⁽¹³⁾. La actividad antioxidante con base en el método 1,1-difenil-2-picrilhidracil (DPPH) se evaluó de acuerdo al procedimiento reportado por Morales y Jiménez-Pérez⁽¹⁴⁾. La actividad antioxidante con base en el método del ABTS+ se evaluó de acuerdo al procedimiento desarrollado por Kuskoski *et al*⁽¹⁵⁾. La técnica de TBA-RS (sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico) se evaluó de acuerdo a la técnica descrita por Ganhão *et al*⁽¹⁶⁾ que permite la determinación cuantitativa de metabolitos secundarios de la oxidación de los lípidos. La determinación del total de carbonilos que se van generando durante los procesos oxidativos de las proteínas cárnicas se basó en la técnica de DNPH descrita por Ganhão *et al*⁽¹⁷⁾.

Evaluación de color de las hamburguesas

Para determinar el deterioro del color de la carne por almacenamiento a lo largo del tiempo, se realizaron evaluaciones de color por medición instrumental⁽¹⁸⁾ en la superficie de las hamburguesas tratadas con los extractos, durante los días de almacenamiento. Se utilizó un colorímetro marca Minolta® modelo CR-410. Las mediciones se realizaron en tres zonas distintas elegidas aleatoriamente y a temperatura ambiente (≈ 25 °C). Se utilizó el sistema de medida de color CIE-L*a*b* y se calculó el ángulo Hue (°h) (tono) como lo indican García-Tejeda *et al*⁽¹⁹⁾: °h=tan⁻¹(b*/a*), cuando a*>0 y b*≥0 o °h=180 + tan⁻¹(b*/a*) cuando a*<0.

La diferencia total de color (ΔE) se calculó para evaluar los cambios de color total sufrido en las hamburguesas como resultado de los días de almacenamiento en refrigeración. Por lo tanto, $\Delta EC-T$ se calculó entre las muestras del grupo control (C) y el grupo tratado (T) utilizando la escala de color CIE- $L^*a^*b^*$ para cada día de medición de la siguiente manera: $\Delta EC-T = [(L^*T - L^*C)^2 + (a^*T - a^*C)^2 + (b^*T - b^*C)^2]^{1/2}$

Análisis sensorial

Para la evaluación sensorial, cada hamburguesa cocinada bajo las condiciones descritas anteriormente, se cortó en cuatro partes para ofrecerla a un panel no entrenado de 35 personas. Se les indicó a los panelistas que evaluaran los atributos de olor, color, sabor y textura, marcando con una “X” la calificación que consideraron oportuna asignarle a cada muestra, empleando para ello un test hedónico⁽²⁰⁾ con escala de siete puntos donde el valor de 1 correspondió a “me disgusta muchísimo”, el 2 a “me disgusta mucho”, el 3 a “me disgusta poco”, el 4 a “ni me gusta ni me disgusta”, el 5 a “me gusta poco”, el 6 a “me gusta mucho” y el 7 a “me gusta muchísimo”.

Análisis estadístico

Los datos del contenido de CFT, actividad antioxidante, determinación de color e inhibición de la oxidación de lípidos y proteínas se procesaron mediante un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar. Cuando el análisis fue significativo ($P \leq 0.05$) se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey. Los resultados de diferencia total de color y análisis sensorial se realizaron mediante la prueba de Hipótesis de Kruskal-Wallis ($P \leq 0.05$). Se calcularon coeficientes de correlación de Pearson para establecer asociaciones lineales entre variables de interés. El paquete estadístico utilizado fue Minitab v.16.0.

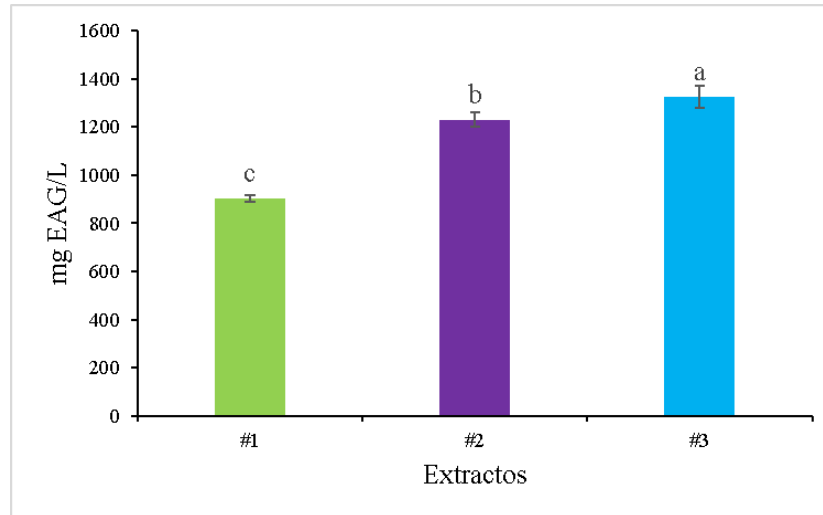
Resultados y discusión

Contenido de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante

Los tres extractos elaborados presentaron alto contenido de CFT (Figura 1) y buena actividad antioxidante determinada por el método DPPH (Figura 2) y ABTS+. La prueba de ABTS+, mostró el mismo comportamiento de actividad antioxidante que con la técnica de DPPH. Al analizar el CFT se puede observar que los extractos #2 y #3 fueron los que presentaron el mayor contenido de CFT y la mayor actividad antioxidante se observa con el tratamiento #2, seguido por el tratamiento #3. Esto se puede deber principalmente a los ingredientes que diferencian a cada uno de estos dos extractos, principalmente se puede atribuir la mayor actividad antioxidante a los derivados de catequina y procianidinas (cinamatanino B₁) y heterosidos flavónicos derivados del kenferol que han sido reportados como mayoritarios en

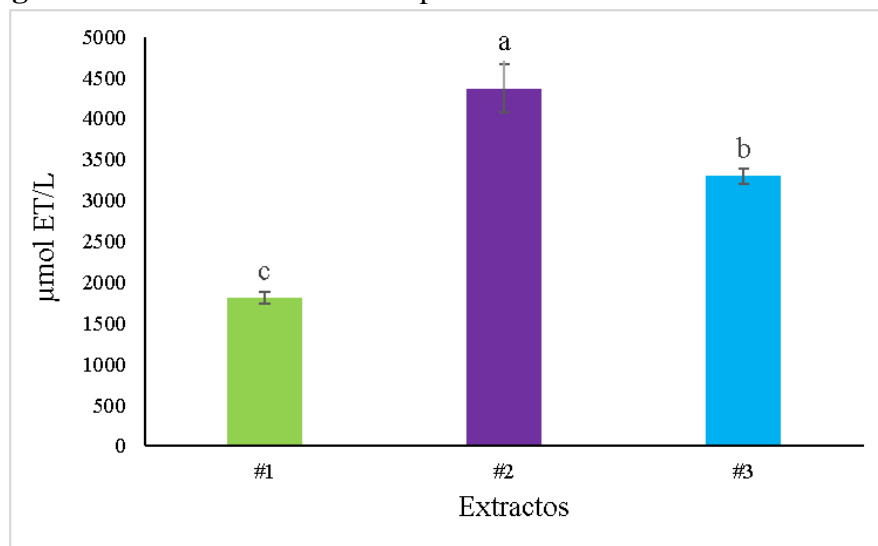
las hojas de laurel presentes en el extracto #2⁽²¹⁾ y al ácido clorogénico y sus isómeros, ácido cafeico y los derivados del ácido protocatéquico reportados como los mayoritarios y con alta actividad antioxidante en los cálices de jamaica verde en el extracto #3⁽²²⁾. Dichos ingredientes pudieron ejercer un mayor efecto sinérgico con el resto de las especias, potencializando su actividad antioxidante. Hasta el momento no se ha reportado el uso de cálices de jamaica verde para inhibir la oxidación de lípidos y proteínas pero su actividad antioxidante ya ha sido reportada⁽²³⁾.

Figura 1: Contenido de compuestos fenólicos totales de tres extractos



abc Medias con superíndice distinto denotan diferencia significativa ($P < 0.05$).

Figura 2: Actividad antioxidante por el método DPPH• de tres extractos



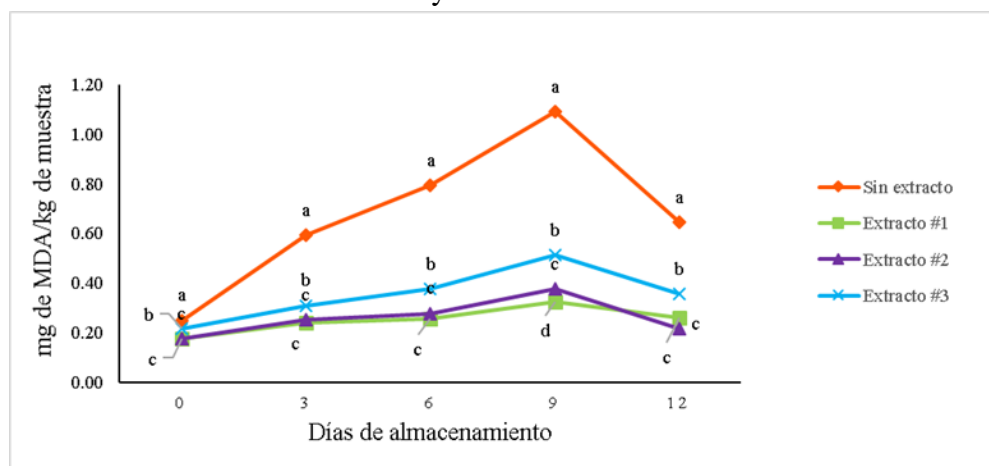
abc Medias con superíndice distinto denotan diferencia significativa ($P < 0.05$).

Los extractos elaborados presentaron una correlación significativa ($P \leq 0.05$) entre CFT y actividad antioxidante por el método DPPH y ABTS+ de $r = 0.798$ y 0.751 respectivamente. Por lo que, se puede decir de acuerdo a este análisis que la actividad antioxidante de los extractos está en función de los compuestos fenólicos totales.

Determinación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico

Los resultados de TBA-RS (Figura 3) presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre las muestras. Los tres extractos fueron capaces de disminuir la concentración de malonaldehído (MDA) con respecto a las hamburguesas sin extracto a lo largo de los 12 días de almacenamiento, siendo los extractos #1 y #2 los que lograron de manera significativa un mejor efecto en relación al extracto #3.

Figura 3: Efecto de los extractos sobre la concentración de MDA de las hamburguesas de carne de cerdo cocinada y almacenada a 4 °C durante 12 días



abc Medias con superíndice distinto denotan diferencia significativa ($P < 0.05$).

Los valores de TBA-RS por encima de 0.5 mg MDA/kg de muestra son críticos, ya que indican un nivel de productos de oxidación de lípidos que producen un olor y sabor rancio que puede ser fácilmente detectado por los consumidores⁽²⁴⁾. Este nivel de rancidez se alcanzó después de la cocción en las hamburguesas sin extracto, aumentando sus valores durante el posterior almacenamiento refrigerado, indicando con ello que el proceso de cocción puede ser capaz de acelerar las velocidades de oxidación de lípidos.

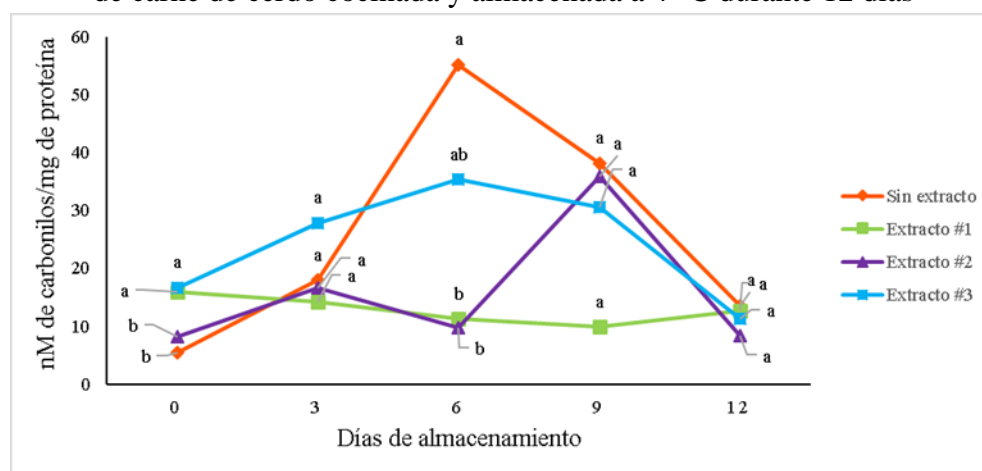
La intensa actividad antioxidante mostrada por los extractos en los ensayos *in vitro* (Figura 2) supuso un efecto protector de los extractos de forma eficiente sobre los lípidos en productos cárnicos reales. Otros autores^(12,25) han obtenido resultados similares, logrando reducir la concentración de TBA-RS al utilizar cebolla y ajo en carne de cerdo, así como tocoferoles y ácido ascórbico en paté de hígado de pollo. Sin embargo, son pocos los estudios que han intentado demostrar la eficacia de las mezclas de antioxidantes naturales contra la

oxidación de lípidos⁽²⁶⁾. En uno de ellos⁽¹¹⁾, utilizaron una mezcla de aceites esenciales de ajo, canela, clavo y romero, y obtuvieron resultados favorables al inhibir la oxidación de lípidos en jamones ibéricos. Algunas sustancias como el MDA, han sido reportadas como compuestos con potencial tóxico y mutagénico para el ser humano⁽²⁷⁾. Por lo que, los extractos #1, #2 y #3 pueden ser una estrategia eficiente para evitar el aumento de los efectos adversos causados por la oxidación de los lípidos en hamburguesas de carne de cerdo cocinadas.

Determinación del total de carbonilos de proteína

Los resultados de carbonilos en hamburguesas cocinadas (Figura 4) presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre las muestras únicamente en el día 6 de almacenamiento, mostrando una reducción de carbonilos los extractos #1 y #2 con respecto a las hamburguesas sin extracto. Sin embargo, este efecto no fue eficaz en los demás días de muestreo. Por lo que podría considerarse que ninguno de los tres extractos aplicados logró una eficiente acción inhibitoria sobre la oxidación de proteínas en hamburguesas cocinadas. Se sabe que el aumento de la susceptibilidad de las carnes cocidas a la carbonilación de proteínas, se puede atribuir a la disrupción de los tejidos miofibrilares como resultado de las altas temperaturas, que a su vez conduce a la liberación de hierro no hemo (no proteico) y a una mayor incorporación de oxígeno al sistema. El hierro no hemo ha sido reconocido como un promotor principal de la formación de restos de carbonilo a partir de proteínas miofibrilares⁽²⁸⁾. En comparación con los resultados del presente estudio, otros investigadores⁽²⁹⁾ encontraron de igual forma niveles altos de carbonilos proteicos en carne de cerdo sometida a cocción y un posterior almacenamiento en frío, lo que pone de manifiesto el impacto de las altas temperaturas sobre la estabilidad oxidativa de las proteínas musculares.

Figura 4: Efecto de los extractos sobre la concentración de carbonilos de las hamburguesas de carne de cerdo cocinada y almacenada a 4 °C durante 12 días



^{abc} Medias con superíndice distinto denotan diferencia significativa ($P < 0.05$).

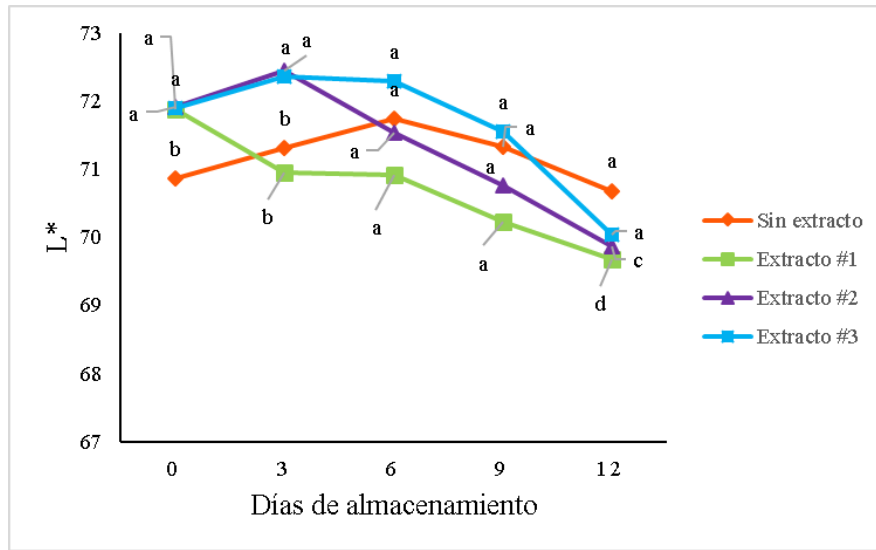
De acuerdo con los resultados del presente estudio, otros autores también han informado que ciertas estrategias antioxidantes con eficacia probada frente a la oxidación de lípidos no fueron eficaces contra la oxidación de proteínas⁽³⁰⁾.

Por otra parte, se sabe que la formación de la oxidación lipídica en los sistemas cárnicos tiene lugar más rápidamente que la degradación oxidativa de las proteínas miofibrilares⁽³¹⁾. La correlación positiva ($r=0.560$; $P=0.000$) encontrada en el presente estudio entre la oxidación proteica y lipídica en hamburguesas cocinadas, apoya la teoría de que la oxidación de lípidos y proteínas están acoplados en los sistemas cárnicos alimentarios. De hecho, algunas investigaciones han reportado dicha interacción entre lípidos y proteínas^(32,33), lo cual apoya la teoría de que las especies reactivas de oxígeno (ROS) formadas durante las primeras etapas de la oxidación de lípidos, pueden unirse a residuos de aminoácidos susceptibles para desencadenar su degradación oxidativa⁽³⁴⁾. En contraste con los resultados de la oxidación lipídica, las diferencias entre los tratamientos con respecto a la oxidación proteica no fueron tan claras posiblemente debido a la composición estructural compleja de las proteínas que le llega a brindar cierta protección y su degradación no sigue un patrón lógico, lo que coincide con otros autores^(35,36).

Evaluación de color

Los resultados del parámetro de luminosidad (Figura 5) señala una ligera pérdida de brillantez para todas las muestras, pues los valores entre ellas presentaron una diferencia menor a 3 puntos que osciló desde 72.44 hasta 69.67 durante los 12 días de almacenamiento, presentándose diferencia significativa ($P\leq 0.05$) entre las muestras durante los tres primeros días de almacenamiento, donde las hamburguesas con extracto presentaron una mayor luminosidad con respecto a las hamburguesas sin él. Sin embargo, al final del período de almacenamiento (día 12) todas las hamburguesas con extracto perdieron luminosidad de manera significativa ($P\leq 0.05$) con respecto a las hamburguesas sin extracto.

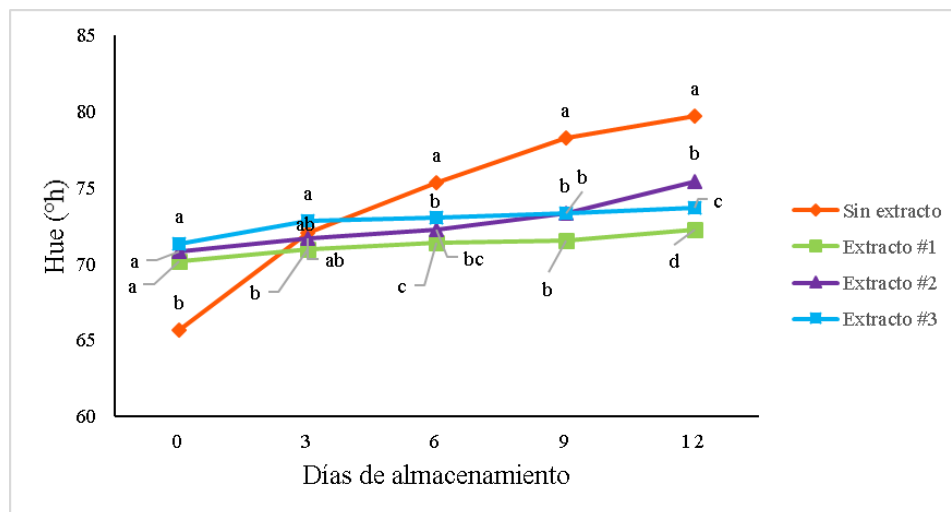
Figura 5: Efecto de los extractos sobre la luminosidad o brillantez de las hamburguesas de carne de cerdo cocinada y almacenada a 4 °C durante 12 días



^{abc} Medias con superíndice distinto denotan diferencia significativa ($P < 0.05$).

Para los valores obtenidos del ángulo *Hue* (Figura 6), puede observarse que la adición de los extractos estudiados tuvo un efecto significativo ($P < 0.05$) con respecto a las hamburguesas sin extracto, ya que los extractos tenían un color naranja tenue con ligeros toques cafés como resultado de la extracción de pigmentos de las especias y la bina base utilizada. Los pigmentos se transfirieron probablemente a las hamburguesas durante su elaboración, provocando la modificación de su color e intensificándolo tras el proceso de cocción, ocasionando así una coloración café con ligeros toques dorados, o en otras palabras una tonalidad tostada. Durante el día inicial de almacenamiento, las hamburguesas sin extracto presentaron significativamente ($P \leq 0.05$) una menor tonalidad café o tostada. Durante el tercer día de almacenamiento las hamburguesas sin extracto igualaron el color con respecto a las hamburguesas tratadas. Sin embargo, a partir del día 6 de almacenamiento las hamburguesas sin extracto aumentaron significativamente ($P \leq 0.05$) el valor de ángulo *Hue* destacando una tendencia a la alza y presentando una tonalidad amarilla con toques verdosos con respecto a las hamburguesas con extractos. Se destaca que las hamburguesas con extracto #1 protegen mejor la coloración tostada a lo largo de los 12 días de almacenamiento.

Figura 6: Efecto de los extractos sobre el color de las hamburguesas de carne de cerdo cocinada y almacenada a 4 °C durante 12 días



abcd Medias con superíndice distinto denotan diferencia significativa ($P < 0.05$).

La protección dada por parte de los extractos, puede deberse a su defensa antioxidante; los cuales, pueden ser los responsables de proteger a los hemopigmentos contra los procesos oxidativos en las hamburguesas cocinadas, lo cual se confirma con la correlación significativa de $r=0.690$ ($P=0.001$) entre color y oxidación de lípidos. Es decir, los compuestos bioactivos presentes en los extractos posiblemente pudieron inhibir la formación de los productos de oxidación de lípidos primarios (principalmente hidroperóxidos), los cuales oxidan el hierro ferroso (Fe^{2+}) de la oximioglobina a su forma férrica (Fe^{3+}) presente en metamioglobina (responsable de la decoloración)⁽³⁷⁾, inhibiendo así la decoloración de las hamburguesas.

En el Cuadro 1 se muestra la diferencia numérica total de color (ΔE) entre las hamburguesas sin extracto y las hamburguesas tratadas (con extracto #1, #2 y #3) durante los días 0, 3, 6, 9 y 12 de almacenamiento refrigerado. Según algunos autores⁽³⁸⁾, las modificaciones de color medidas instrumentalmente entre dos muestras de carne dadas se pueden considerar como cambios visuales notables cuando los valores de ΔE son superiores a 2. En el caso de las hamburguesas cocinadas se encontró una ΔE mayor a 2 para las hamburguesas con extracto #1 en el día 12 de almacenamiento. Sin embargo, estadísticamente se presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en el ΔE entre las hamburguesas tratadas a partir del día 3 de almacenamiento, donde las hamburguesas con extracto #1 presentaron el mayor diferencial de color durante los días 6, 9 y 12 de almacenamiento. Esto coincide con los resultados obtenidos del ángulo *Hue* de las hamburguesas cocinadas, donde a partir del día 6 de almacenamiento todas las hamburguesas con extracto presentaron diferencia significativa con respecto a las hamburguesas sin él, siendo precisamente las hamburguesas con extracto #1 las que presentaron la mayor diferencia. Es decir, el extracto #1 mostró mayor eficacia de

manera significativa ($P \leq 0.05$) para conservar el color tostado de las hamburguesas cocinadas a lo largo de los 12 días de almacenamiento.

Cuadro 1: Diferencia total de color (ΔE) entre la muestra sin extracto y las muestras tratadas en hamburguesas de carne de cerdo cocinada y almacenada a 4 °C durante 12 días

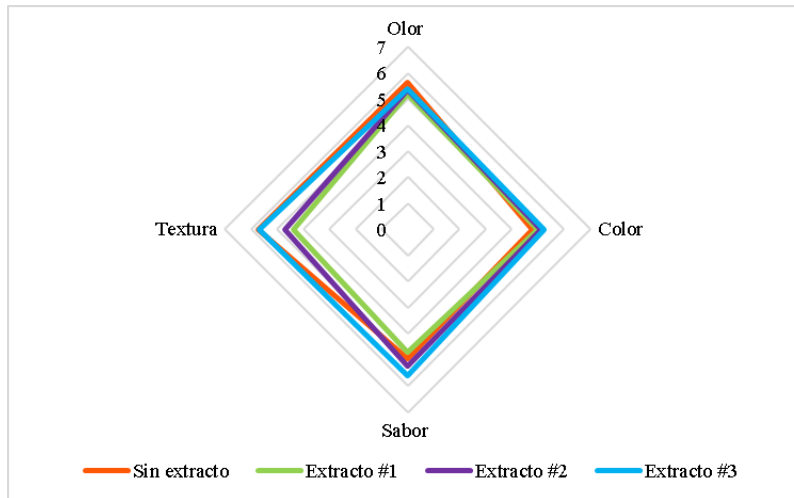
Muestras	Días				
	0	3	6	9	12
Extracto #1	1.51 ^a	0.56 ^c	1.35 ^a	1.95 ^a	2.32 ^a
Extracto #2	1.57 ^a	1.10 ^a	0.94 ^b	1.36 ^b	1.49 ^c
Extracto #3	1.80 ^a	1.09 ^b	0.76 ^c	1.09 ^c	1.50 ^b

Medias con superíndice distinto dentro de un día de almacenamiento denotan diferencia significativa entre los extractos ($P \leq 0.05$).

Análisis sensorial

Los resultados de la evaluación sensorial (Figura 7) señalan que, en relación a los atributos de olor y color, no se presentó diferencia significativa ($P > 0.05$) entre los tratamientos, es decir la aplicación de los extractos no modificó perceptivamente ni el olor ni el color propio de una carne cocinada. En la evaluación correspondiente al atributo de sabor se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las distintas fuentes de variación utilizadas en el diseño experimental, siendo las hamburguesas con extracto #3 las que presentaron mayor preferencia entre los panelistas, superando a las hamburguesas sin extracto, mientras que la de menor aceptación fueron las hamburguesas con extracto #1. Referente al atributo de textura, se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, siendo las hamburguesas adicionadas con el extracto #3, las que mostraron mayor aceptabilidad para dicho atributo e igualando la textura de las hamburguesas que no lo llevaban. Mientras que las hamburguesas que fueron adicionadas con el extracto #1 fueron las que tuvieron menor aceptación entre los catadores. En general, la adición de los tres extractos a las hamburguesas, no tuvieron un efecto negativo en la preferencia de los catadores, ya que los resultados de los cuatro atributos (olor, color, sabor y textura) evaluados estuvieron en la escala de 4 a 6, que va desde “ni me gusta ni me disgusta” hasta “me gusta mucho”, destacando la preferencia por las hamburguesas con extracto #3 entre los comensales.

Figura 7: Evaluación sensorial de los atributos de olor, color, textura y sabor de las hamburguesas de carne de cerdo cocinada



Conclusiones e implicaciones

El efecto protector de los extractos #1, #2 y #3 sobre la oxidación lipídica y deterioro de color en hamburguesas de carne de cerdo cocinadas y almacenadas en refrigeración, se puede atribuir a los compuestos fenólicos presentes en las especias culinarias presentes en los extractos, los cuales mostraron actividad antioxidante. Los tres extractos pueden ser una estrategia eficiente que impacte en un aumento de la vida útil de los productos cárnicos sin causar daño sobre atributos nutricionales, y sin presentar alteraciones anómalas en las percepciones sensoriales por los consumidores.

Agradecimientos

Al personal del Centro Nayarita de Innovación y Transferencia Tecnológica, especialmente al Dr. Javier Germán Rodríguez Carpena y M.C. María Elena Luna Castañeda, así como al M.C. Gibrán López Nahuatt, por todo el apoyo brindado durante la realización de esta investigación.

Literatura citada:

1. Monahan FJ, Crackel RL, Gray JI, Buckley DJ, Morrissey PA. Catalysis of lipid oxidation in muscle model systems by haem and inorganic iron. *Meat Sci* 1993;(34):95-106.
2. Mapiye C, Aldai N, Turner TD, Aalhus JL, Rolland DC, Kramer JKG. The labile lipid fraction of meat: from perceived disease and waste to health and opportunity. *Meat Sci* 2012;(92):210–220.

3. Soladoye OP, Juárez ML, Aalhus JL, Shand P, Estévez M. Protein oxidation in processed meat: mechanisms and potential implications on human health. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2015;14(2):106-122.
4. Aday S, Aday MS. Impacts of COVID-19 on food supply chain. *Food Qual Saf* 2020;4(4):167-180.
5. Ayseli YI, Aytekin N, Buyukkayhan D, Aslan I, Ayseli MT. Food policy, nutrition and nutraceuticals in the prevention and management of COVID-19: Advice for healthcare professionals. *Trends Food Sci Technol* 2020;105:186-199.
6. Falowo BA, Fayemi OP, Muchenje V. Natural antioxidants against lipid–protein oxidative deterioration in meat and meat products: a review. *Food Res Int* 2014;(64):171-181.
7. Hernández-López SH, Rodríguez-Carpena JG, Lemus-Flores C, Galindo-García J, Estévez M. Antioxidant protection of proteins and lipids in processed pork loin chops through feed supplementation with avocado. *J Food Sci Technol* 2016;53(6):2788-2796.
8. Hernández-López SH, Rodríguez-Carpena JG, Lemus-Flores C, Grageola-Nuñez F, Estévez M. *Meat Sci* 2016;(116):186-192.
9. Vallverdú-Queralt A, Regueiro J, Martínez-Huelamo M, Rinaldi-Alvarenga JF, Neto-Leal L, Lamuela-Raventos RM. A comprehensive study on the phenolic profile of widely used culinary herbs and spices: Rosemary, thyme, oregano, cinnamon, cumin and bay. *Food Chem* 2014;(154):299-307.
10. Brewer MS. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2011;(10):221-247.
11. Armenteros M, Morcuende D, Ventanas J, Estévez M. The application of natural antioxidants via brine injection protects Iberian cooked hams against lipid and protein oxidation. *Meat Sci* 2016;(116):253-259.
12. Janoszka B. 7-Ketocholesterol and 7-hydroxycholesterol in pork meat and its gravy thermally treated without additives and in the presence of onion and garlic. *Meat Sci* 2010;(86):976-984.
13. Stintzing FC, Herbach KM, Mosshammer MR, Carle R, Yi W, Sellappan S, Akoh CC, Bunch R, Felker P. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of *cactus pear* (*Opuntia* spp.) clones. *J Agric Food Chem* 2005;53(2):442-451.
14. Morales FJ, Jiménez-Pérez S. Free radical scavenging capacity of *maillard* reaction products as related to colour and fluorescence. *J Agric Food Chem* 2001;72:119-125.

15. Kuskoski EM, Asuero AG, Troncoso AM, García-Padilla MC, Fett R. Actividad antioxidante de pigmentos antiocianicos. Rev Bras Cien Tecnol Alimen 2004;24(4): 691-693.
16. Ganhão R, Estévez M, Morcuende D. Suitability of the TBA method for assessing lipid oxidation in meat system with added phenolic-rich material. Food Chem 2011;126:772-778.
17. Ganhão R, Morcuende D, Estévez M. Protein oxidation in emulsified cooked Burger patties with added fruit extracts: Influence on color and texture deterioration during chill storage. Meat Sci 2010;85:402-409.
18. CIE (Comission Internationale de l'Éclairage). Recommendations on uniform color spaces-color equations, psychometric color terms. Supp nr 2 to CIE Publ nr 15 (E-1.3.L) 1971 (9TC-1-3), 1978; Paris, France: CIE.
19. García-Tejeda YV, Zamudio-Flores PB, Bello-Pérez LA, Romero-Bastida CA, Solorza-Feria J. Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencia en la fabricación de materiales de empaque biodegradables: Caracterización física, química, térmica y morfológica. Rev Iberoamericana de Polímeros 2011;12(3):125-135.
20. Peryam DR, Pilgrim FJ. Hedonic scale method of measuring food preference. Food Technol 1957;11:9-14.
21. Dall'Acqua S, Cervellati R, Speroni E, Costa S, Guerra MC, Stella L, Greco E, Innocenti G. Phytochemical composition and antioxidant activity of *Laurus nobilis* L. leaf infusion. J Med Food 2009;12(4):869-876.
22. Reyes-Luengas A, Salinas-Moreno Y, Ovando-Cruz ME, Arteaga-Garibay RI, Martínez-Peña MD. Análisis de ácidos fenólicos y actividad antioxidante de extractos acuosos de variedades de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) con cálices de colores diversos. Agrociencia 2015;49:277-290.
23. Medina-Carrillo RE, Madrigal-Santillán EO, Machuca-Sánchez ML, Balois-Morales R, Jiménez-Ruiz EI, Valadez-Vega C, *et al.* Free radical scavenging properties and their relationship with bioactive compounds content of dehydrated calyces of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Afr J Agric Res 2015;10(11):1203-1210.
24. Wood JD, Enser M, Fisher AV, Nute GR, Sheard PR, Richardson RI, Hughes SI, Whittington FM. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality. Meat Sci 2008;78:343-358.

25. Polak T, Zlender B, Lusnic M, Gasperlin L. Effects of coenzyme Q10, α -tocopherol and ascorbic acid on oxidation of cholesterol in chicken liver pâté. *LWT - Food Sci and Technol* 2011;44:1052-1058.
26. Ahn J, Grün IU, Mustapha A. Effects of plant extracts on microbial growth, color change and lipid oxidation in cooked beef. *Food Microbiol* 2007;24(1):7-14.
27. Del Río D, Stewart AJ, Pellegrini N. Una revisión de estudios recientes en malondialdehide como la molécula tóxica y marcador biológico de la tensión oxidative. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2005;15:316-328.
28. Estévez M, Heinonen, M. Effect of phenolic compounds on the formation of α -amino adipic and γ -glutamic semialdehydes from myofibrillar proteins oxidized by copper, iron and myoglobin. *J Agric Food Chem* 2010;58:4448-4455.
29. Ganhão R, Estévez M, Kylli P, Heinonen M, Morcuende D. Characterization of selected wild Mediterranean fruits and comparative efficacy as inhibitors of oxidative reactions in emulsified raw pork burger patties. *J Agric Food Chem* 2010;58:8854-8861.
30. Haak L, Raes K, De Smet S. Effect of plant phenolic, tocopherol and ascorbic acid on oxidative stability of pork patties. *J Sci Food Agric* 2009;89:1360-1365.
31. Estévez M, Ollilainen V, Heinonen M. Analysis of protein oxidation markers α -amino adipic and γ -glutamic semialdehydes in food proteins by using LC-ESI-Multi-Stage Tandem MS. *J Agric Food Chem* 2009;57:3901-3910.
32. Estévez M, Kylli P, Puolanne E, Kivikari, R, Heinonen M. Fluorescence spectroscopy as a novel approach for the assessment of myofibrillar protein oxidation in oil-in-water emulsions. *Meat Sci* 2008;80(4):1290-1296.
33. Ventanas S, Ventanas J, Tovar J, García C, Estévez M. Extensive feeding versus oleic acid and tocopherol enriched mixed diets for the production of Iberian dry-cured hams: Effect on chemical composition, oxidative status and sensory traits. *Meat Sci* 2007;77:246-256.
34. Stadtman ER, Levine RL. Free radical-mediated oxidation of free amino acids and amino acid residues in protein. *Amino Acids* 2003;25:207-218.
35. Smet K, Raes K, Huyghebaert G, Haak L, Arnouts S, Smet S. Lipid and protein oxidation of broiler meat as influenced by dietary natural antioxidant supplementation. *Poultry Sci* 2008;87:1682-1688.
36. Lund MN, Hviid MS, Skibsted LH. The combined effect of antioxidants and modified atmosphere packaging on protein and lipid oxidation in beef patties during chill storage. *Meat Sci* 2007;76:226-233.

37. Faustman C, Sun Q, Mancini R, Suman SP. Myoglobin and lipid oxidation interactions: mechanistic bases and control. *Meat Sci* 2010;86:86-94.
38. Francis FJ, Clydesdale FM. *Food colorimetry. Theory and applications*. Westport, CT: AVI Publishing; 1975.