



**Centro de Investigación en Alimentación y  
Desarrollo, A. C.**

**CÁSCARA DE MANGO EN HAMBURGUESAS DE RES  
FORMULADAS CON ACEITES VEGETALES: EFECTOS  
SOBRE LA CALIDAD Y OXIDACIÓN LIPÍDICA DURANTE LA  
DIGESTIÓN SIMULADA**

---

Por:

**Martha Olivia Vazquez Meza**

TESIS APROBADA POR LA

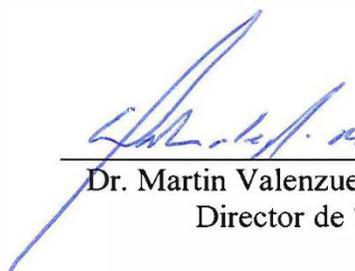
COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

**MAESTRA EN CIENCIAS**

## APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Martha Olivia Vazquez Meza, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias.



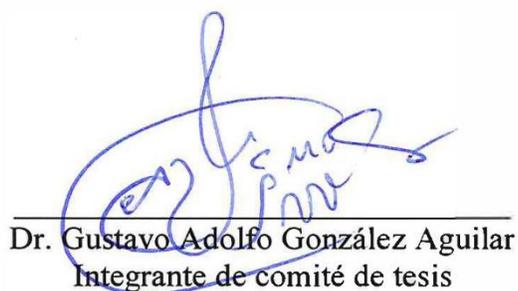
---

Dr. Martin Valenzuela Melendres  
Director de Tesis



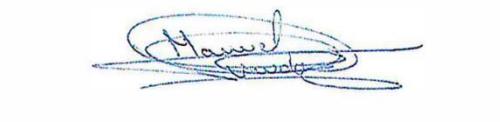
---

Dr. Humberto González Ríos  
Integrante de comité de tesis



---

Dr. Gustavo Adolfo González Aguilar  
Integrante de comité de tesis



---

Dr. Manuel Viuda Martos  
Integrante de comité de tesis

## DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis "Cáscara de Mango en Hamburguesas de Res Formuladas con Aceites Vegetales: Efectos Sobre la Calidad y Oxidación Lipídica Durante la Digestión Simulada" es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial de la autora Martha Olivia Vázquez Meza, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del director(a) de tesis.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN  
ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.  
Coordinación de Programas Académicos



Dra. Graciela Cáire Juvera  
Directora General

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por brindarme el apoyo económico durante el periodo de estudio de posgrado de Maestría en Ciencias. Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.) por haberme otorgado la oportunidad de formar parte del programa de posgrado y poder realizar la Maestría en Ciencias y cumplir un objetivo más en mi formación académica.

A la Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal (CTAOA), por la oportunidad de trabajar en su área de investigación, por el apoyo académico y administrativo otorgado.

A cada uno de los investigadores que formaron parte de mi comité, por sus excelentes consejos durante el desarrollo de este trabajo: Dr. Humberto González Ríos, Dr. Gustavo Adolfo González Aguilar y Dr. Manuel Viuda Martos.

A mi Director de Tesis, Dr. Martin Valenzuela Melendres por haberme dado su apoyo en todo momento, por aceptarme en su equipo de trabajo y haberme asesorado durante la maestría. Gracias por la paciencia, sus consejos, el tiempo y dedicación en mis estudios.

Al I. Q. Luis Germán Cumplido Barbeitia por la ayuda técnica en el área de planta piloto, por sus ideas y consejos.

A la Q. B. Thalia Islava Lagarda por su paciencia y el apoyo técnico otorgado durante el desarrollo del trabajo en el laboratorio.

Al Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Carne, por su apoyo cada vez que lo necesite.

A mis padres Martha y Martin que estuvieron en todo momento, por sus consejos, por siempre apoyarme en mis estudios y ser un ejemplo a seguir, además de nunca dejarme sola.

A mi hermano Francisco, por darme motivación para seguir adelante, por las risas a pesar de las circunstancias y darme sus consejos en todo momento.

A mis amigas Marcela, Mitzi, Salma y Karina que siempre estuvieron apoyándome, por sus conocimientos, consejos, y amistad.

A Alejandro por escucharme y apoyarme en todo momento, por motivarme a seguir adelante y darme sus consejos cuando los necesité.

## **DEDICATORIA**

A Dios por permitirme concluir la Maestría y por darme paciencia para seguir logrando mis metas.

A mis padres Martin Vazquez y Martha Meza, que siempre me han apoyado en todo momento, por estar en cada uno de mis logros, por ayudarme en todo siempre que los necesite, por darme sus consejos y enseñándome a ser mejor cada día. Siempre estaré agradecida por todo lo que me han dado. Los amo.

A mi hermano Francisco por darme ánimos y ayudarme en cada momento, por las risas y darme sus consejos para realizar la maestría.

## CONTENIDO

<b>APROBACIÓN</b> .....	2
<b>DECLARACIÓN INSTITUCIONAL</b> .....	3
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	4
<b>DEDICATORIA</b> .....	5
<b>CONTENIDO</b> .....	6
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	9
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	10
<b>RESUMEN</b> .....	11
<b>ABSTRACT</b> .....	12
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	15
2.1. Tendencia en Productos Cárnicos Funcionales.....	15
2.1.1 Alimentos listos para consumir “Ready to eat” .....	16
2.1.2 Hamburguesas de Carne “Ready to eat” .....	16
2.2. Efecto de la Adición de Grasas en los Productos Cárnicos.....	17
2.3. Consumo de Ácidos Grasos y su Impacto en la Salud.....	18
2.3.1. Grasa de Res Incorporada en Productos Cárnicos.....	20
2.3.2. Ácidos Grasos Poliinsaturados: Beneficios en la Salud e Incorporación en Productos Cárnicos.....	21
2.3.2.1. Aceite de cártamo y aguacate.....	21
2.4. Oxidación de Lípidos y Proteínas en Carne y Productos Cárnicos.....	23
2.4.1. Mecanismo de la Oxidación Lipídica.....	23
2.4.2. Oxidación de Proteínas en Productos Cárnicos.....	25
2.4.3. Proceso de digestión: Consecuencias de la Oxidación Lipídica y Proteica en la Salud.....	25
2.5. Antioxidantes Naturales Contra la Oxidación Lipídica en Carne y sus Productos.....	27
2.5.1. Impacto Ambiental de Subproductos del Mango y su Aprovechamiento.....	29
2.5.2. Potencial de la Cáscara de Mango como Ingrediente Funcional y Capacidad Antioxidante.....	30
2.5.3. Cáscara de Mango Durante la Digestión.....	32
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	34
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	35
4.1. Objetivo General.....	35
4.2. Objetivos Específicos.....	35
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	36
5.1. Diseño Experimental.....	36

## CONTENIDO (continuación)

5.2. Obtención de Materia Prima.....	36
5.3. Elaboración de Pre-emulsiones.....	37
5.4. Elaboración y Formulación de Tratamientos.....	37
5.5. Caracterización Parcial de la Materia Prima.....	38
5.6. Análisis Fisicoquímicos de las Hamburguesas de Res.....	38
5.6.1. Análisis Proximal.....	38
5.6.2. Pérdida de Peso por Cocción.....	39
5.6.3. Porcentaje de Encogimiento.....	39
5.6.4. Análisis de Perfil de Textura.....	39
5.6.5. Potencial de Hidrógeno (pH) .....	40
5.6.6. Color Instrumental (CIE $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ ) .....	40
5.7. Perfil de Ácidos Grasos.....	41
5.8. Capacidad Antioxidante.....	42
5.8.1. Obtención del Extracto.....	42
5.8.2. Fenoles Totales.....	42
5.8.3. Capacidad Antioxidante Equivalente de Trolox (TEAC).....	43
5.8.4. Capacidad de Reducción del Hierro (FRAP).....	43
5.9. Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS).....	43
5.10. Digestión simulada.....	44
5.11. Ácidos Grasos Libres.....	44
5.12. Análisis Estadístico.....	45
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>47</b>
6.1. Caracterización Parcial de Materia Prima.....	47
6.2. Análisis Fisicoquímico y Nutricional.....	49
6.2.1. Porcentaje de Encogimiento y Pérdida de Peso por Cocción.....	49
6.2.2. Análisis Proximal.....	50
6.2.3. Perfil de Ácidos Grasos.....	51
6.3. Evaluación de la Calidad durante el Almacenamiento en Refrigeración.....	54
6.3.1. Color Instrumental.....	54
6.3.2. pH.....	56
6.3.3. Análisis de Perfil de Textura.....	57
6.4. Prueba de Ácido Tiobarbiturico.....	60
6.5. Análisis Antes y Después de la Digestión simulada.....	61
6.5.1. Ácidos Grasos Libres.....	61
6.5.2. Fenoles Totales Antes y Después de la Digestión Simulada.....	63
6.5.3. Capacidad de Reducción del Hierro.....	65
6.5.4. Capacidad Antioxidante Equivalente de Trolox.....	67
6.5.5. Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS).....	68
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>72</b>

**CONTENIDO (continuación)**

<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>73</b>
<b>10. ANEXOS.....</b>	<b>80</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Clasificación de los ácidos grasos por su saturación.....	20
2	Mecanismo de acción antioxidante de compuestos fenólicos.....	28
3	Estructura de compuestos bioactivos de la cáscara de mango.....	31
4	Porcentaje de encogimiento y pérdida de peso por cocción (PCC) de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango.....	50
5	Valor de TBA de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango durante el tiempo de almacenamiento.....	61
6	Contenido de ácidos grasos libres de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango después de la digestión simulada.....	63
6	Contenido de fenoles totales de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango antes y después de la digestión simulada.....	65
7	Actividad antioxidante medida por el método FRAP de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango antes y después de la digestión simulada.....	66
8	Actividad antioxidante medida por el método ABTS de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango antes y después de la digestión simulada.....	68
9	Prueba de TBA de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango antes y después de la digestión simulada.....	70
10	Cromatograma de cuantificación de alfa-tocoferol en aceite de aguacate comercial.....	80

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Contenido de ácidos grasos en aceite de cártamo y aguacate.....	22
2	Valores promedio de color instrumental y pH en grasa de res, aceite de aguacate, aceite de cártamo, cáscara de mango y pre-emulsiones de aceite de cártamo y aguacate.....	48
3	Contenido de fenoles totales (FT), capacidad antioxidante equivalente de Trolox (TEAC) e inhibición de radical DPPH' de cáscara de mango.....	49
4	Análisis proximal de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango.....	51
5	Perfil de ácidos grasos en hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango.....	53
6	Color instrumental ( $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ ) y diferencia total de color de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango durante el tiempo de almacenamiento.....	56
7	Valor de pH de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango durante el tiempo de almacenamiento.....	57
8	Análisis de perfil de textura de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango durante el tiempo de almacenamiento.....	59

## RESUMEN

El desarrollo de hamburguesas con alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados derivado de la sustitución de grasa saturada por aceites vegetales es una buena opción desde la perspectiva de salud; sin embargo, su uso puede ocasionar un detrimento en la calidad fisicoquímica ya que son más propensos a oxidarse al exponerse a la luz, oxígeno y altas temperaturas durante el cocimiento. Por otro lado, durante la digestión, la carne se expone a condiciones prooxidantes como bajo pH del estómago, enzimas digestivas y iones metálicos lo que promueve la oxidación lipídica y eventual impacto negativo en la salud. El uso de subproductos como la cáscara de mango (CM) puede ser una buena alternativa para mejorar la calidad fisicoquímica de hamburguesas y reducir la oxidación en la digestión debido a su contenido de fenoles y capacidad antioxidante. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la adición de CM y el tipo de lípido [grasa de res (GR), aceite de aguacate (AA) y aceite de cártamo (AC)] en hamburguesas de res sobre la calidad fisicoquímica y la reducción de la oxidación lipídica durante la digestión simulada. Se prepararon 6 formulaciones de hamburguesas con 20% de lípidos bajo un arreglo factorial de tratamientos 3 x 2 (tipo de grasa: GR, AA y AC; y con 0 ó 1% de CM). Se evaluó el color instrumental, pH, análisis de perfil de textura, pérdida de peso por cocción y porcentaje de encogimiento (PE). Además, se evaluó el contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante y oxidación lipídica. La adición de CM disminuyó ( $p < 0.05$ ) el PE, la dureza y la masticabilidad. La adición de aceites y CM aumentó los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . La incorporación de CM y aceites en la formulación cárnica disminuyó la oxidación lipídica ( $p < 0.05$ ) por al menos 8 días de almacenamiento a 2 °C. El proceso de digestión provocó un aumento en el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante ( $p < 0.05$ ). La incorporación de CM en la formulación cárnica disminuyó la oxidación lipídica antes y después de la digestión simulada ( $p < 0.05$ ). La sustitución de aceites vegetales y adición de CM puede ser una alternativa para mejorar los parámetros de calidad y disminuir la oxidación lipídica antes y después de la digestión simulada de hamburguesas de res formuladas con aceites vegetales.

**Palabras Clave:** cáscara de mango, hamburguesa, oxidación lipídica.

## ABSTRACT

Development of high content of monounsaturated fatty acids hamburgers derived from the substitution of saturated fat (GR) with vegetable oils promised much for health; however, their use may be detrimental to the physicochemical quality, since they are More susceptible to oxidation when exposed to light, oxygen, and high cooking temperatures. However, during digestion meat is exposed to pro-oxidant conditions such as low stomach pH, digestive enzymes and metal ions, which promote lipid oxidation and progressive negative impact on health. The use of mango peel (MP) as a bio-product can be a good alternative to improve the physicochemical quality of hamburgers and reduce oxidation during digestion due to its phenol content and antioxidant capacity. The purpose of this work was to evaluate the effect of the addition of MP and the fat type [beef fat (BF), avocado oil (AO) and safflower oil (SO)] in beef burgers on the physicochemical quality and reduction of lipid oxidation during simulated digestion. Hamburgers with 20% lipids were prepared under the following treatments: 1) BF, 2) AO, 3) SO, 4) BF + 1% MP, 5) AO + 1% MP, 6) SO + 1% MP. Color, pH, texture, cook loss and shrinkage percentage (SP) were evaluated. In addition, the content of total phenols, antioxidant capacity and lipid oxidation were evaluated. The addition of MP decreased ( $p < 0.05$ ) SP, hardness, and chewiness. In addition, the total content of phenols, antioxidant capacity and fat oxidation were evaluated. The addition of oils and MP increased the color parameters  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ . The incorporation of MP and oils in the meat formulation decreased fat oxidation ( $p < 0.05$ ) for at least 8 days of storage at 2 °C. The digestion process caused an increase in total phenol content and antioxidant capacity ( $p < 0.05$ ). Adding of MP in the meat formulation requires lipid oxidation before and after simulated digestion ( $p < 0.05$ ). The substitution of vegetable oils and MP supplements can be an alternative to improve beef quality parameters and decrease lipid oxidation before and after the simulated digestion of beef patties prepared with vegetable oils.

**Keywords:** mango peel, beef patties, lipid oxidation

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, existe una mayor demanda hacia los productos listos para consumir, llamados “ready to eat”. Los consumidores prefieren estos productos debido a sus vidas ocupadas, y el consumir estos productos requiere menos tiempo y esfuerzo (Parvin *et al.*, 2020). Uno de los productos más consumidos son las hamburguesas, ya que son económicas y sabrosas (Los *et al.*, 2020). Durante la preparación, estos alimentos “ready to eat” pasan por procesos como molienda, precalentamiento, almacenamiento y calentamiento, por lo que conlleva a una mayor oxidación de lípidos. De esta manera, disminuye la calidad del producto y provoca sabores indeseables cuando ocurre un sobrecalentamiento (Parvin *et al.*, 2020). Estos productos son muy consumidos por sus propiedades sensoriales como el sabor y aroma y sus altos contenidos de proteína, vitaminas como B12, B6 y minerales como hierro y zinc. Sin embargo, son también fuente de grasas saturadas, colesterol y sal, los cuales son considerados como factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares (Ballesteros, 2021; De Smet & Vossen, 2016). En este sentido, la sociedad ha presentado cambios en los hábitos alimenticios inclinándose hacia productos bajos en grasas (Valenzuela Melendres *et al.*, 2015). Una alternativa para aquellos consumidores que buscan cuidar su salud, es sustituir la grasa saturada de estos productos por aceites vegetales.

Los aceites vegetales tienen alto contenido de ácidos grasos mono y poliinsaturados, los cuales se han considerado favorables para la salud en comparación con la grasa de res (Forero-Doria *et al.*, 2017). Pero en su estructura presentan dobles enlaces, provocando que sean más propensos a oxidarse cuando entran en contacto con componentes prooxidantes (Afshari *et al.*, 2017). A pesar de esto, hay una mayor preferencia en el consumo de aceites ricos en oleico, como lo son el aceite de aguacate y de cártamo. Estos aceites tienen un efecto benéfico a la salud, además de ser una fuente importante de compuestos como tocoferoles y fitoesteroles (Rosales *et al.*, 2005). La incorporación de estos aceites en la formulación de productos cárnicos tiene un efecto positivo desde el punto de vista nutricional y, además, es posible mejorar la calidad del producto pues sus componentes pueden actuar como antioxidantes, tal como se evidencia en un estudio donde se evaluó la oxidación lipídica de hamburguesas de res adicionadas con aceite de aguacate, girasol y oliva, encontrando que el aceite de aguacate redujo la oxidación lipídica debido a su contenido en

tocoferoles y clorofila (Rodríguez-Carpena *et al.*, 2012). Es de interés determinar si este mismo efecto podría observarse una vez que el alimento es consumido.

Durante la digestión ocurre la oxidación de los lípidos a causa de que son expuestos a condiciones prooxidantes del tracto gastrointestinal como bajo pH y iones metálicos en el bolo alimenticio (Nieva-Echevarría *et al.*, 2020). Por esta razón, es necesario buscar alternativas para retrasar la oxidación lipídica de la carne y sus productos, tanto durante su vida de anaquel como durante su consumo. Una opción natural es el uso de subproductos con compuestos bioactivos como lo es la cáscara de mango. La disponibilidad de este ingrediente es enorme, pues el procesamiento del mango genera alrededor de 3 millones de toneladas de semillas y cáscaras que representan entre el 25 y 40% de la fruta (Mandha *et al.*, 2021). Actualmente ha aumentado el interés por el aprovechamiento de este subproducto que contiene compuestos bioactivos como polifenoles, carotenos, mangiferina, entre otros, los cuales podrían tener un beneficio a la salud o mejorar la calidad de un producto cárnico si éste se incorpora en la formulación (Zafra Ciprián *et al.*, 2021).

Se han realizado estudios que evalúan la reducción de la oxidación lipídica de productos cárnicos adicionando subproductos como por ejemplo cáscara de aguacate y cáscara de piña (Selani *et al.*, 2016; Zafra Ciprián *et al.*, 2021). Pero estos estudios se han enfocado en la etapa de almacenamiento y no en la etapa de la digestión, de ahí la importancia de continuar con las investigaciones enfocadas a reducir la oxidación lipídica en un producto con mejor valor nutricional una vez que el alimento es consumido. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la adición de cáscara de mango y tipo de lípido en hamburguesas de res, sobre la calidad fisicoquímica y la reducción de la oxidación lipídica durante la digestión simulada

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Tendencia en Productos Cárnicos Funcionales

Las recientes tendencias en productos cárnicos se basan en las actuales necesidades de las personas; estas se relacionan con la nutrición, la salud, el bienestar y los productos naturales (Pateiro *et al.*, 2021). Los alimentos listos para consumir son convenientes para los consumidores porque ahorran tiempo y esfuerzo, además de que es una excelente alternativa que otros alimentos “ready to eat” (Ferreira *et al.*, 2016). Las distintas demandas de los consumidores han llevado a la innovación en el procesamiento de la carne y a una búsqueda continua de nuevas estrategias para la preparación sin cambiar los aspectos cualitativos (Pateiro *et al.*, 2021). Por otro lado, la situación que se vivió por COVID-19 hace que los consumidores estén más preocupados por su salud y bienestar, pues una alta mortalidad por COVID-19 se dio en enfermos con comorbilidades relacionadas con una mala alimentación (Djekic *et al.*, 2021). De esta manera la pandemia fue una oportunidad para el desarrollo de nuevos productos, utilizando estrategias de investigación e innovación (Delgado-Ospina *et al.*, 2021). En este sentido, la reformulación de productos listos para consumir podría ser una alternativa para el consumo de alimentos más saludables mediante la adición de antioxidantes naturales o sustitución de grasa saturada por aceites vegetales.

A pesar de que la carne es un alimento esencial en la dieta por ser una excelente fuente de nutrientes como proteína, vitaminas B12 y B6 y hierro, contiene algunos compuestos como grasas saturadas y sal, que en una ingesta no equilibrada puede tener efectos negativos para la salud (Gullón *et al.*, 2020). El desarrollar productos cárnicos con composiciones mejoradas y saludables ha tenido como resultado la elaboración de productos reducidos en grasa. La reformulación de productos cárnicos se puede realizar por medio de la adición de fibras, proteínas, ácidos grasos poliinsaturados (AGP) o antioxidantes naturales (Kausar *et al.*, 2019). En este sentido, la industria cárnica se ve impulsada a seguir la tendencia de promover procesos de reformulación, como la reducción y sustitución de grasa animal por aceites vegetales, sin afectar propiedades tecnológicas y sensoriales (Lima *et al.*, 2022). La incorporación de aceite vegetal (como el de canola, aguacate, soja o cártamo) como sustituto de grasas saturadas, es una estrategia interesante para desarrollar productos cárnicos más

saludables (Nieto & Lorenzo, 2021). A pesar de eso, desde el punto de vista tecnológico, la reducción de la grasa saturada en emulsiones cárnicas puede llegar a ser difícil pues tiene un efecto importante en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del producto, lo que es un reto para los tecnólogos en el desarrollo de nuevos productos cárnicos.

### **2.1.1. Alimentos Listos para Consumir “Ready to eat”**

Los consumidores prefieren los productos cárnicos listos para consumir debido al estilo de vida que llevan; al consumir estos productos ahorran tiempo y esfuerzo (Parvin *et al.*, 2020). Dentro de las carnes procesadas, las hamburguesas de carne de res son apetitosas, más económicas y versátiles (Los *et al.*, 2020). Los productos precocinados necesitan un recalentamiento interno antes del consumo para que los alimentos sean inocuos sin que su valor nutricional se vea afectado en el mercado actual (Parvin *et al.*, 2020). Estos alimentos “ready to eat”, durante su preparación, llevan a cabo procesos como precocinado, cocinado, molienda entre otros, ocasionando una mayor oxidación debido al contenido de ácidos grasos insaturados. Este proceso oxidativo es causado por la liberación de hierro hemo de la mioglobina que ocurre durante la cocción y el recalentamiento por lo que acelera la oxidación de la carne. Las carnes cocidas desarrollan un intenso deterioro del sabor durante el posterior almacenamiento en frío, conocido como sobrecalentamiento y disminuye la calidad del producto (Parvin *et al.*, 2020). Este proceso de deterioro es debido a la presencia de dobles enlaces de los ácidos grasos, por lo que son más susceptibles a reacciones oxidativas (Ferreira *et al.*, 2016). Sin embargo, la utilización de antioxidantes naturales como conservantes podría retrasar el proceso de oxidación, mejorar la estabilidad del color y extender la vida útil durante el procesamiento de productos cárnicos.

### **2.1.2. Hamburguesas de Res “Ready to eat”**

Las hamburguesas de res son muy consumidas debido a sus costos, es apetecible y es rápido de realizar, de esa manera hace que sean una buena opción de comida para muchos consumidores

como niños y adultos (Los *et al.*, 2020). Por otro lado, México es uno de los países con mayor prevalencia de enfermedades cardiovasculares, de esta manera es necesario buscar alternativas que sean más saludables a la población. Por lo tanto, la adición de aceites en un producto cárnico como la hamburguesa podría ser una opción para la realización de un producto más saludable. Debido a la búsqueda de aumento en la ingesta diaria de ácidos grasos insaturados o compuestos antioxidantes, podrían ser incorporados en matrices en las que no se encuentran normalmente como las hamburguesas de res. Esta incorporación podría ser de interés como una alternativa tecnológica, y para obtener productos novedosos para los consumidores. Además, estos nuevos productos podrían competir con los actuales del mercado y ser más accesibles para los consumidores.

## 2.2. Efecto de la Adición de Grasas en los Productos Cárnicos

Los productos cárnicos contienen ácidos grasos saturados (AGS), colesterol, sal y aditivos, que, al ser consumidos, se relacionan con enfermedades crónicas como cardiovasculares, cáncer intestinal y colorrectal (Manassi *et al.*, 2022). Estos mismos autores afirman que hay un aumento en la preocupación del consumidor por su salud, esto ha incentivado a la investigación en elaborar productos cárnicos con un menor contenido de grasas, sodio o colesterol. Las grasas y los aceites son esenciales en la dieta porque son una fuente de energía, de compuestos bioactivos y de vitaminas liposolubles como A, D y K (Munekata *et al.*, 2020). Sin embargo, la grasa comúnmente utilizada presenta mayor sabor, palatabilidad y genera placer al comer, de esta manera es difícil eliminarla de la dieta de los consumidores (Munekata *et al.*, 2020). En cambio, la carne tiene poco contenido de AGP, por lo que sustituir grasa por aceites vegetales es un reto. El uso de aceites vegetales, podría afectar las propiedades tecnológicas y sensoriales, así como el reducir la vida útil debido a que son susceptibles a oxidarse (Afshari *et al.*, 2017). El uso de aceites con alto contenido de AGP, como aceite de canola, aguacate y aceite de cártamo, podría ser una alternativa para reemplazar parcialmente la grasa animal en las formulaciones de productos cárnicos emulsionados, y mejorar el perfil lipídico aumentando el contenido de ácidos grasos mono y poliinsaturados (Lima *et al.*, 2022).

En un estudio donde se adicionó aceite de orujo de oliva y aceite de canola en hamburguesa de res mejoró el perfil de ácidos grasos, sin embargo, afectó las propiedades sensoriales (Los *et al.*, 2020). Se realizó otro estudio donde incorporaron aceites de canola y linaza en salchichas, se logró buenas características de estabilidad de emulsión y calidad sensorial, además aumentó el contenido de ácidos grasos omega-3 (Baek *et al.*, 2016). Macías Fuyo & Rodríguez Parra (2021) utilizaron aceite de aguacate en salchichas tipo Frankfurt en donde afectó el color del producto final, pero tuvo una mayor aceptabilidad. Por lo que, el adicionar aceites en productos cárnicos puede ser una buena alternativa para mejorar el perfil de ácidos grasos y tener mejores propiedades nutricionales, sin embargo, los procesos de oxidación pueden afectar la calidad del producto, de esa manera incorporar antioxidantes podrían retrasar los procesos oxidativos debido a que estabilizan radicales libres.

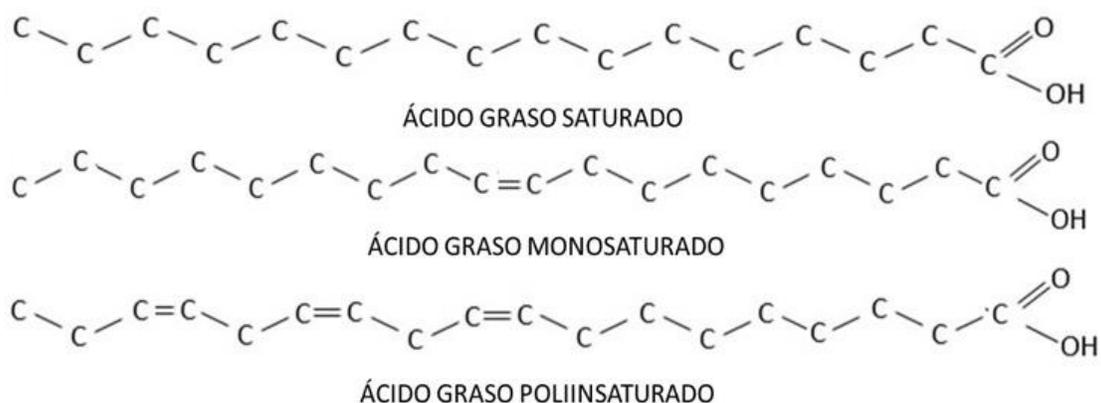
Una alternativa para incorporar aceites en productos cárnicos es el método de pre-emulsificación, el cual es una técnica que se realiza previamente a la mezcla de grasa/aceite en forma emulsionada antes de su introducción en un producto cárnico (Asyrul-Izhar *et al.*, 2022). El procedimiento de pre-emulsión existente para los productos cárnicos elaborados consiste en homogeneizar el aceite y el agua con un emulsionante, que suele ser una proteína de origen no cárnico (Youssef & Barbut, 2011). La incorporación de aceites más saludables a las formulaciones se contabiliza como una de las estrategias útiles para reemplazar la grasa animal. Las pre-emulsiones brindan una gran oportunidad para incorporar aceites vegetales más saludables a los sistemas cárnicos para aumentar el contenido de AGM y AGP. El agregar aceites vegetales directamente a la formulación del producto puede tener problemas tecnológicos y pérdida de calidad en los productos cárnicos (Serdaroğlu *et al.*, 2017). El utilizar estabilizadores de proteínas no cárnicas para emulsionar el aceite, así como la proteína aislada de soya, mejora la resistencia de la matriz proteica y la estabilidad del producto.

### 2.3. Consumo de Ácidos Grasos y su Impacto en la Salud

Los ácidos grasos (AG) son ácidos carboxílicos constituidos por una cadena de carbonos e

hidrógenos no ramificada con un número par de átomos de carbono. Los ácidos grasos se clasifican en tres clases dependiendo del grado de insaturación: saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, los cuales se muestran en la Figura 1. Los AGP se clasifican como omega 3, omega 6 y omega 9, debido a la posición del primer doble enlace del grupo metilo terminal del ácido graso (Lima *et al.*, 2022). La mayoría de las grasas en los alimentos son triglicéridos, que es una unidad de glicerol unida a tres ácidos grasos. Las grasas saturadas incrementan la probabilidad de sobrepeso y el desarrollo de enfermedades cardiovasculares debido a la producción de colesterol y de lipoproteínas de baja densidad (Baek *et al.*, 2016). Se ha reportado que el consumo de ácidos grasos omega-3 reduce la probabilidad de enfermedades cardiovasculares. Mismos colaboradores informan que una de las principales funciones del omega-6 son la formación de las membranas celulares, síntesis hormonal, el funcionamiento del sistema inmunitario y la transmisión de los impulsos nerviosos. De esta manera, el consumir estos aceites incorporados en productos cárnicos puede ser una ventaja y beneficio para la salud del consumidor.

El aumento en el consumo de los AGM y AGP y la disminución de AGS ayuda a reducir las enfermedades cardiovasculares a través de la reducción de la síntesis de colesterol. De este modo, el consumo elevado de estos ácidos grasos puede ser más beneficioso para reducir los niveles de colesterol sérico que una dieta baja en grasas sola. Los ácidos grasos omega-9 son uno de los principales AGM que se encuentran en fuentes vegetales y animales. Se sintetizan de manera endógena en los humanos, sin embargo, aun así no compensan totalmente los requerimientos del cuerpo (Farag *et al.*, 2022). Este ácido graso, modula el sistema inmunitario mediante la activación de varias vías celulares inmunocompetentes. El ácido oleico también controla la resistencia a la insulina y diabetes mellitus tipo al mejorar la función de las células  $\beta$  y las funciones endoteliales, el estrés oxidativo, la función hipotalámica, la apoptosis y la desregulación de las enzimas (López-Gómez *et al.*, 2020). Por otro lado, el aceite de oliva virgen, puede ayudar a prevenir la inflamación, la disfunción mitocondrial, la resistencia a la insulina y el estrés oxidativo al activar varias vías de señalización en las células del parénquima hepático (Farag *et al.*, 2022).



**Figura 1.** Clasificación de los ácidos grasos por su saturación. Adaptado de Frankel, 2005

### 2.3.1. Grasa de Res Incorporada en Productos Cárnicos

La grasa de res se ha usado como ingrediente por sus ventajas tecnológicas ya que mejora el sabor, textura y jugosidad de los productos cárnicos; sin embargo, la grasa de res tiene un alto contenido de AGS (Pérez-Báez *et al.*, 2021). Estos AGS son factores de riesgo para el desarrollo de enfermedades crónicas como diabetes y cardiovasculares. La grasa en los productos cárnicos es esencial para la formación de las emulsiones, mejorar la capacidad de retención de agua y contribuir en su calidad organoléptica (Nieto & Lorenzo, 2021). Una de las tendencias actuales es el reducir su consumo debido a que la grasa saturada de la carne de res se ha relacionado con el riesgo de desarrollar diversos tipos de cáncer (Pérez-Báez *et al.*, 2021). Por otro lado, la grasa de res es susceptible a la oxidación produciendo radicales libres cuando es sometida a un proceso de cocción o condiciones prooxidantes como luz, oxígeno entre otros. Además, el exceso de la ingesta de la carne aumenta los triglicéridos en el plasma que se relaciona con el riesgo de padecer enfermedad de las arterias coronarias (Nieto & Lorenzo, 2021). La grasa de res puede ser sustituida por AGP en productos cárnicos, los cuales puedan concederle beneficios a la salud del consumidor y mejorar su perfil lipídico y con ello contribuir a la prevención de enfermedades crónico-degenerativas.

### **2.3.2. Ácidos Grasos Poliinsaturados: Beneficios en la Salud e Incorporación en Productos Cárnicos**

El consumo de aceites ricos en ácidos grasos de cadena larga como los AGP con potencial funcional, ciertos aceites vegetales, tales como aceite de aguacate, oliva, cártamo son reconocidos por tener antioxidantes como tocoferoles y fitoesteroles (De la Rosa, 2014). Los lípidos funcionales vegetales son moléculas orgánicas hidrofóbicas y tienen distintas funciones en el organismo, además de su valor nutricional. Los ácidos grasos omega-3 tienen la posibilidad de reducir las enfermedades cardiovasculares, la diabetes y tienen efecto antiinflamatorio. Ciertos aceites tienen fitoesteroles que mimetizan al colesterol por lo que disminuye la absorción de grasas (Lima *et al.*, 2022). En los últimos años se ha incrementado el interés por el consumo de AGP debido a los beneficios a la salud que se han asociado como la prevención de trastornos cardiovasculares, cáncer y artritis inflamatoria (De la Rosa, 2014).

Debido a la estructura y el grado de insaturación los aceites son susceptibles a la oxidación. Además, la presencia de compuestos prooxidantes como la luz, calor y oxígeno molecular son factores que afectan la estabilidad oxidativa de los lípidos (Gruffat *et al.*, 2021). Los ácidos grasos altamente insaturados como los omega-3 son más susceptibles a la oxidación y generan los productos de degradación (Vieira *et al.*, 2017). Estos mismos autores describen que esto se debe a que los ácidos grasos más insaturados producen aldehídos, y estos aldehídos pueden interaccionar con sustratos oxidables como proteínas, membranas celulares y ADN (Vieira *et al.*, 2017). Por lo tanto, es necesario reducir o inhibir esos procesos de oxidación con la incorporación de compuestos antioxidantes naturales, los cuales se ha demostrado que pueden llevar a cabo ese mecanismo de reducción del proceso de oxidación.

2.3.2.1. Aceite de cártamo y aguacate. El aceite de cártamo se caracteriza por tener en su composición alrededor de un 71.6% de AGM, 13.8% de AGP, y el resto son AGS (USDA, 2021). En el Cuadro 1 se muestra el contenido de ácidos grasos en aceite de cártamo y aguacate. El AGS en mayor proporción es el ácido palmítico, el AGM en mayor cantidad es el oleico y el AGP que

se encuentra principalmente en el aceite de cártamo es el ácido linoleico. El consumo de aceite de semilla de cártamo representa una excelente fuente de energía, puede ayudar a la prevención y el tratamiento de la hiperlipemia, la arteriosclerosis y la enfermedad coronaria; además ayuda a reducir el nivel de colesterol en la sangre (Angulo Murrieta 2019). Por otro lado, el aceite de cártamo es muy estable al calentarse y no desprende olor a humo durante la fritura. Sin embargo, si se oxida y se consume, puede afectar la salud; o si se utiliza como ingrediente en algún alimento, puede disminuir la vida de anaquel del producto debido a los compuestos volátiles que se generan o compuestos no volátiles que afectan el sabor en los alimentos (Angulo Murrieta 2019). Uno de los principales compuestos bioactivos presentes en el aceite de cártamo son los tocoferoles como el beta-tocoferol, carotenoides, compuestos fenólicos (ácidos siríngicos y ácido vanílico).

El aceite de aguacate contiene AGM alrededor del 69.4%, Posee una menor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados (16.6%) y saturados (14%). El ácido graso que se encuentra en mayor proporción en el aceite de aguacate es el ácido oleico (60%), el cual es un AGM de cadena larga omega-9; el AGS principal es el ácido palmítico; el AGP que se encuentra en mayor proporción es el ácido linoleico. Por otro lado, el aceite de aguacate contiene antioxidantes naturales tales como tocoferoles como el alfa tocoferol y CF (*p*-cumárico, gálico y quercetina) lo que brinda resultados positivos en términos de valor nutricional y estabilidad oxidativa (Rodríguez-Carpena *et al.*, 2012). La inclusión de aceite de aguacate en la dieta mejora el metabolismo del colágeno de la piel (Furlan *et al.*, 2017). Además, el aceite de aguacate contiene vitaminas liposolubles, incluidas las vitaminas A y E y precursores de la vitamina D (Baur *et al.*, 2016).

**Cuadro 1.** Contenido de ácidos grasos\* en aceite de cártamo y aguacate.

	AGS	AGM	AGP	C18:1 (n-9)	C18:2 (n-6)	C18:3 (n-3)
Aceite de cártamo	7.6	71.6	13.8	71	13.6	0.1
Aceite de aguacate	11.6	71.4	14.3	67.9	12.5	1.0

\* Valores expresados en porcentajes respecto al total de ácidos grasos identificados

AGS: ácidos grasos saturados, AGM: ácidos grasos monoinsaturados, AGP: ácidos grasos poliinsaturados

Fuente: USDA, 2021.

## 2.4. Oxidación de Lípidos y Proteínas en Carne y Productos Cárnicos

La carne de res es un producto muy consumido por la población, asimismo la industria alimentaria de la carne debe garantizar la calidad del producto cuando es entregado al mercado (Al-Dalali *et al.*, 2022). Para la elaboración de productos cárnicos como las hamburguesas, la carne de res pasa por el proceso de molienda, la cual puede ser utilizada para la innovación de productos cárnicos mediante la incorporación de nuevos ingredientes. Sin embargo, la carne molida sufre cambios oxidativos y se convierten en productos rancios ya que el proceso de molienda expone la superficie del músculo al aire y las membranas lipídicas a los catalizadores de oxidación de metales como el hierro (Zahid *et al.*, 2018). La principal causa de degradación en la carne almacenada es la oxidación de lípidos. Las reacciones oxidativas involucran la pérdida de calidad de la carne afectando el sabor, el valor nutricional, el color y la textura. Sin embargo, varios aceites son ricos en AGP y son sensibles al daño oxidativo durante el almacenamiento y la digestión gastrointestinal (Al-Dalali *et al.*, 2022). De esta manera, la utilización de compuestos antioxidantes podría retardar estos procesos de oxidación de lípidos.

### 2.4.1. Mecanismo de la Oxidación Lipídica

La oxidación de lípidos es un proceso por el cual se oxidan los ácidos grasos insaturados y se forman hidroperóxidos que son más susceptibles a la oxidación (Kumar *et al.*, 2015). Los lípidos pueden oxidarse por la vía de la autooxidación que es una reacción en cadena continua de radicales libres, y es el proceso más común de oxidación de lípidos en la carne (Domínguez *et al.*, 2019). La oxidación de lípidos es una reacción en cadena de radicales libres y consta de tres etapas: iniciación, propagación y terminación. Los componentes del tejido muscular como el hierro, mioglobina del músculo y peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) pueden causar la oxidación de lípidos, estos actúan como catalizadores y forman especies reactivas de oxígeno (ERO) (Kumar *et al.*, 2015). Los AGP que se encuentran en los fosfolípidos de las membranas celulares de las carnes son los principales en causar el enranciamiento oxidativo (Ribeiro *et al.*, 2019). Mismos autores informan que este

proceso provoca sabores desagradables, decoloración, la producción de sustancias tóxicas como el malonaldehído y los óxidos de colesterol.

Para que comience la reacción es necesario la presencia de la interacción entre el oxígeno triplete, la luz y los fotosensibilizadores debido a que el oxígeno y los AG se encuentran en diferentes estados electrónicos (Ribeiro *et al.*, 2019). Por lo tanto, una vez que reacciona el oxígeno en estado triplete cambia a oxígeno singlete ( $^1\text{O}_2$ ) (Domínguez *et al.*, 2019; Ribeiro *et al.*, 2019). La iniciación comienza una vez activado el oxígeno singlete y puede reaccionar con los ácidos grasos insaturados, eliminando un átomo de hidrógeno, por lo que tiende a estabilizarse mediante un reordenamiento de doble enlace para formar dienos conjugados lo que conlleva a la formación de radicales libres (Ribeiro *et al.*, 2019).

La propagación se produce por la reacción de los radicales libres de los AG con el oxígeno, formando radicales peróxido e hidroperóxidos (Ribeiro *et al.*, 2019). El radical peroxi es reactivo y puede extraer hidrógeno de un ácido graso insaturado vecino y da como resultado un hidroperóxido y un radical alquilo y propagar la reacción en cadena (Maya *et al.*, 2013). El nuevo radical alquilo va a reaccionar de nuevo con el oxígeno molecular y conlleva a la formación de nuevos radicales peroxi y se repite de nuevo. La reacción continúa y finaliza cuando no hay ácidos grasos insaturados y oxígeno (Domínguez *et al.*, 2019). De esa manera, causa la formación de productos finales estables, que son derivados de la descomposición de los hidroperóxidos, como los alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y otros hidrocarburos (Ribeiro *et al.*, 2019). De igual modo, un antioxidante podría transferir un átomo de hidrógeno a los radicales derivadas de la oxidación de lípidos. Esta reacción podría neutralizar el radical lipídico, por lo que formaría un radical mucho menos reactivo.

Aunque la carne no se considera como una matriz altamente oxidada debido al bajo contenido de AGP, la carne y los productos cárnicos presentan cambios oxidativos en el almacenamiento, procesamiento, digestión y metabolización, lo que los convierte en una fuente de agentes oxidantes (Macho-González *et al.*, 2020). Sin embargo, el enriquecimiento de la carne en AGP omega-3 hace que sea vulnerable al proceso de oxidación lipídica por lo que conlleva al deterioro de la carne (Gruffat *et al.*, 2021). Estos cambios que se presentan en los productos cárnicos como el cambio de color, textura, sabores y olores a rancio pueden causar el rechazo por parte de los consumidores

(Pateiro *et al.*, 2021). Por lo que es necesario, buscar alternativas para que estos AGP se mantengan estables por medio de un compuesto antioxidante.

#### **2.4.2. Oxidación de Proteínas en Productos Cárnicos**

Los lípidos y las proteínas son susceptibles de oxidación, siendo responsables de la pérdida de propiedades organolépticas y nutricionales en este tipo de alimentos. Además, la presencia de metales de transición como el hierro hemo contribuye en gran medida a la formación de estos productos no deseados (Macho-González *et al.*, 2020). Las carnes al cocinarlas liberan metales ligados a las proteínas, inactivan las enzimas antioxidantes y alteran físicamente las membranas lipídicas (Vieira *et al.*, 2017). La oxidación implica la modificación por radicales libres de los grupos de la cadena lateral de aminoácidos (sulfhidrilos y aminos), enlaces peptídicos y fuerzas intramoleculares que mantienen la estructura de las proteínas (Xiong & Guo, 2020). Otras especies de oxígeno, como los productos secundarios de la peroxidación lipídica, pueden inducir la oxidación de proteínas al unirse con grupos reactivos de la cadena lateral (Macho-González *et al.*, 2020). Los lípidos y las proteínas son susceptibles de oxidación, por lo que afecta las propiedades organolépticas y nutricionales en alimentos, de esa manera es necesario el uso de compuestos que disminuyan la oxidación de estos sustratos.

#### **2.4.3. Proceso de digestión: Consecuencias de la Oxidación Lipídica y Proteica en la Salud**

La digestión es el proceso a través del cual el cuerpo humano ingiere, digiere los alimentos, absorbe los nutrientes liberados por el torrente sanguíneo y los transporta a las células del cuerpo y excreta los componentes de los alimentos que no son digeribles. Sin embargo, dependiendo del tipo del alimento ocurren diferentes reacciones y generación de compuestos, los cuales pueden beneficiar o afectar la salud. Durante el cocinado del alimento o durante el proceso de digestión, se generan compuestos por la lipoperoxidación, tales como 4-hidroxi-2-hexenal (HHE), 4-hidroxi-2-nominal

(HNE), malondialdehído (MDA), que pueden tener impactos importantes en la salud del consumidor (Han *et al.*, 2022). La formación de compuestos reactivos derivados de los productos de la oxidación lipídica puede ser preocupante si se presentan en cantidades elevadas (Nieva-Echevarría *et al.*, 2020). Los alimentos que entran al sistema digestivo son degradados a sus componentes más sencillos para poder absorberse. Durante este proceso, se producen compuestos que pueden ser nocivos para la salud e incluyen aniones superóxido, peróxido, radicales hidroxilo denominados colectivamente especies reactivas de oxígeno (ERO) (Han *et al.*, 2022). Cuando las ERO o radicales libres se encuentran en gran cantidad y no hay suficientes antioxidantes para eliminarlas se le llama estrés oxidativo. Este factor está relacionado en el origen de las enfermedades degenerativas entre ellas la aterosclerosis, el cáncer, inflamación y procesos de envejecimiento (Domínguez *et al.*, 2019; Macho-González *et al.*, 2020).

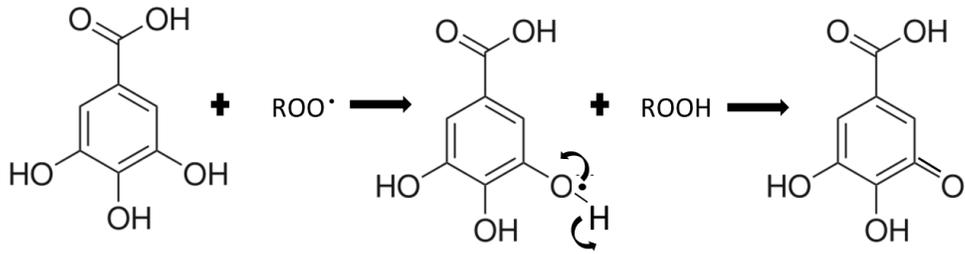
Un alto consumo de la carne y productos cárnicos puede inducir a la formación de especies reactivas de oxígeno (ERO) en el tracto gastrointestinal (Macho-González *et al.*, 2020). Estos mismos autores informan que los ERO son generados debido a la descomposición de hidroperóxidos de lípidos como lo son aldehídos, cetonas y epóxidos reactivos, los cuales son compuestos citotóxicos. Cuando estos se forman en el estómago, se absorben fácilmente por el intestino y pueden interaccionar con sustratos oxidables como lo son las proteínas y lípidos para formar productos finales de oxidación de lípidos (Vieira *et al.*, 2017). Estas interacciones con proteínas y receptores fomentan el estrés oxidativo celular, mediadores inflamatorios y las enfermedades crónicas.

Las condiciones del estómago como la presión de oxígeno, el bajo pH y las condiciones reductoras, pueden ayudar a favorecer la producción de ERO como los radicales superóxido e hidroxilo (Vieira *et al.*, 2017). En el tracto digestivo ocurre la degradación de los alimentos e hidrólisis de proteínas, de esa forma hace que los aminoácidos sean más sensibles a compuestos muy reactivos (de La Pomélie *et al.*, 2017). La carne roja contiene hierro hemo, de esa manera puede catalizar la reacción de Fenton, por lo que lleva a cabo la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) y la oxidación de AGP (Van Hecke *et al.*, 2017). Ante esta situación, es necesario el buscar alternativas las cuales puedan tener un efecto en el proceso de oxidación ya sea inhibirlo o retrasarlo, como el caso de incorporar antioxidantes naturales.

## 2.5. Antioxidantes Naturales Contra la Oxidación Lipídica en Carne y sus Productos

En los productos cárnicos, los antioxidantes sintéticos se emplean para prevenir la oxidación y preservar los atributos sensoriales. Entre ellos, se han utilizado el butil hidroxitolueno (BHT), el butil hidroxianisol (BHA); sin embargo, han sido identificados como agentes toxicológicos y cancerígenos en varios estudios (Kumar *et al.*, 2015). Por lo que, el uso de antioxidantes naturales en productos cárnicos parece una buena opción para reducir la oxidación lipídica (Aminzare *et al.*, 2019). Actualmente los antioxidantes naturales cada vez son más populares en la industria cárnica, debido a que los consumidores los perciben como saludables y generalmente reconocidos como seguros (GRAS) (Munekata *et al.*, 2020). La mayoría de los antioxidantes naturales importantes son ácido ascórbico, betacaroteno, tocoferoles, flavonoides y ácidos fenólicos, generalmente comunes en fuentes vegetales (Aminzare *et al.*, 2019).

Los antioxidantes previenen la oxidación lipídica evitando la reacción en cadena, eliminando las ERO, extinguiendo radicales  $O_2^-$  y evitando la formación de peróxidos; además pueden quelar metales (Kumar *et al.*, 2015). La actividad antioxidante de estos compuestos es a causa de la estructura molecular, grupos -OH y estructuras orto-3,4-dihidroxi las cuales incrementan la actividad antioxidante de los componentes naturales a causa de los grupos -OH, que pueden donar  $H\cdot$  como se muestra en la Figura 2 (Aminzare *et al.*, 2019). Los fenoles presentes en los antioxidantes naturales tienen una fuerte actividad donadora de H o tienen capacidad de absorción de radicales (Kumar *et al.*, 2015). Los principales fenoles antioxidantes son: ácidos fenólicos, diterpenos fenólicos, flavonoides y aceites volátiles. Algunos ácidos fenólicos, flavonoides y fenoles previenen la formación de radicales libres y la propagación de ERO, otros eliminan los radicales libres y quelan metales de transición (Aminzare *et al.*, 2019). Por el número y la ubicación de los grupos hidroxilo (-OH) presentes en los flavonoides deciden el potencial de eliminación de radicales libres. La presencia de múltiples grupos -OH y estructuras orto-3,4-dihidroxi aumenta el potencial antioxidante (Kumar *et al.*, 2015). De esta manera, el utilizar antioxidantes naturales sería una buena opción para la reducción de la oxidación de sustratos oxidables como proteínas y lípidos.



**Figura 2.** Mecanismo de acción antioxidante de compuestos fenólicos. Adaptado de Kumar et al. (2015).

En la actualidad, se ha prestado especial atención a muchas plantas como la fuente más común de antioxidantes para la conservación, así como para mejorar la calidad nutricional, convirtiendo la carne en “carne funcional” (Mireles-Arriaga *et al.*, 2017). Estos compuestos aumentan la vida de anaquel de los alimentos a los que se les adiciona al inhibir la oxidación de lípidos, proteínas y pigmentos, preservando atributos como el color, la textura, el aroma, el sabor y la calidad general del producto. Varias investigaciones se han llevado a cabo en los últimos años buscando el uso de extractos de especias, frutas y residuos vegetales como antioxidantes en productos cárnicos (Kumar *et al.*, 2015).

En un estudio encontraron que el extracto de cáscara de mango en salchicha de pollo retrasó la oxidación de lípidos en comparación con el control en almacenamiento a 4 °C durante al menos 10 días (Manzoor *et al.*, 2022). También se ha utilizado cáscara de aguacate en hamburguesas de a base de carne de res y soya, donde redujo el contenido de TBARS en hamburguesas cocidas de carne de res/soya (Trujillo-Mayol *et al.*, 2022). Otro estudio evaluó la incorporación de hierbas y especias que cuando son agregadas antes del calentamiento de la carne mostró ser más eficaz para limitar la oxidación durante la digestión, en comparación con agregar estos compuestos después del calentamiento (Van Hecke *et al.*, 2017). Se han utilizado pimienta rosa, verde y negra, en carne de pechuga de pavo a la plancha cocida, donde los tres tipos de pimienta agregados antes de la cocción resultó en niveles más bajos de hidroperóxidos lipídicos que después de la digestión (Martini *et al.*, 2021). En este sentido, el agregar antioxidantes naturales puede ser una buena opción para reducir los niveles de oxidación aun así pasando por procesos de digestión. Una alternativa puede ser la utilización de subproductos debido a su contenido de compuestos bioactivos.

### 2.5.1. Impacto Ambiental de Subproductos del Mango y su Aprovechamiento

La industria agroalimentaria ha producido gran cantidad de subproductos los cuales generalmente no tienen uso adicional y normalmente se desperdician; representan alrededor del 40% del alimento fresco y generan contaminación al medio ambiente. Por ello, existe una preocupación por la mejora en la sostenibilidad de la industria alimentaria y solución a los problemas medioambientales que generan estos residuos. Un uso potencial de dichos residuos, sería la obtención de compuestos bioactivos presentes en estos subproductos (Zafra Ciprián *et al.*, 2021). Las industrias que procesan las frutas desechan toneladas de subproductos entre ellos las cáscaras y las semillas, debido a que no son considerados como productos que se consumen, por lo que han ocasionado problemas de contaminación al medio ambiente (Rodríguez *et al.*, 2018). De esta manera, es una fuente de contaminación por la producción de metano y una fuente de carbono para la proliferación de microorganismos (Sumaya-Martínez *et al.*, 2019). En el ámbito frutícola, destaca la industria del mango pues el consumo de esta fruta es muy popular ya sea de manera fresca o procesada.

El mango (*Mangifera indica L.*) cv. 'Ataulfo' es de origen mexicano, se cultiva en la región sur del país para mercados nacionales e internacionales (Quirós-Sauceda *et al.*, 2019), y su procesamiento genera importantes cantidades de subproductos con un impacto al ambiente si no son adecuadamente aprovechados. Las cáscaras y semillas de mango representan del 35 al 60% del peso total de la fruta y la producción anual de mango es de alrededor de 41.5 millones de toneladas, por lo que se producen entre 15 y 25 millones de toneladas de cáscaras y huesos (Marçal *et al.*, 2021). Sin embargo, estos subproductos contienen compuestos bioactivos los cuales podrían ser utilizados como ingredientes para la elaboración de productos cárnicos con potencial efecto benéfico a la salud. Las cáscaras de mango pueden ser reutilizadas como fuente de ingredientes funcionales y conservantes naturales debido a que tienen altas cantidades de fibra, ácido ascórbico, tocoferoles, CF y carotenoides (Marçal *et al.*, 2021). Estos compuestos tienen efectos benéficos para la salud a causa de sus propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas, antioxidantes y anticancerígenas. En este sentido, los subproductos de la fruta del mango pueden tener efectos benéficos a la salud y además su utilización podría favorecer la economía y un impacto benéfico al medio ambiente.

## **2.5.2. Potencial de la Cáscara de Mango como Ingrediente Funcional y Capacidad Antioxidante**

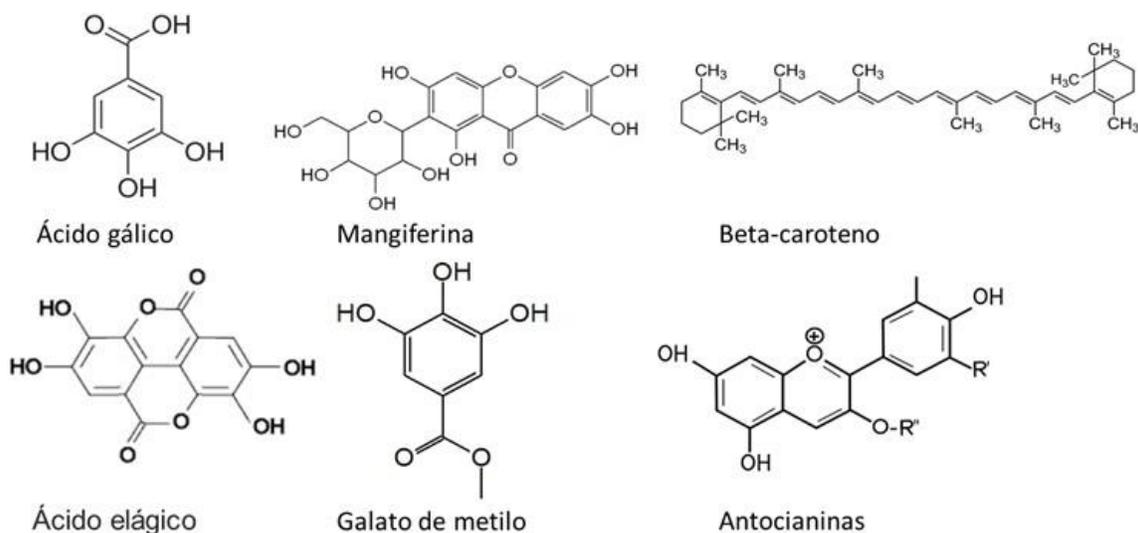
La cáscara de mango constituye entre el 15 y 18% del peso total del fruto y, de acuerdo con los reportes científicos, es una excelente fuente de compuestos bioactivos (Dorta *et al.*, 2012). La cáscara de mango es rica en fibra dietaria, pectina, celulosa y hemicelulosa, azúcares reductores, carotenoides, vitamina C y compuestos fenólicos, los cuales pueden actuar como antioxidantes (Rodríguez *et al.*, 2018). La cáscara de mango puede ser reutilizada como fuente de ingredientes funcionales y conservantes naturales. La cáscara y la semilla tienen un aporte de micronutrientes mayores al de pulpa; el contenido de vitamina A y C es mayor en el consumo de estos tejidos vegetales (Rodríguez *et al.*, 2018). La reutilización de la cáscara de mango en el desarrollo de nuevos alimentos representa una fuente alternativa de ingresos para las industrias procesadoras de mango con el beneficio extra de reducir los desechos biológicos (Marçal *et al.*, 2021).

El mango cv. Ataulfo es una variedad mexicana muy consumida, y tiene el mayor contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante a diferencia de otras variedades (Pacheco-Ordaz *et al.*, 2018). Está documentado que tienen altas cantidades de fibra, mangiferina, ácido gálico, ácido elágico, galato de metilo y carotenoides (Figura 3). De acuerdo con sus estructuras moleculares, los CF de la cáscara del mango se pueden agrupar en: xantonas, benzofenonas, ácido gálico, galatos y galotaninos, flavonoides, ácidos cinámicos y derivados, ácidos elágicos y otros ácidos fenólicos. El contenido de polifenoles en la cáscara se encuentran niveles más altos en la cáscara madura que en la verde (Tirado-Kulieva *et al.*, 2021). En la cáscara de mango se han detectado derivados del ácido gálico como galoil glucosa, éster de digalato, de metilo y galato de metilo (Quirós-Sauceda *et al.*, 2019). También se identificaron en la cáscara compuestos como ácido gálico 3-O-galato, tetragaloil glucosa, entre otros derivados (Ordoñez-Torres *et al.*, 2021).

Los radicales libres oxidan el ADN, las proteínas, los lípidos y otros compuestos en los organismos vivos, lo que puede estar relacionado con la aparición de enfermedades cancerosas, cardiovasculares y respiratorias (Tirado-Kulieva *et al.*, 2021). El mango ha llamado la atención por su cantidad y variedad de polifenoles, y su potencial antioxidante (Tirado-Kulieva *et al.*, 2021). La

cáscara de mango cv Ataulfo tiene buena capacidad antioxidante, debido a su alto contenido de CF, los cuales fácilmente pueden donar electrones y/o átomos de hidrógeno (Quirós-Sauceda *et al.*, 2019). Los CF estabilizan los radicales libres cediendo átomos de hidrógeno o electrones, así como quelando metales importantes para la oxidación de enzimas (Zafra Ciprián *et al.*, 2021). Otro modo de acción antioxidante de los CF es su efecto inhibitor sobre la formación de hidroperóxidos de la peroxidación lipídica de ácidos grasos, por ejemplo, un AGM, impidiendo su oxidación por radicales libres de oxígeno (Tirado-Kulieva *et al.*, 2021).

En un estudio donde se evalúa el contenido de fenoles de cáscara de distintas frutas variaron considerablemente, destacando que las muestras de cáscara de mango fueron mayores ( $27,51 \pm 0,63$  mg GAE/g,) a la par con toronja ( $27,22 \pm 1,00$  mg GAE/g,) y lima ( $23,32 \pm 2,07$  mg GAE/g,) (Suleria *et al.*, 2020). Los contenidos fenólicos más bajos se detectaron en las cáscaras de pitahaya, nectarina y maracuyá. Al comparar todas las muestras de cáscara, la muestra de cáscara de mango tenía un contenido fenólico significativamente mayor que cualquier otra cáscara de fruta. De esta manera la utilización de este subproducto puede ser beneficioso en la salud o tener un mejor efecto en la adición de alimentos que sean susceptibles a oxidarse.



**Figura 3.** Estructura de compuestos bioactivos encontrados en la cáscara de mango. Adaptado de: Orduñez-Reyes (2021)

### 2.5.3. Cáscara de Mango Durante la Digestión

Los beneficios de los compuestos bioactivos dependen de su absorción a lo largo del tracto gastrointestinal (Quirós-Sauceda *et al.*, 2019). La mayoría de los CF se encuentran unidos a otras estructuras como las proteínas y la fibra, por lo que son necesarios pretratamientos previos a la extracción para obtener el perfil fenólico completo del tejido vegetal (Pacheco-Ordaz *et al.*, 2018). Los CF primero deben ser liberados, esto quiere decir que sean bioaccesibles de la matriz alimentaria, después tienen que ser absorbidos por el epitelio intestinal y liberados al torrente sanguíneo (biodisponibilidad), o ser metabolizados por las bacterias colónicas en diferentes metabolitos (Quirós-Sauceda *et al.*, 2019). Los mecanismos de liberación y absorción de los compuestos dependen de su naturaleza química y su asociación con la matriz alimentaria, por lo que algunos pueden ser más bioaccesibles y biodisponibles que otros. Existen varios factores que regulan la eficiencia de absorción de CF como su estructura molecular, concentración, grado de maduración de la fruta, tratamientos, procesamiento, entre otros (Quirós-Sauceda *et al.*, 2019).

La mayoría de los CF del mango se liberan en la fase gástrica y la fase intestinal, causado por hidrólisis enzimática que ocasiona el rompimiento de enlaces. También ocurre una hidrólisis ácida de los glucósidos de fenol a sus correspondientes aglicones durante la digestión gástrica (Quirós-Sauceda *et al.*, 2019). La bioaccesibilidad y la actividad de los antioxidantes se ven muy afectadas por las condiciones enzimáticas y químicas en los diferentes compartimentos del tracto gastrointestinal (de La Pomélie *et al.*, 2017). Los estudios sobre la digestión de alimentos en organismos vivos son limitados, tardados y de costos elevados. Por tal razón, es común llevar a cabo estos estudios utilizando técnicas alternativas como la de digestión simulada o *in vitro*. La técnica de digestión *in vitro* proporciona resultados precisos en poco tiempo y de un modo más económico, simula las condiciones de las etapas del proceso de digestión, poniendo en contacto al alimento con una serie de fluidos gastrointestinales simulados (Andrés Andrés *et al.*, 2019).

En el desarrollo de productos cárnicos funcionales, los estudios de digestión son importantes pues proporcionan información valiosa sobre la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de compuestos activos contenido en los nuevos ingredientes que se están probando (Van Hecke *et al.*, 2017).

Durante la digestión de un alimento cárnico, su susceptibilidad a la oxidación es mayor a medida que aumenta el contenido de hierro-hemo, grasa total y AGP (Van Hecke *et al.*, 2017). La adición de antioxidantes naturales como la cáscara de mango en el desarrollo de productos cárnicos es una buena opción para disminuir la oxidación lipídica, tanto del producto en almacenamiento como durante su digestión. Su adición cobra mayor importancia si en el nuevo producto cárnico se busca un mejor perfil nutricional al sustituir la grasa saturada por aceites vegetales como el de cártamo o aguacate que son más propensos a la oxidación. Estudios donde se emplea la técnica de digestión *in vitro*, proporcionan información valiosa que permite evidenciar los efectos antioxidantes que ejercen los nuevos ingredientes como la cáscara de mango en los productos cárnicos a los que se les ha sustituido la grasa saturada por aceites vegetales.

### **3. HIPÓTESIS**

La adición de cáscara de mango cv. Ataulfo en hamburguesas de res formuladas con aceite de cártamo y aguacate mejora la calidad fisicoquímica durante el almacenamiento en refrigeración y retrasa la oxidación lipídica durante la digestión simulada.

## **4. OBJETIVOS**

### 4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la adición de cáscara de mango (CM) y tipo de lípido en hamburguesas de res sobre la calidad fisicoquímica durante el almacenamiento en refrigeración y la reducción de la oxidación lipídica durante la digestión simulada.

### 4.2. Objetivos Específicos

Caracterizar las hamburguesas de res en crudo, grasa de res, aceite de cártamo y aceite de aguacate en términos de sus características fisicoquímicas, y la CM cv. Ataulfo por fenoles totales y capacidad antioxidante.

Determinar los efectos e interacciones de CM y tipo de lípido en hamburguesas de res sobre su calidad fisicoquímica durante el almacenamiento en refrigeración.

Evaluar los efectos de CM y tipo de lípido sobre la capacidad antioxidante, fenoles totales, prueba de TBA y ácidos grasos libres antes y después de la digestión simulada de hamburguesas de res.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Diseño Experimental

Se estudiaron los efectos principales e interacciones en un arreglo factorial 3 x 2 del tipo de lípido añadido (factor A con tres niveles: grasa de res, GR; aceite de cártamo, AC; y aceite de aguacate, AA) y adición de cáscara de mango (factor B con dos niveles, CM a 0 y 1%) sobre la calidad de hamburguesas de res. Los tratamientos que se evaluaron fueron: 1) GR + 0% CM, 2) AC + 0% CM, 3) AA + 0% CM, 4) GR + 1% CM, 5) AC + 1% CM, 6) AA + 1% CM. El trabajo se planeó en dos etapas. Durante la primera etapa de la investigación se realizó la caracterización de la materia prima (grasa de res, aceite de aguacate, aceite de cártamo y cáscara de mango) donde se evaluó el color instrumental, pH y fenoles totales y capacidad antioxidante para CM. De la misma manera, se realizó un estudio de calidad a través del tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2 °C durante 1, 4 y 8 días. Las evaluaciones que se realizaron en el tiempo 0 fueron: pérdida de peso por cocción, porcentaje de encogimiento, análisis proximal. Durante el tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2 °C, se evaluaron a los 1, 4 y 8 días: pH, color instrumental, análisis de perfil de textura y sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico. En la segunda etapa se evaluó la capacidad antioxidante, contenido de fenoles totales, ácidos grasos libres y sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico antes y después de la digestión gastrointestinal simulada de los tratamientos propuestos.

### 5.2. Obtención de Materia Prima

La carne de res se obtuvo de músculo *Semimembranoso* de bovino (pulpa bola) adquirido del comercio local, 24-48 h *postmortem*. La grasa de res y los aceites que se utilizaron en el experimento se obtuvieron en el mercado local de la región de Hermosillo, Sonora. Los aceites utilizados fueron aceite de aguacate (Olew®, México) y aceite de cártamo (Oleico®, México). Para

la cáscara de mango se compraron mangos de madurez comercial en diferentes tiempos y diferentes comercios locales de la región de Hermosillo, Sonora, los cuales se lavaron con jabón y agua, posteriormente se desinfectaron con hipoclorito de sodio 0.1% y se pelaron con un pelador de verduras. La cáscara del mango se congeló a  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  y después se liofilizó en un liofilizador de charolas (FreeZone 6 Liter Benchtop, Labconco Corporation., Kansas City, EUA) durante 72 h. Finalmente la cáscara liofilizada fue molida en un molino hasta obtener un polvo con un tamaño de partícula de aproximadamente 0.1 mm.

### 5.3. Elaboración de Pre-emulsiones

Se elaboraron las pre-emulsiones de aceite de cártamo y aceite de aguacate utilizando proteína aislada de soya, agua y aceite, siendo una relación de pre-emulsión 1 (proteína aislada de soya): 5 (aceite): 5 (agua). La pre-emulsión se realizó en una cutter (Kilia CO., Kiel, Alemania) añadiendo primeramente el agua, posteriormente se agregó la proteína aislada de soya poco a poco, y finalmente el aceite en forma de hilo. Formada la pre-emulsión, se envasó en un recipiente y se almacenó en refrigeración a  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  para su posterior uso al día siguiente.

### 5.4. Elaboración y Formulación de Tratamientos

La carne se molió y se le añadió 1% de sal, se mezcló manualmente por 30 s y se pesó en lotes de 3 kg. Cada una de las 6 formulaciones o tratamientos descritos en la sección 5.1, se prepararon con el 20% de material graso y CM según correspondió. Los componentes de cada formulación fueron mezclados manualmente durante 1 min para asegurar una incorporación homogénea. Las hamburguesas se formaron manualmente con ayuda de una placa de Petri como molde, quedando con un diámetro de 8 cm, un espesor de 1 cm y un peso aproximado de 60 g. Las hamburguesas fueron cocinadas en una parrilla precalentada a  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 3 min hasta alcanzar una temperatura interna de  $71\text{ }^{\circ}\text{C}$ , medida con un termopar insertado en el centro geométrico del

producto. A continuación, se enfriaron al ambiente hasta alcanzar una temperatura de 25 °C, para después determinar el porcentaje de encogimiento y pérdida de peso por cocción según se lo descrito en la sección 5.6. *Análisis Fisicoquímicos*. Posteriormente se empacaron y almacenaron a 2 °C para sus análisis posteriores durante los días 1, 4 y 8.

## 5.5. Caracterización Parcial de la Materia Prima

La materia prima (grasa de res, aceite de cártamo, aceite de aguacate, pre-mulsiones de aceites y cáscara de mango) fue caracterizada en términos de color instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) y pH. Además, se determinó el contenido de tocoferoles al aceite de aguacate y aceite de cártamo, y el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante (DPPH, TEAC, FRAP) a la cáscara de mango.

## 5.6. Análisis Fisicoquímicos de las Hamburguesas de Res

### 5.6.1. Análisis Proximal

Se determinó el contenido de humedad, grasa, proteína y ceniza por triplicado, utilizando los métodos establecidos por la AOAC (2000). La determinación de humedad se realizó utilizando una estufa de secado a una temperatura de 100 °C durante 16 h (Método 950.46). El contenido de ceniza se realizó en una mufla a 550 °C por 5 h (Método 920.153). La grasa se cuantificó por el método de extracción de Goldfish a partir de muestras secas (Método 960.39). Por último, el contenido de proteína se determinó por medio del método de Microkjeldahl (Método 981.10) a partir de muestras secas y desgrasadas.

### 5.6.2. Pérdida de Peso por Cocción

Se realizó la metodología descrita por Franco *et al.* (2008), se colocaron las hamburguesas en una parrilla durante 1 min por cada lado hasta alcanzar una temperatura interna de 71 °C. El porcentaje de pérdida de peso por cocción se obtuvo por diferencia de peso de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$(1) \quad \frac{P_c - P_{co}}{P_c} \times 100$$

Donde PC se refiere al peso crudo de la muestra (g), PCO es el peso cocido de la muestra (g).

### 5.6.3. Porcentaje de Encogimiento

Se determinó el porcentaje de encogimiento por la metodología descrita por Piñeiro *et al.* (2004). Se midió el diámetro de las hamburguesas crudas para después cocinarse siguiendo las indicaciones descritas anteriormente. Una vez frías, se midió nuevamente el diámetro y se calculó el porcentaje de encogimiento por diferencia

### 5.6.4. Análisis de Perfil de Textura

El análisis de perfil de textura se evaluó en un texturómetro Texture Analyzer TAXT2 (Stable Micro Systems, Ltd, Godalming, Surrey UK). Se siguió la metodología descrita por Bourne (2002). La evaluación se realizó en muestras cocinadas y a una temperatura de  $4 \pm 1$  °C. De cada hamburguesa se cortaron muestras de dimensiones uniformes (1x1x1 cm). Para los análisis se

utilizó un dispositivo de 75 mm de diámetro unido a una celda de carga de 50 kg, usando una doble compresión al 50% de deformación con una velocidad de cabezal de 5 mm/s, con tiempo de espera de 5 s entre compresión, generando una curva de fuerza vs tiempo para cada muestra analizada. Se evaluaron los siguientes parámetros: dureza (N), elasticidad (cm), cohesividad (adimensional) y masticabilidad (N x cm). La dureza se determinó por el pico máximo alcanzado durante la primera compresión. La elasticidad, se evaluó dividiendo la distancia desde el inicio de la segunda compresión hasta su pico máximo, entre la distancia del inicio de la primera compresión hasta su pico máximo. La cohesividad se obtuvo dividiendo el área bajo la curva de la segunda compresión entre el área bajo la curva de la primera compresión. La masticabilidad se calculó multiplicando los valores de dureza, elasticidad y cohesividad.

#### **5.6.5. Potencial de Hidrógeno (pH)**

La medición de pH se realizó directamente en las muestras de hamburguesa, utilizando un potenciómetro de punción HI98140 (Hanna, Woonsocket, RI, USA).

#### **5.6.6. Color Instrumental (CIE $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ )**

El color se evaluó en la superficie de cada muestra. Se utilizó un colorímetro (Chroma meter CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan). La medición de color incluyó la determinación de los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Donde el parámetro  $L^*$  representa la luminosidad y tiene una escala que va desde 0 que es negro, hasta 100 que representa el blanco. El valor  $a^*$  tiene una escala de -60 a +60, en donde valores negativo se refieren al verde y positivos cuando es rojo. El valor  $b^*$  toma una escala de -60 a +60 y determina el color amarillo si los valores son positivos y azul cuando son negativos. Se realizaron 5 determinaciones por muestra, por lo que se reportó el promedio por tratamiento.

## 5.7. Perfil de Ácidos Grasos

La determinación del perfil lipídico se llevó a cabo de acuerdo con lo reportado por Bligh *et al.* (1959). Se pesaron 5 g de muestra a los cuales se les añadió 10% de metanol y se homogenizaron durante 1 min a 11,000 rpm (Ultraturrax IKA modelo T25). Posteriormente se adicionaron 20 mL de cloroformo con una pureza del 98.5% y se homogenizaron durante 2 min. Después, las muestras fueron filtradas por medio de un papel Whatman #1, se realizó un lavado de la muestra con 3 mL de cloroformo/metanol (proporción 2:1). Posteriormente, se vertió la muestra filtrada a un tubo y se agregaron 3 mL de cloruro de potasio al 0.88% en agua. Se tomó la fase inferior de la muestra (cloroformo y lípidos) y se realizaron lavados con 2 mL de agua destilada y 2 mL de metanol, tomándose nuevamente la fase inferior (cloroformo y lípidos). Por último, mediante un flujo de nitrógeno se removió el aire presente en los tubos y se almacenó a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su uso posterior.

La derivatización de los ácidos grasos se realizó según lo reportado por Park & Goins (1994). Los tubos que se utilizaron anteriormente se introdujeron a un baño maría a  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se evaporó el solvente de los extractos por medio de un flujo de nitrógeno. Se obtuvo alrededor de 150 mg de grasa libre de solventes, se les agregó 4 mL de NaOH (0.5 N en metanol) y se agitó. Posteriormente, se calentó a  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 10 min en un baño maría. Después, las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente y se le añadieron 5 mL de trifluoruro de boro al 14% en metanol, las muestras se calentaron nuevamente en un baño maría a  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 5 min. Después fueron enfriadas a temperatura ambiente y se les agregó 4 mL de hexano y se calentaron de nuevo durante 2 min en un baño maría a  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se les agregó 1 mL de cloruro de sodio saturado (37 g de NaCl/100 mL de agua destilada). Por último, se vertieron 100  $\mu\text{L}$  de la muestra más 100  $\mu\text{L}$  de hexano en un vial de 2 mL para cromatógrafo. La composición de los ésteres de metil de ácidos grasos (FAMES) se realizó en un cromatógrafo de gases (Modelo 7890 B, Santa Clara, CA, EE.UU.) equipado con un automuestreador (Modelo 7693) y un detector de ionización de flama (FID). Los ácidos grasos se separaron en una columna capilar de sílice fundida de 100 m x 0.25 mm diámetro interno (SP-2560, Supelco, Bellefonte, PA, EE. UU). La temperatura del horno se programó desde una temperatura inicial de  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  a una temperatura final de  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$  a una velocidad de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . La temperatura del inyector se fijó en  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la temperatura del FID en  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Las muestras se corrieron usando hidrógeno a una

presión de 17 psi como vehículo y nitrógeno como gas acarreador. Los ácidos grasos se identificaron comparando los tiempos de retención con los de estándares comerciales (Supelco 37 Component FAME Mix, Bellefonte, PA, EE. UU). A partir de estos datos se calcularon los porcentajes totales de AGS, AGM y AGP.

## 5.8. Capacidad Antioxidante

### 5.8.1. Obtención del Extracto

La obtención del extracto se realizó siguiendo la metodología descrita por Sogi *et al.* (2013) con algunas modificaciones. Primero, se mezclaron 20 mL de etanol al 80% con 1 g de muestra y se homogenizaron durante 30 s a 11,000 rpm (Ultra Turrax X25, IKA Werke, USA). Posteriormente, la mezcla fue sonicada (Branson, 2510R-DTH) durante 30 min y centrifugada a 9,300 rpm durante 15 min a 4 °C. El sobrenadante fue filtrado y el proceso se repitió, adicionando 20 mL del solvente en los lavados. El sobrenadante fue aforado hasta 50 mL con etanol al 80%. Finalmente, los extractos se almacenaron a -20 °C hasta su uso posterior para la medición de capacidad antioxidante.

### 5.8.2. Fenoles Totales

El contenido de fenoles totales se determinó por el método descrito por Singleton *et al.* (1965) con algunas modificaciones. Se mezclaron 30 µL del extracto con 150 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu. Se adicionaron 120 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (7.5%) y se dejó incubar en oscuridad por 30 min. Después se midió la absorbancia a 765 nm en un lector de microplaca Flourstar Omega (BMG Labtech Inc., Durham, NC, EE. UU). La concentración de fenoles totales se calculó utilizando una curva estándar de ácido gálico y los resultados se expresaron como mg EAG/g peso seco.

### 5.8.3. Capacidad Antioxidante Equivalente de Trolox (TEAC)

La inhibición del radical  $ABTS^{\cdot+}$  (ácido 2,2-azinobis- [3 etilbenzotiazolin-6-sulfónico) se realizó de acuerdo con la metodología de Re *et al.* (1999). Se mezcló el radical adicionando 88  $\mu$ L de  $K_2S_2O_8$  (0.139 mM) en 5 mL de  $ABTS^{\cdot+}$  (7 mM) dejándolo incubar por 16 h en oscuridad a temperatura ambiente. Posteriormente, se ajustó la absorbancia a  $0.7 \pm 0.02$  diluyendo en etanol al 95% para después tomar 295  $\mu$ L del mismo y mezclar con 5  $\mu$ L de muestra en una microplaca. Se leyó la absorbancia a los 5 min después de mezclar a 734 nm en un lector de microplaca Flourstar Omega (BMG Labtech Inc., Durham, NC, EE. UU). Los resultados se calcularon utilizando una curva estándar de Trolox y se expresaron como mg ET/g peso seco.

### 5.8.4. Capacidad de Reducción del Hierro (FRAP)

El ensayo FRAP se realizó mezclando una solución de 0.5 mL de TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine), 0.5 mL de buffer de acetato, 0.5 mL de  $FeCl_3$ , 20  $\mu$ L de muestra con 290  $\mu$ L de reactivo FRAP en una microplaca de 96 pocillos. La mezcla de reacción se incubó a 37 °C durante 15 min. La absorbancia se midió en un lector de microplaca Flourstar Omega (BMG Labtech Inc., Durham, NC, EE. UU) a 595 nm. El reactivo trolox se disolvió en etanol para el establecimiento de la curva de calibración estándar.

## 5.9. Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS)

Se determinó el valor de TBARS con la metodología descrita por Pfalzgraf *et al.* (1995) en los tratamientos durante los días 1, 4 y 8 de almacenamiento a 2 °C. Para ello, se homogenizaron 5 g de muestra con 15 mL de ácido tricloroacético a 11,000 rpm durante 1 min. Posteriormente, la muestra homogenizada se centrifugó a 2,300 x g durante 30 min a 5 °C. Enseguida, el sobrenadante

se filtró y se tomaron 2 mL del producto filtrado y se les adicionó 2 mL de ácido tiobarbitúrico. Después, la muestra se homogenizó durante 30 s y se llevó a baño maría a 99 °C durante 40 min. Los tubos se enfriaron y se midió la absorbancia de las muestras a 532 nm en un espectrofotómetro UV-VIS. La oxidación lipídica se calculó en base al contenido de TBARS mediante una curva patrón de 1,1,3,3 tetrametoxipropano y se expresaron como mg de malonaldehído (MDA)/kg de muestra.

#### 5.10. Digestión Simulada

La digestión simulada de las muestras se realizó siguiendo la metodología descrita por Brodkorb *et al.* (2019) con algunas modificaciones. Se pesaron 7 g de muestra de hamburguesa de res con los tratamientos mencionados anteriormente, se mezclaron con 11 mL de fluido salival simulado y se homogenizaron en un ultraturrax a 11,000 rpm; posteriormente se agregaron 150 U/mL de  $\alpha$ -amilasa porcina. Después se agregó  $\text{CaCl}_2$  (0.15 mM), se sumergieron en un baño con agitación por 2 min a 37 °C, se agregaron 11 mL de fluido gástrico simulado que contenía 2000 U/mL de pepsina porcina, además se agregó lipasa gástrica que contenía 60 U/ mL y  $\text{CaCl}_2$  (0.15 mM). El pH del digesto se ajustó a 3.0 con HCl 6 M. Luego, el bolo gástrico se incubó durante 2 h a 37 °C en un baño con agitación. Posteriormente, se agregaron 11 mL de líquido pancreático 100 U/mL en función de la actividad de tripsina, 5 mL de líquido biliar (10 mM) y  $\text{CaCl}_2$  (0.6 mM) para simular la fase intestinal de la digestión; y se ajustó el pH a 7 antes de la incubación por 2 h a 37 °C en un baño con agitación. Una vez transcurrido el tiempo, las muestras se congelaron a  $-20$  °C para detener la reacción enzimática y se almacenaron para análisis posteriores.

#### 5.11. Ácidos Grasos Libres

La determinación de ácidos grasos libres (AGL) se hizo por la metodología de (Zhou *et al.* (2021). con algunas modificaciones. Se pesaron 0.1 g de muestra, se mezclaron con 2 mL de agua destilada

y se mezcló en vortex por 45 s. Posteriormente se agregaron 5 mL de cloroformo: metanol (v/v = 2/1) para extraer los ácidos grasos libres. Después se centrifugó a 4,000 x g durante 3 min a 15 °C, se tomó la fase inferior y se colocó en un matraz de 300 mL el cual se le agregó previamente 100 mL de éter/etanol (relación 1:1). Se agregaron 2-3 gotas de fenolftaleína a la mezcla para su posterior titulación con NaOH 0.01 M hasta que el color de la muestra en el matraz de 300 mL cambió de incoloro a rosa claro. La cantidad liberada de ácidos grasos libres/g por gramo de carne se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$(2) \quad AGL(mg/g \text{ muestra}) = \frac{(V \text{ NaOH} * C \text{ NaOH} * M \text{ AGL})}{\text{peso de muestra}}$$

Donde,  $C \text{ NaOH}$  es la concentración de la solución de NaOH (0.01 M),  $M_{AGL}$  es el peso molecular de los AGL en la fase oleosa, que fue de 280 g/mol para el oleico y peso de la muestra de carne (g).

## 5.12. Análisis Estadístico

La calidad en el día 0 (análisis proximal, pérdida de peso por cocción, porcentaje de encogimiento y perfil de ácidos grasos) fue evaluada mediante un diseño completo al azar con arreglo factorial A x B, donde el factor A fue la cáscara de mango (0 y 1%) y el factor B el tipo de lípido (GR, AC y AA) Para las evaluaciones durante el tiempo de almacenamiento (color instrumental, pH, APT, TBARS), además de los factores A y B descritos anteriormente, se incorporó el factor C = tiempo de almacenamiento (0, 4 y 8 d). Para el caso de las evaluaciones durante la digestión simulada (AGL, fenoles totales, capacidad antioxidante y TBARS), además de los factores A y B descritos arriba, se evaluó el factor C = etapa de la digestión (antes y después). Se realizó un análisis de varianza a un nivel de significancia del 5% y cuando hubo diferencias, se realizó una comparación de medias por Tukey-Kramer a un nivel de probabilidad de  $p < 0.05$ . Todos los análisis estadísticos

fueron realizados utilizando el paquete estadístico Number Cruncher Statistical Systems 2022 (NCSS, Kaysville UT, USA).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la presente investigación se organizaron y presentaron de la siguiente manera: En primera instancia se abordó la caracterización parcial de la materia prima (color instrumental y pH en carne, grasa, aceites y pre-emulsiones; además de fenoles totales y capacidad antioxidante en CM), seguido se presentaron los resultados del análisis fisicoquímico y nutricional (pérdida de peso por cocción, porcentaje de encogimiento, análisis proximal y perfil de ácidos grasos), posteriormente se presentaron los resultados de los tratamientos evaluados durante el almacenamiento en refrigeración (color instrumental, pH, análisis de perfil de textura y TBARS), finalmente, los resultados correspondiente a la etapa de la digestión simulada (AGL, fenoles totales, capacidad antioxidante y TBARS).

### 6.1. Caracterización Parcial de Materia Prima

El Cuadro 2 muestra los resultados de las evaluaciones de color instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) y pH de la GR, aceites, pre-emulsiones y CM. Se puede observar que los valores de  $L^*$  de los aceites oscilaron entre 60 y 67; en las pre-emulsiones y los aceites tienden a ser más altos en comparación con la grasa de res. Por otro lado, los valores de  $b^*$  en los aceites variaron entre 18 a 19 y las pre-emulsiones de aceites entre 12 a 15.5, por lo que son mayores en comparación con los obtenidos en la grasa de res, el cual fue de 9.04. Si se toma en cuenta esta información, la adición de estas pre-emulsiones a hamburguesas de res pueden modificar el color del producto, hacia tonalidades más amarillas en comparación con una hamburguesa a la que no se le agregan. Por otro lado, la cáscara de mango tiene un valor alto de  $b^*$  en comparación al resto de los ingredientes, por lo que también tiende al amarillo pudiendo impactar aún más el color producto. En la evaluación de pH la CM tiene un valor de 4.16, donde la naturaleza ácida se debe a los ácidos orgánicos que predominan en este ingrediente, destacando los ácidos gálico, protocatéico, gentísico, sinápico y cafeico (Pacheco-Ordaz *et al.*, 2018). Un ingrediente ácido puede modificar el pH del producto e impactar en propiedades importantes como su capacidad de retención de agua y textura.

**Cuadro 2.** Valores promedio de color instrumental y pH en grasa de res, aceite de aguacate, aceite de cártamo, cáscara de mango y pre-emulsiones de aceite de cártamo y aguacate.

Parámetro	GR	AA	AC	CM	PreAA	PreAC
<i>L</i> *	57.94	66.86	60.43	81.05	67.85	76.27
<i>a</i> *	4.24	-2.36	-1.06	1.04	-2.33	-0.11
<i>b</i> *	9.04	19.02	18.55	36.45	15.48	12
pH	6.4	5.46	5.98	4.16	-	-

GR: grasa de res, AA: aceite de aguacate, AC: aceite de cártamo, CM: cáscara de mango, PreAA: pre-emulsión de aceite de aguacate, PreAC: pre-emulsión de aceite de cártamo, (n = 5).

Los resultados del análisis de FT y actividad antioxidante de los extractos obtenidos de la CM se muestran en el Cuadro 3. El valor de FT fue de 104.19 mg EAG/g PS, mientras que la capacidad antioxidante medida por las pruebas de TEAC y DPPH fue de 113.2 y 211.2 mg ET/g ps, respectivamente. Estos valores son considerados altos respecto a otros tejidos vegetales como la toronja ( $27.22 \pm 1.00$  mg GAE/g,) y lima ( $23.32 \pm 2.07$  mg GAE/g,) (Suleria *et al.*, 2020). La CM es rica en compuestos antioxidantes tales como polifenoles, antocianinas y carotenoides, destacando la mangiferina, quercetina y ácido gálico (Pacheco-Ordaz *et al.*, 2018). De acuerdo con algunas investigaciones, los valores de FT en CM varían entre 20 y 100 mg EAG/g peso seco, mientras que la capacidad antioxidante los valores reportados oscilan entre 11.78 a 43.30 mg ET/g para el ensayo de DPPH y 69.12 mg ET/g para TEAC (Ajila *et al.*, 2008; de Lourdes García-Magaña *et al.*, 2013). El contenido de FT y actividad antioxidante de la CM depende de distintos factores, por ejemplo, el área geográfica donde se cultive el fruto, su estado de madurez, el método de extracción (ultrasonido, microondas o sonicación) o el solvente que haya sido utilizado (metanol, etanol o acetona) (Sumaya-Martínez *et al.*, 2019). Determinaciones en la materia prima como las que aquí se describen son importantes cuando se desarrolla un nuevo producto pues además de conocer sus propiedades fisicoquímicas, sirve de base para explicar posibles diferencias entre las formulaciones donde son incorporadas.

**Cuadro 3.** Contenido de fenoles totales (FT), capacidad antioxidante equivalente de Trolox (TEAC) e inhibición de radical DPPH<sup>·</sup> de cáscara de mango.

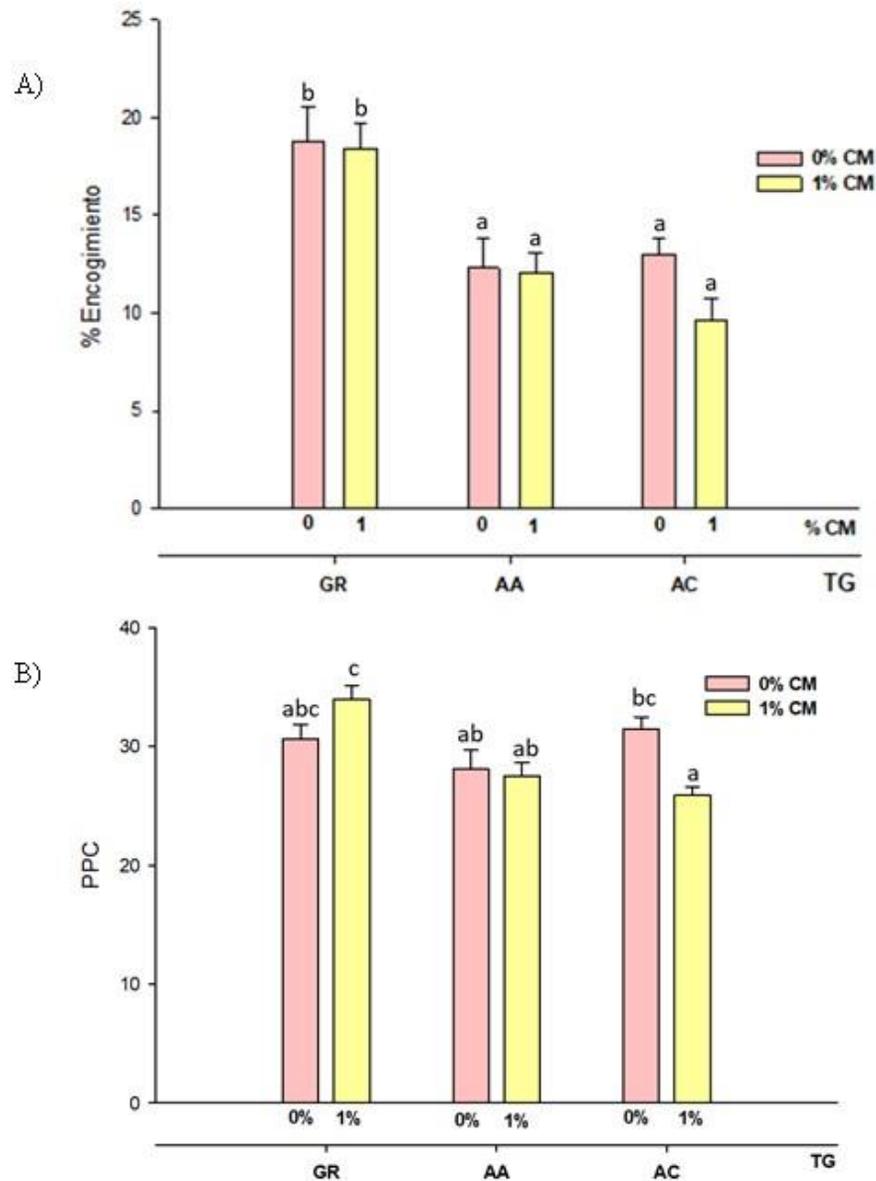
Materia prima	FT	TEAC	DPPH
CM	104.19	113.21	211.25

FT: Contenido de fenoles, mg EAG/g ps: miligramos equivalentes ácido gálico por gramo de peso seco, mg ET/g ps: miligramos equivalentes trólox por gramo de peso seco (n = 5).

## 6.2. Análisis Físicoquímico y Nutricional

### 6.2.1. Porcentaje de Encogimiento y Pérdida de Peso por Cocción

En la Figura 4 se presentan los resultados del porcentaje de encogimiento (PE) y pérdida de peso por cocción (PPC) de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango. Todos los tratamientos evaluados presentaron una reducción en el diámetro y pérdida de peso, derivado ello de la desnaturalización de las proteínas, la pérdida de humedad y de grasa por efecto del cocimiento (Selani *et al.*, 2016). Sin embargo, esta reducción no fue de la misma magnitud, resultando significativo ( $p < 0.05$ ) el factor tipo de grasa para ambas mediciones. En los tratamientos con la adición de AA y AC se observó un menor PE y PPC en comparación con los tratamientos con GR ( $p < 0.05$ ). Los tratamientos con aceites presentaron PE y PPC de alrededor del 12% y 28%, respectivamente, mientras que los adicionados con GR fue de 18.5% y 32%, respectivamente. Es importante recordar que los aceites fueron incorporados como pre-emulsiones con proteína de soya. Las diferencias observadas en el PE y PPC podrían ser atribuidas a una mejor interacción proteína-grasa y formación de gel con las pre-emulsiones de los aceites AA y AC. Resultados similares fueron reportados por Singh *et al.* (2014) en hamburguesas de pollo adicionadas con aceite de canola, y por Cerrón-Mercado *et al.* (2022) en hamburguesas de res adicionadas con diferentes aceites, entre ellos el de soya. De igual manera, Vargas-Ramella *et al.* (2020) reportaron que la sustitución de grasa por aceites vegetales en la formulación de hamburguesas de venado deriva en una menor pérdida por cocción. Los autores mencionan una mayor estabilidad térmica de las micropartículas de aceite, lo que a su vez contribuye a la retención de humedad después del cocinado.



**Figura 4.** A) Porcentaje de encogimiento y B) pérdida de peso por cocción (PPC) de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango. Los gráficos de barras con letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos (<sup>ab</sup>) ( $p < 0.05$ ). CM: cáscara de mango, GR: grasa de res, AA: aceite de aguacate, AC: aceite de cártamo TG: tipo de grasa.

### 6.2.2. Análisis Proximal

En el Cuadro 4 se presentan los resultados del análisis proximal de hamburguesas de res cocinadas, sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango. No se encontraron

diferencias ( $p > 0.05$ ) en la composición proximal de los tratamientos evaluados ya que presentaron contenidos similares de humedad (53.36 a 55.72%), grasa (11.49 a 13.66%), proteína (25.01 a 27.51%) y ceniza (4.45 a 5.19%). Como se especificó anteriormente, la PPC fue alrededor de 28% para los tratamientos con aceites y de 32% para el tratamiento GR, y estas diferencias hacían suponer cambios en la composición proximal. Estas discrepancias han sido reportadas en otros estudios; por ejemplo, Vargas-Ramella *et al.* (2020), reportaron una PPC del 23.9% en hamburguesas de venado adicionadas con aceite de linaza, significativamente mayor a aquellas formuladas con aceite de chufa o de chía (PPC de 27.2%), pero sin cambios significativos en la composición proximal del producto. Resultados similares fueron también reportados por Rodríguez-Carpena *et al.* (2012) en hamburguesas de cerdo cocidas elaboradas con aceites de aguacate, girasol y oliva como sustitutos de grasa de cerdo. En la presente investigación, los tratamientos evaluados presentan un alto contenido de proteína y bajo contenido de grasa. Los valores de proteína son mayores a los de hamburguesas comercializadas en México reportadas por la Procuraduría Federal del Consumidor (2019), quienes especifican un rango en el contenido proteico de 10.2 a 14.6%. Sin embargo, en productos americanos, la USDA reporta valores de proteína de 25.8%, similar al presente estudio (USDA, 2019).

**Cuadro 4.** Análisis proximal de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango.

CM (%) (%) /TG	0			1			Efectos			
	GR	AA	AC	GR	AA	AC	EEM	TG	CM	TG x CM
Humedad	55.72	54.10	53.36	53.88	54.13	54.16	0.665	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Grasa	11.49	13.49	13.66	13.21	12.38	11.49	0.475	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Proteína	25.01	26.60	26.88	25.95	26.81	27.51	0.355	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Cenizas	2.07	2.17	2.22	2.24	2.24	2.03	0.190	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>

TG: Tipo de grasa, GR: grasa de res, AA: aceite de aguacate, AC: aceite de cártamo. CM: cáscara de mango, EEM: error estándar de la media, *ns* = no significativo  $p > 0.05$ .

### 6.2.3. Perfil de Ácidos Grasos

En el Cuadro 5 se presentan el perfil de ácidos grasos e incluye el total de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados obtenido de las hamburguesas de res cocinadas sustituidas con

distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango. El impacto más importante se mostró en la reducción de AGS y el aumento de AGM y AGP en las hamburguesas de res sustituidas con AA y AC. En cuanto a la suma total de AGS, se observó un mayor ( $p < 0.05$ ) contenido en AGS en las hamburguesas con GR en comparación con los aceites como era de esperarse; estos resultados se atribuyen a que la grasa de res es alta en AGS, principalmente el ácido palmítico (C16:0) y ácido esteárico (C18:0). Estos ácidos mencionados anteriormente (C16:0 y C18:0), disminuyeron con la sustitución de las pre-emulsiones de los aceites de cártamo y aguacate, sin embargo en la grasa de res estos valores incrementaron independientemente de la adición de CM. Mismos resultados mostraron en un estudio donde se sustituyó la GR por aceite de chufa en hamburguesas de res, donde los valores de AGS fue mayor en las hamburguesas con grasa de res (Carvalho Barros *et al.*, 2020).

El contenido de AGM incrementó ( $p < 0.05$ ) en las formulaciones con aceites, desde un valor de 47.3% en el tratamiento con GR hasta valores de 50.38 y 62.21% en los tratamientos con AA y AC, respectivamente. Resultados similares fueron reportados por Rodríguez-Carpena *et al.* (2012), en hamburguesas de cerdo adicionadas con aceite de aguacate. Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tipos de grasa en el ácido oleico (C18:1 *cis*), los aceites de cártamo y aguacate tuvieron valores mayores en comparación con las del control. El ácido oleico (C18:1 *cis*) fue el ácido graso predominante entre los AGM con contenidos mayores ( $p < 0.05$ ), presentes principalmente en las formulaciones con AC y AA. Esto era de esperarse ya que éste es el principal ácido graso presente en estos aceites. Por otro lado, los consumidores buscan aceites ricos en ácido oleico, de esta manera la sustitución de la grasa de res por aceites vegetales podría ser una buena opción para un mayor consumo de este AGM. Algunos autores han destacado los beneficios a la salud derivado del consumo de ácido oleico; Rehman *et al.* (2020), mencionan que el ácido oleico regula factores causantes de la resistencia a la insulina y de diabetes mellitus tipo 2. De esta manera su consumo podría ser una buena estrategia para prevenir y tratar este tipo de enfermedades (Rehman *et al.*, 2020).

Desde el punto de vista nutricional es importante destacar el aumento de AGM y AGP en los tratamientos con aceites. En relación con el contenido de AGP, los tratamientos formulados con aceite de aguacate y de cártamo mostraron valores mayores ( $p < 0.05$ ), en comparación con las

hamburguesas sustituidas con grasa de res. Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tipos de grasa en valores obtenidos de ácido linoleico (C18:2 *cis*), esto era de esperarse ya que este ácido graso se encuentra en el AA y AC. Los AGM y AGP más abundantes de las hamburguesas fueron el ácido oleico (18:1n-9c) y el ácido linoleico (C18:2n6c), respectivamente. Las tendencias en el desarrollo de nuevos productos cárnicos que sean más saludables, es principalmente reducir el contenido de ácidos grasos saturados de cadena larga. Sin embargo, la incorporación de aceites en las hamburguesas podría hacerlas más susceptibles a la oxidación, ya que ésta aumenta a medida que se incrementa el número de dobles enlaces de los ácidos grasos; de ahí la importancia de incorporar compuestos antioxidantes que eviten la pérdida de calidad del producto.

**Cuadro 5.** Perfil de ácidos grasos de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango.

Ácido graso*	0% CM			1% CM			
	GR	AA	AC	GR	AA	AC	EEM
C14:0	3.07 <sup>b</sup>	1.42 <sup>a</sup>	1.44 <sup>a</sup>	3.35 <sup>b</sup>	1.40 <sup>a</sup>	1.37 <sup>a</sup>	0.38
C15:0	0.44 <sup>b</sup>	0.21 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>	0.49 <sup>b</sup>	0.21 <sup>a</sup>	0.20 <sup>a</sup>	0.05
C16:0	25.07 <sup>b</sup>	15.89 <sup>a</sup>	13.40 <sup>a</sup>	27.23 <sup>b</sup>	15.74 <sup>a</sup>	14.32 <sup>a</sup>	2.43
C17:0	1.26 <sup>b</sup>	0.59 <sup>a</sup>	0.57 <sup>a</sup>	1.36 <sup>b</sup>	0.59 <sup>a</sup>	0.57 <sup>a</sup>	0.15
C18:0	16.61 <sup>b</sup>	8.59 <sup>a</sup>	8.47 <sup>a</sup>	18.54 <sup>b</sup>	8.60 <sup>a</sup>	8.80 <sup>a</sup>	1.90
C20:0	0.13 <sup>a</sup>	0.33 <sup>c</sup>	0.24 <sup>b</sup>	0.14 <sup>a</sup>	0.31 <sup>c</sup>	0.25 <sup>b</sup>	0.03
C22:0	-	0.18 <sup>a</sup>	0.45 <sup>b</sup>	-	0.18 <sup>a</sup>	0.46 <sup>b</sup>	0.07
C14:1	0.68 <sup>b</sup>	0.34 <sup>a</sup>	0.41 <sup>a</sup>	0.71 <sup>b</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.34 <sup>a</sup>	0.07
C16:1	3.21 <sup>b</sup>	2.02 <sup>a</sup>	1.76 <sup>a</sup>	3.41 <sup>b</sup>	2.01 <sup>a</sup>	1.65 <sup>a</sup>	0.31
C17:1	0.83 <sup>b</sup>	0.42 <sup>a</sup>	0.45 <sup>a</sup>	0.87 <sup>b</sup>	0.42 <sup>a</sup>	0.42 <sup>a</sup>	0.08
C18:1 <i>trans</i>	3.10 <sup>b</sup>	1.47 <sup>a</sup>	1.69 <sup>a</sup>	3.46 <sup>b</sup>	1.55 <sup>a</sup>	1.59 <sup>a</sup>	0.36
C18:1 <i>cis</i>	39.29 <sup>a</sup>	45.54 <sup>b</sup>	57.59 <sup>c</sup>	33.86 <sup>a</sup>	44.92 <sup>b</sup>	56.68 <sup>c</sup>	3.83
C20:1	0.20 <sup>a</sup>	0.58 <sup>c</sup>	0.3 <sup>b</sup>	0.19 <sup>a</sup>	0.54 <sup>c</sup>	0.29 <sup>b</sup>	0.05
C18:2 <i>trans</i>	0.33 <sup>b</sup>	0.17 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>	0.32 <sup>b</sup>	0.15 <sup>a</sup>	0.16 <sup>a</sup>	0.03
C18:2 <i>cis</i>	4.27 <sup>a</sup>	17.56 <sup>c</sup>	11.54 <sup>b</sup>	4.49 <sup>a</sup>	16.97 <sup>c</sup>	11.36 <sup>b</sup>	2.35
C18:3 <i>n3</i>	0.23 <sup>a</sup>	3.48 <sup>c</sup>	0.54 <sup>b</sup>	0.32 <sup>ab</sup>	3.31 <sup>c</sup>	0.55 <sup>b</sup>	0.63
C20:3 <i>n6</i>	0.26 <sup>a</sup>	0.20 <sup>a</sup>	0.13 <sup>a</sup>	0.28 <sup>a</sup>	0.19 <sup>a</sup>	0.17 <sup>a</sup>	0.05
C20:4 <i>n6</i>	0.93 <sup>a</sup>	0.74 <sup>a</sup>	0.58 <sup>a</sup>	0.99 <sup>a</sup>	0.73 <sup>a</sup>	0.64 <sup>a</sup>	0.06
∑ Saturados	46.59 <sup>b</sup>	27.22 <sup>a</sup>	24.79 <sup>a</sup>	51.10 <sup>b</sup>	26.93 <sup>a</sup>	25.97 <sup>a</sup>	5.67
∑ Monoinsaturados	47.30 <sup>a</sup>	50.38 <sup>b</sup>	62.21 <sup>c</sup>	42.50 <sup>a</sup>	49.59 <sup>b</sup>	60.97 <sup>c</sup>	3.10
∑ Poliinsaturados	6.1 <sup>a</sup>	22.41 <sup>c</sup>	13.00 <sup>b</sup>	6.40 <sup>a</sup>	21.36 <sup>c</sup>	12.88 <sup>b</sup>	2.86

CM = cáscara de mango, GR = grasa de res, AA = aceite de aguacate, AC = aceite de cártamo

\* Valores expresados como porcentaje del total de ácidos grasos. abc Medias con diferente literal dentro de renglón, indican diferencia ( $p < 0.05$ ).

EEM = error estándar de la media

## 6.3. Evaluación de la Calidad durante el Almacenamiento en Refrigeración

### 6.3.1. Color Instrumental

En el Cuadro 6 se presentan los valores del color instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) obtenido de las hamburguesas de res cocinadas, sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango. Se observa que los tratamientos con CM presentaron valores  $L^*$  menores ( $p < 0.05$ ), respecto a aquellos sin CM; esto puede deberse a que la CM, por ser un ingrediente seco, atrape una mayor cantidad de agua y evite su emigración y refracción en la superficie del alimento. Adicionalmente, la CM contiene carbohidratos, que al ser expuestos a altas temperaturas en presencia de las proteínas cárnicas, incrementa las reacciones de Maillard, generando la formación de pigmentos oscuros que disminuyen el valor  $L^*$  (Cardona Serrate, 2020). Resultados similares fueron reportados por Manzoor *et al.* (2022) en salchichas de pollo a las que se les incorporó hasta un 6% de extracto de cáscara de mango.

La adición de las pre-emulsiones de los aceites aumentó ( $p < 0.05$ ) los valores de  $L^*$  en comparación con la grasa de res, esto podría ser debido a que la materia prima los valores de  $L^*$  eran mayores en los aceites y pre-emulsiones en comparación con los obtenidos en la grasa de res. Por lo tanto, esto podría estar relacionado con los glóbulos de aceite que son mucho más pequeños y reflejan más luz (área de superficie más grande) que los glóbulos de grasa animal más grandes. Mismos resultados encontraron Rodríguez-Carpena *et al.* (2012) con la adición de aceite de canola, aguacate y girasol en hamburguesas de res, donde la adición de estos aceites aumentó los valores de  $L^*$ . Por otro lado, durante el tiempo de almacenamiento el valor  $L^*$  estos valores incrementaron ( $p < 0.05$ ), esto podría ser causado por estar relacionados con los reflejos de luz dispersa de los lípidos oxidados durante el tiempo de almacenamiento. Mismos efectos encontraron en un estudio, la adición de la adición de polvos de extractos de limón y naranja en albóndigas de res disminuyó ( $p < 0.05$ ) los valores de  $L^*$ , de la misma manera estos valores aumentaron durante el tiempo de almacenamiento (Abdel-Naeem *et al.*, 2022).

Los valores de  $a^*$  oscilaron entre 4.66 y 8.34, que corresponden al área de color rojo en el espacio de color. La adición de la harina de cáscara de mango aumentó ( $p < 0.05$ ) el valor de  $a^*$  en comparación con las hamburguesas del Testigo. Estos valores altos de  $a^*$  comparadas con las del Testigo podría estar relacionado con un efecto protector y antioxidante. Mismos resultados obtuvieron Abdel-Naeem *et al.* (2022) cuando adicionaron polvos de cáscara de limón, naranja y pomelo en hamburguesas de pollo. Por otro lado, las pre-emulsiones aumentaron ( $p < 0.05$ ) el valor de  $a^*$  en comparación con los tratamientos de la grasa de res. Choi *et al.* (2010) encontraron resultados similares con la sustitución de grasa dorsal por aceite de semilla de uva y fibra de salvado de arroz. Los resultados pueden atribuirse a la reacción entre los lípidos y los pigmentos de la carne de este modo afecta el color de la carne (Manzoor *et al.*, 2022). Durante el tiempo de almacenamiento, los valores de  $a^*$  disminuyeron para los tratamientos sin la adición de CM, sin embargo, en las hamburguesas adicionadas con CM no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Estas disminuciones en las muestras sin CM durante el tiempo de almacenamiento, lo cual puede atribuirse a la formación de metamioglobina posterior de la oxidación de la mioglobina.

Las estimaciones de  $b^*$  correspondían al área de color amarillo en el espacio de color, en un rango de 12.64 - 16.88. La adición de la harina de cáscara de mango aumentó ( $p < 0.05$ ) el valor  $b^*$  en comparación con los que no contenían, esto puede deberse al color característico de la cáscara que es amarillo, esto se observó en la caracterización de la materia prima que su valor  $b^*$  era de 36.45. La adición de las pre-emulsiones incrementó ( $p < 0.05$ ) los valores de  $b^*$ , de la misma forma puede deberse a la caracterización de la materia prima, los aceites y las pre-emulsiones tenían valores mayores de  $b^*$ , por lo que pudieron impactar en el producto cárnico. (Selani *et al.*, 2016) encontraron este mismo efecto, en donde tanto la adición de los aceites como de la harina de cascara de piña incrementaron los valores de  $b^*$  por el color característico de la materia prima. Con respecto al tiempo de almacenamiento, los valores de  $b^*$  incrementaron ( $p < 0.05$ ) ligeramente en los tratamientos evaluados. La evaluación del color es importante en los productos cárnicos debido a que tiene influencia en la decisión de compra del consumidor.

**Cuadro 6.** Color instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) y diferencia total de color de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango durante el tiempo de almacenamiento.

Parámetro	Tratamientos		Día de almacenamiento			EEM
	CM	TG	1	4	8	
$L^*$	0	GR	51.33 <sup>abA</sup>	53.02 <sup>bcA</sup>	53.92 <sup>cA</sup>	0.72
	0	AA	49.86 <sup>abA</sup>	54.81 <sup>cAB</sup>	56.10 <sup>cB</sup>	1.01
	0	AC	53.28 <sup>bA</sup>	53.83 <sup>cA</sup>	53.87 <sup>cA</sup>	0.43
	1	GR	49.34 <sup>abB</sup>	42.97 <sup>aA</sup>	47.66 <sup>aAB</sup>	1.03
	1	AA	46.89 <sup>aA</sup>	50.91 <sup>bcB</sup>	50.72 <sup>abAB</sup>	0.84
	1	AC	49.75 <sup>abA</sup>	48.18 <sup>bA</sup>	51.39 <sup>abcA</sup>	0.63
$a^*$	0	GR	6.24 <sup>aB</sup>	4.70 <sup>aA</sup>	4.66 <sup>aA</sup>	0.22
	0	AA	6.71 <sup>aAB</sup>	5.87 <sup>bB</sup>	5.36 <sup>aA</sup>	0.16
	0	AC	7.03 <sup>aB</sup>	6.38 <sup>bAB</sup>	5.55 <sup>aA</sup>	0.14
	1	GR	7.29 <sup>bA</sup>	7.80 <sup>cA</sup>	7.82 <sup>bA</sup>	0.11
	1	AA	8.21 <sup>cA</sup>	8.25 <sup>cA</sup>	8.09 <sup>bA</sup>	0.00
	1	AC	8.05 <sup>bcA</sup>	8.23 <sup>cA</sup>	8.34 <sup>bA</sup>	0.00
$b^*$	0	GR	12.64 <sup>aA</sup>	13.19 <sup>aA</sup>	13.18 <sup>aA</sup>	0.25
	0	AA	13.65 <sup>abA</sup>	13.86 <sup>abA</sup>	14.48 <sup>abA</sup>	0.15
	0	AC	13.44 <sup>abA</sup>	13.78 <sup>abAB</sup>	14.99 <sup>bB</sup>	0.26
	1	GR	14.62 <sup>bcA</sup>	16.88 <sup>cB</sup>	15.78 <sup>bA</sup>	0.34
	1	AA	15.94 <sup>cA</sup>	14.98 <sup>bA</sup>	14.54 <sup>abA</sup>	0.26
	1	AC	14.60 <sup>bcA</sup>	13.75 <sup>aA</sup>	15.29 <sup>bA</sup>	0.23
$\Delta E$	0	GR	-	2.34	3.07	0.51
	0	AA	-	5.02	6.43	0.99
	0	AC	-	0.91	2.22	0.92
	1	GR	-	5.77	2.10	1.83
	1	AA	-	4.13	4.08	0.03
	1	AC	-	1.79	1.80	0.00

GR: grasa de res, AA: aceite de aguacate, AC: aceite de cártamo. CM: cáscara de mango,  $\Delta E$ : diferencia total de color, EEM: error estándar de la media. Medias en la misma columna con letras diferentes (<sup>ab</sup>) indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo día ( $p < 0.05$ ). Las medias con letras diferente dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre días de almacenamiento (<sup>AB</sup>) para cada tratamiento ( $p < 0.05$ ).

### 6.3.2. pH

Los resultados obtenidos del análisis de pH de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango se muestran en el Cuadro 7. Los valores de pH disminuyeron significativamente ( $p < 0.05$ ) en las muestras adicionadas con CM durante el periodo de almacenamiento. Esto quizá es causado por el pH de CM encontrado en la

caracterización de la materia prima que es de 4.16. Resultados similares encontraron Selani *et al.* (2016) al añadir el subproducto de piña en hamburguesas de res donde la adición de este subproducto disminuyó significativamente ( $p < 0.05$ ) los valores de pH. De la misma forma la incorporación de las pre-emulsiones de aceite de aguacate y cártamo aumentó significativamente ( $p < 0.05$ ) los valores de pH de las hamburguesas de res sin adición de CM, sin embargo, efecto contrario se mostró en los tratamientos incorporados con CM donde los valores disminuyeron. Resultados similares obtuvieron en un estudio cuando remplazaron la grasa con aceite de cáñamo y harina de trigo sarraceno en salchichas de Frankfurt, con la sustitución de la grasa animal por los aceites vegetales; la sustitución de estos aceites provocó un aumento en los valores de pH (Botella-Martínez *et al.*, 2021). De esta manera, la adición de aceites en forma de pre-emulsiones puede afectar los valores de pH de los productos cárnicos reformulados, donde la adición de aceites vegetales se han asociado valores más altos de pH. Durante el tiempo de almacenamiento los valores de pH disminuyeron ( $p < 0.05$ ), esto podría estar relacionado con la actividad de las bacterias ácido-lácticas.

**Cuadro 7.** Valor de pH de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango durante el tiempo de almacenamiento.

Parámetro	Tratamientos		Día de almacenamiento			EEM
	CM	TG	1	4	8	
pH	0	GR	6.19 <sup>cA</sup>	6.16 <sup>bc</sup>	6.11 <sup>b</sup>	0.02
	0	AA	6.21 <sup>cA</sup>	6.30 <sup>deA</sup>	6.20 <sup>bA</sup>	0.02
	0	AC	6.37 <sup>dC</sup>	6.21 <sup>cdB</sup>	5.97 <sup>aA</sup>	0.02
	1	GR	6.24 <sup>cdAB</sup>	6.38 <sup>eB</sup>	6.21 <sup>bA</sup>	0.02
	1	AA	6.03 <sup>bA</sup>	5.93 <sup>aA</sup>	5.90 <sup>aA</sup>	0.02
	1	AC	5.88 <sup>aA</sup>	6.09 <sup>abB</sup>	6.00 <sup>abAB</sup>	0.02
			EEM	0.02	0.02	0.02

GR: grasa de res, AA: aceite de aguacate, AC: aceite de cártamo. TG: tipo de grasa CM: cáscara de mango, EEM: error estándar de la media. Medias en la misma columna con letras diferentes (<sup>ab</sup>) indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo día ( $p < 0.05$ ). Las medias con letras diferente dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre días de almacenamiento (<sup>AB</sup>) para cada tratamiento ( $p < 0.05$ ).

### 6.3.3. Análisis de Perfil de Textura

Los resultados obtenidos del análisis de perfil de textura de hamburguesas de res cocinadas

sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango se muestran en el Cuadro 8. En el parámetro de dureza se encontraron efectos principales tanto el tipo de lípido, de adición de CM y el día fueron significativos. La adición de las pre-emulsiones disminuyó ( $p < 0.05$ ) el valor de dureza de las hamburguesas. Esto puede deberse a la sustitución de ácidos grasos saturados por grasas insaturadas, resultado de la sustitución de la grasa dorsal una grasa sólida por los aceites que son líquidos, esto podría explicar la consistencia blanda de las hamburguesas de res. Resultados similares encontraron Rodríguez-Carpena *et al.* (2012) cuando adicionaron aceite de aguacate en forma de emulsión en hamburguesas de res, donde la dureza tendía a disminuir con la adición de los aceites. Por otro lado, la adición de CM disminuyó ( $p < 0.05$ ) el parámetro de dureza, sin embargo esto solo se presentó en la adición de pre-emulsiones y no en la grasa de res. Durante el tiempo de almacenamiento la dureza aumentó, esto podría deberse a la pérdida de agua durante el tiempo de almacenamiento hay pérdida de agua, por lo que se concentran los componentes y el producto se endurece.

El parámetro de elasticidad disminuyó ( $p < 0.05$ ) con la adición de cáscara de mango, resultados similares encontraron Choi *et al.* (2010) donde se sustituyó de grasa dorsal de cerdo por aceite de semilla de uva y fibra de salvado de arroz, la elasticidad se vio disminuida al añadir la fibra de salvado de arroz. Por otro lado, existe un efecto de interacción entre la CM y tipo de lípido, donde la adición de CM va a depender de la adición de pre-emulsión de aceites o grasa de res, la adición de CM con aceites disminuye la elasticidad, por otro lado, en la grasa de res se mantiene estable.

En los valores obtenidos en el parámetro de cohesividad se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), donde la adición de CM disminuyó la cohesividad. La adición de grasa de res aumentó ( $p < 0.05$ ) la cohesividad en comparación con las pre-emulsiones de aceites. Esto es de destacar debido a que la fuerza de los enlaces internos de la muestra fue afectada con la adición de las pre-emulsiones o de la harina de cáscara de mango. Mismos hallazgos encontraron Domínguez *et al.* (2016). Asimismo, las diferencias en el análisis de perfil de textura de diversos estudios pueden atribuirse a las diferentes características de las emulsiones utilizadas en distintos productos cárnicos.

En los resultados obtenidos en el parámetro de la masticabilidad, la incorporación de grasa de res aumentó la masticabilidad en comparación con la adición de pre-emulsiones, esto podría ser

causado por el contenido de grasa saturada contenida en la grasa de res, en cambio los aceites contienen ácidos grasos insaturados los cuales son líquidos. En un estudio donde se evaluó el efecto del aceite de oliva como sustituto de la grasa dorsal en patés disminuyó la masticabilidad en comparación con las del control (Domínguez *et al.*, 2016). Por otra parte, la adición de CM disminuyó la masticabilidad. Durante el tiempo de almacenamiento aumento la masticabilidad, esto podría estar relacionado por el incremento de la dureza encontrada en los resultados previos. La textura de un producto cárnico es importante para que sea aceptado o rechazado por parte del consumidor, ya que esta evaluación se relaciona con los sentidos fisiológicos.

**Cuadro 8.** Análisis de perfil de textura de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango durante el tiempo de almacenamiento.

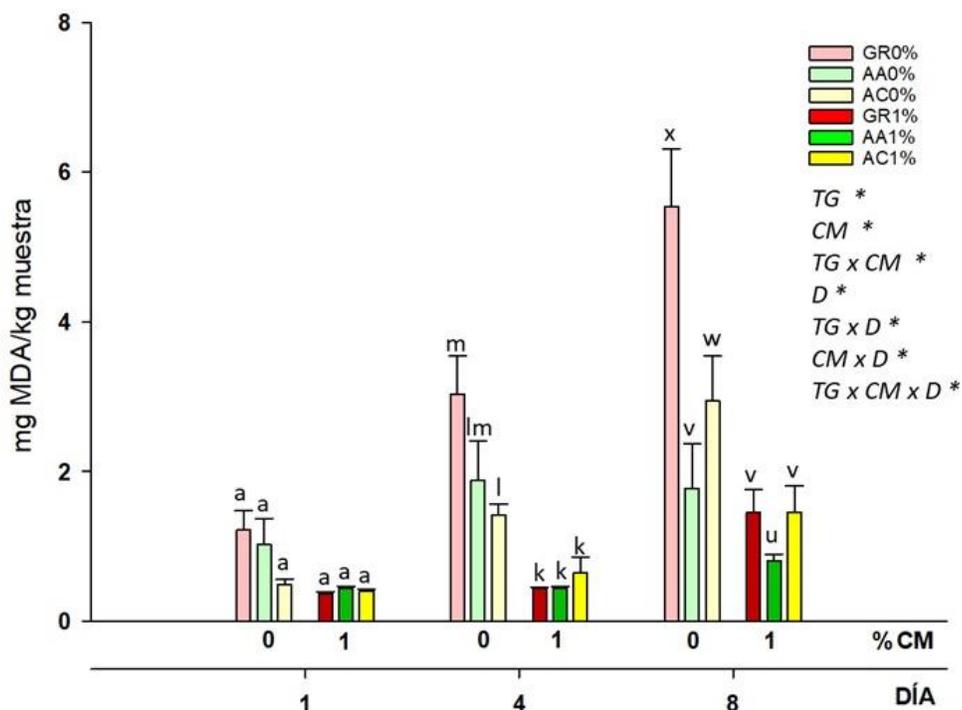
Parámetro	Tratamientos		Días de almacenamiento			EEM
	CM	TG	1	4	8	
Dureza	0	GR	28.96 <sup>bA</sup>	28.66 <sup>bA</sup>	34.28 <sup>dA</sup>	0.62
	0	AA	15.50 <sup>aA</sup>	16.99 <sup>aA</sup>	15.04 <sup>abA</sup>	0.75
	0	AC	16.24 <sup>aA</sup>	19.04 <sup>aA</sup>	20.89 <sup>bcA</sup>	0.79
	1	GR	26.02 <sup>bA</sup>	33.20 <sup>bB</sup>	32.16 <sup>cdAB</sup>	0.53
	1	AA	12.77 <sup>aA</sup>	15.78 <sup>aA</sup>	15.61 <sup>abA</sup>	1.28
	1	AC	10.53 <sup>aA</sup>	13.91 <sup>aA</sup>	12.79 <sup>aA</sup>	1.34
Elasticidad	0	GR	0.926 <sup>aA</sup>	0.933 <sup>aA</sup>	0.934 <sup>abA</sup>	0.003
	0	AA	0.941 <sup>aA</sup>	0.935 <sup>aA</sup>	0.962 <sup>bA</sup>	0.003
	0	AC	0.934 <sup>aA</sup>	0.947 <sup>aA</sup>	0.943 <sup>abA</sup>	0.003
	1	GR	0.926 <sup>aA</sup>	0.934 <sup>aA</sup>	0.930 <sup>abA</sup>	0.003
	1	AA	0.917 <sup>aA</sup>	0.920 <sup>aA</sup>	0.921 <sup>aA</sup>	0.003
	1	AC	0.925 <sup>aA</sup>	0.914 <sup>aA</sup>	0.921 <sup>aA</sup>	0.003
Cohesividad	0	GR	0.655 <sup>aA</sup>	0.667 <sup>bA</sup>	0.681 <sup>aA</sup>	0.003
	0	AA	0.662 <sup>aB</sup>	0.613 <sup>abA</sup>	0.650 <sup>aB</sup>	0.003
	0	AC	0.651 <sup>aA</sup>	0.642 <sup>abA</sup>	0.692 <sup>aA</sup>	0.020
	1	GR	0.662 <sup>aA</sup>	0.641 <sup>abA</sup>	0.664 <sup>aA</sup>	0.003
	1	AA	0.589 <sup>aA</sup>	0.583 <sup>aA</sup>	0.641 <sup>aB</sup>	0.020
	1	AC	0.614 <sup>aA</sup>	0.613 <sup>abA</sup>	0.638 <sup>aA</sup>	0.020
Masticabilidad	0	GR	18.05 <sup>dAB</sup>	17.47 <sup>cA</sup>	21.32 <sup>cB</sup>	0.77
	0	AA	9.36 <sup>abA</sup>	9.19 <sup>abA</sup>	8.73 <sup>aA</sup>	0.39
	0	AC	10.09 <sup>bA</sup>	11.43 <sup>bA</sup>	13.16 <sup>bA</sup>	0.49
	1	GR	15.66 <sup>cA</sup>	19.62 <sup>cB</sup>	19.14 <sup>cB</sup>	0.71
	1	AA	6.77 <sup>aA</sup>	8.84 <sup>abA</sup>	9.47 <sup>aA</sup>	0.65
	1	AC	6.12 <sup>aA</sup>	7.84 <sup>aA</sup>	6.68 <sup>aA</sup>	0.43

GR = grasa de res, AA = aceite de aguacate, AC = aceite de cártamo. CM = cáscara de mango, EEM: error estándar de la media. Medias en la misma columna con letras diferentes (<sup>ab</sup>) indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo día ( $p < 0.05$ ). Las medias con letras diferente dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre días de almacenamiento (<sup>AB</sup>) para cada tratamiento ( $p < 0.05$ ).

#### 6.4. Prueba de Ácido Tiobarbitúrico

Los valores obtenidos de la prueba de ácido tiobarbitúrico de las hamburguesas de res sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango durante el tiempo de almacenamiento se muestran en la Figura 5. En general, los valores de TBA aumentaron ( $p < 0.05$ ) en todas las muestras durante el período de almacenamiento. La adición del 1% de CM disminuyó ( $p < 0.05$ ) la oxidación de lípidos en comparación con la del 0% durante el tiempo de almacenamiento, esto se debe al contenido de fenoles totales y a la capacidad antioxidante de la CM que se obtuvo en la caracterización de la materia prima. Resultados similares obtuvieron Manzoor *et al.* (2022) cuando adicionaron extracto de cáscara de mango en salchichas de pollo. En la cáscara del mango se encuentran compuestos bioactivos como ácido gálico, ácido protocatéico, ácido sinápico, ácido cafeico, mangiferina, quercetina e isoquercetina (Pacheco-Ordaz *et al.*, 2018). Estos compuestos bioactivos pueden ayudar a estabilizar los radicales libres y de esa manera retrasar el proceso de oxidación. En particular, su actividad antioxidante se da por la inactivación de radicales libres y quelación de metales (Pacheco-Ordaz *et al.*, 2018).

Por otro lado, la adición de los aceites también logró disminuir el valor de TBA, esto es debido a que en la presente investigación se utilizaron aceites comerciales, los cuales contienen antioxidantes naturales añadidos como en el caso del aceite de cártamo tocoferoles, según su etiqueta. El aceite de aguacate y aceite de cártamo tienen antioxidantes naturales como tocoferoles y fitoesteroles, de esa manera pueden ayudar a retrasar los procesos de oxidación. Resultados similares encontraron Rodríguez-Carpena *et al.* (2012) cuando adicionaron aceite de aguacate a las hamburguesas de res, ellos se lo atribuían a su alto contenido en tocoferoles, fitoesteroles y clorofila, los cuales tienen mecanismos de acción similares a los antioxidantes. Con base en estos resultados, se evidencia que la cáscara de mango podría ser utilizada como ingrediente alimentario en la elaboración de productos cárnicos, como las hamburguesas, reduciendo la oxidación lipídica y favoreciendo a la conservación de la calidad de dichos productos.



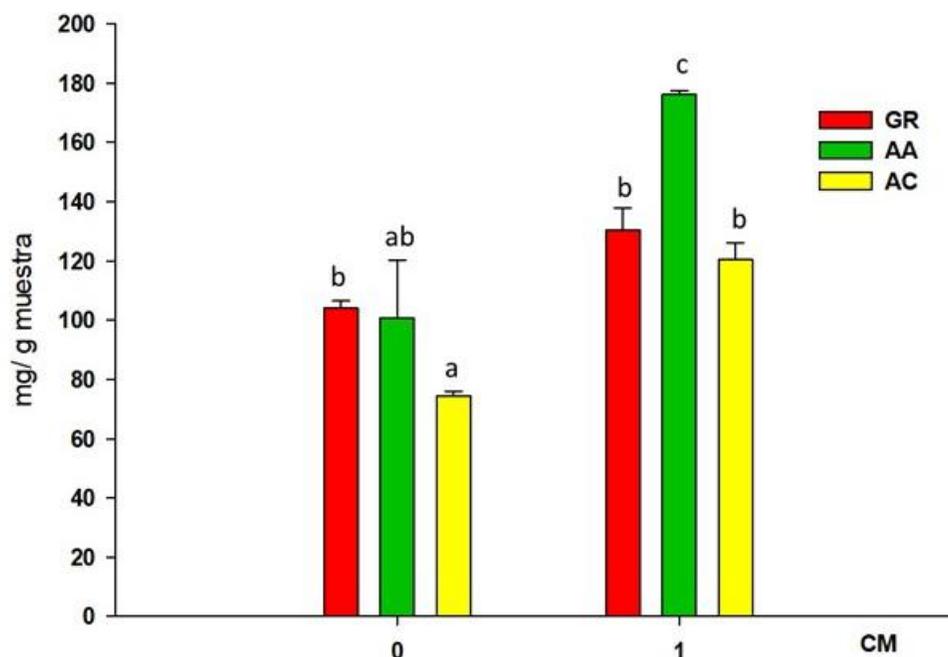
**Figura 5.** Valor de TBA de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango durante el tiempo de almacenamiento. GR: grasa de res, AA: aceite de aguacate, AC: aceite de cártamo. TG: tipo de grasa, CM: cáscara de mango, D: Día. Los gráficos de barras con letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos con 0 y 1% de CM en un mismo día de almacenamiento." ( $p < 0.05$ ).

## 6.5. Digestión Simulada de Hamburguesas de Res

### 6.5.1. Ácidos Grasos Libres

En la Figura 6 se muestra el contenido de ácidos grasos libres (AGL) de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con CM después de la digestión simulada. Las condiciones prooxidantes que se presentan durante la digestión promueven la oxidación de lípidos y en mayor medida en aquellos con mayor insaturación. Derivado de ello, los AGL resultantes de la hidrólisis de los triglicéridos se ven disminuidos. En los tratamientos sin adición de CM, se observa que aquel con AC presentó los menores valores de AGL ( $p < 0.05$ ), probablemente a una mayor oxidación. Por otro lado, al comparar los tratamientos con CM, se

observa que los valores de AGL son mayores ( $p < 0.05$ ) a los que no la contienen. La adición de 1% de CM aumentó los valores de AGL después del proceso de la digestión simulada, probablemente a la actividad antioxidante de la CM. De acuerdo con los resultados de la caracterización de la materia prima, el contenido de compuestos fenólicos de la CM fue de 104.19 mg EAG/g y la actividad antioxidante de 113.2 y 211.1 mg ET/g para las pruebas de TEAC y DPPH, respectivamente. Estos valores son considerados altos para la cáscara de la variedad Ataulfo, respecto a otras variedades como la capacidad antioxidante evaluada en cáscara de mango Haden de 47 mg ET/g. La presencia de compuestos bioactivos en la CM puede contribuir a la disminución de la oxidación y pérdida de AGL durante la digestión debido a que están involucrados en la eliminación de radicales libres, actúan como agentes reductores, tienen la capacidad de quelar metales y contribuyen a la extinción de oxígeno singlete, entre otros (Zafra Ciprián *et al.*, 2021). Los valores altos de AGL en los tratamientos con CM, obtenidos en la presente investigación coincide con lo reportado por Sobral *et al.* (2020) en un estudio donde se evaluó la liberación de ácidos grasos en hamburguesas de carne de pollo durante la cocción y digestión *in vitro* cuando se adicionó orégano. La CM es rica en compuestos fenólicos, ácidos fenólicos, carotenoides, entre otros, lo que puede justificar el comportamiento preventivo de la CM hacia lipoperoxidación. En este sentido cocinar las hamburguesas con la adición de 1% de CM preservó los AGL derivados de la digestión de los triglicéridos.



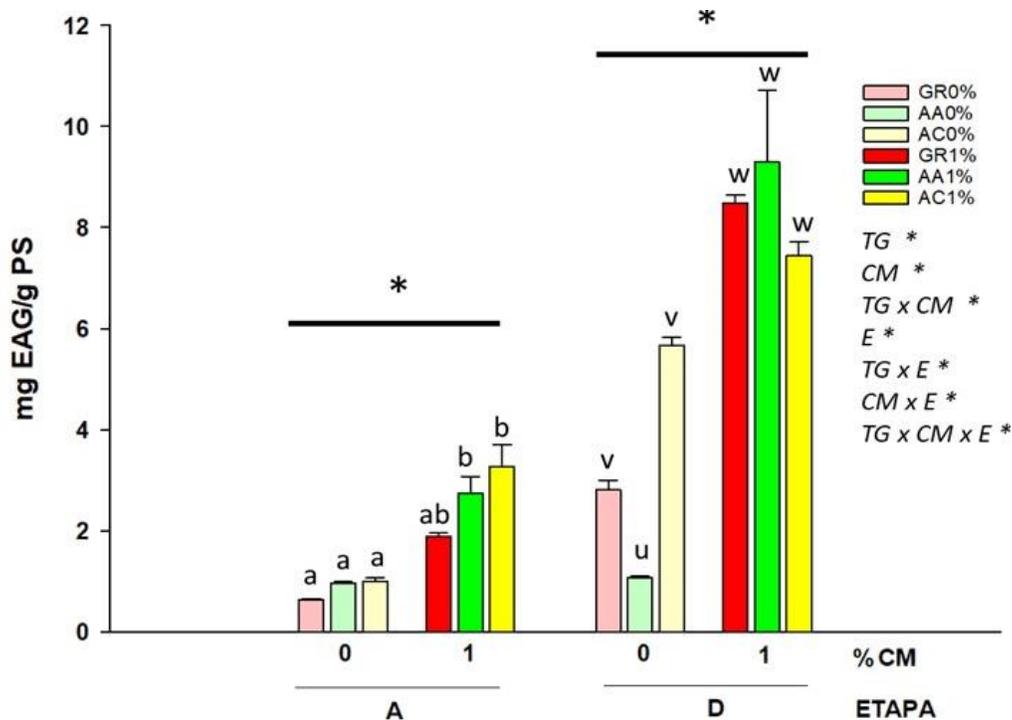
**Figura 6.** Contenido de ácidos grasos libres de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango después de la digestión simulada. CM: cáscara de mango, GR: grasa de res, AA: aceite de aguacate, AC: aceite de cártamo. Los gráficos de barras con letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos (ab). Media  $\pm$  error estándar.

### 6.5.2. Fenoles Totales

Los valores obtenidos de los fenoles totales (FT) de las hamburguesas de res sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con CM antes y después del proceso de digestión simulada se muestran en la Figura 7. Si se comparan los tratamientos antes de la digestión, se observa que en aquellos adicionados con CM aumentó ( $p < 0.05$ ) los valores de FT; el mismo comportamiento se obtuvo en los tratamientos después de la digestión. Esto puede deberse al contenido de compuestos fenólicos de la CM, entre ellos el ácido gálico, mangiferina, ácido elágico, ácido protocatequico y quercetina (Manzoor *et al.*, 2022). Mismos resultados encontraron Pešić *et al.* (2019) en un modelo de digestión *in vitro* de una matriz alimentaria a base de carne y cereales enriquecida con extractos de uva donde los FT aumentaron cuando estos eran adicionados. Al comparar los valores de FT antes y después de la digestión simulada, independientemente de la adición de CM, se encontró un mayor contenido ( $p < 0.05$ ) después de la digestión. Esto podría ser

causado por la liberación de compuestos de la matriz alimentaria, ocasionando el rompimiento de enlaces por acción de las enzimas digestivas y condiciones del tracto gastrointestinal cuando un alimento es degradado (Nieva-Echevarría *et al.*, 2020). Este mismo efecto encontraron Trujillo *et al.* (2022) donde la adición del extracto de cáscara de aguacate en hamburguesas a base de carne de res y soya incrementaron el contenido de FT antes y después del proceso de digestión.

Por otro lado, un incremento en el contenido de FT durante la digestión gástrica se puede atribuir a una hidrólisis ácida de los glucósidos fenólicos, con una mayor actividad antioxidante mostrada por los fenólicos de aglicona que sus formas de glucósido (Antonini *et al.*, 2020). Si se comparan los tratamientos después del proceso de digestión, aquellos con 1% de CM presentaron valores mayores de FT ( $p < 0.05$ ) en comparación con las que no contenían CM. El contenido de compuestos fenólicos encontrados en la CM se ve aumentado, quizá por una mayor liberación de compuestos bioactivos de la matriz alimentaria, causado por rompimiento de enlaces derivado de la hidrólisis enzimática. Además, el cambio de pH de un ambiente ácido a alcalino, durante la etapa de digestión intestinal, puede mejorar la capacidad antioxidante de los fenoles a través de la deprotonación de los grupos hidroxilo presentes en su anillo aromático (Antonini *et al.*, 2020). Por lo tanto, este incremento de contenido de fenoles podría tener efecto en los resultados de la determinación de TBA donde los valores podrían disminuir por retrasar el proceso de oxidación.

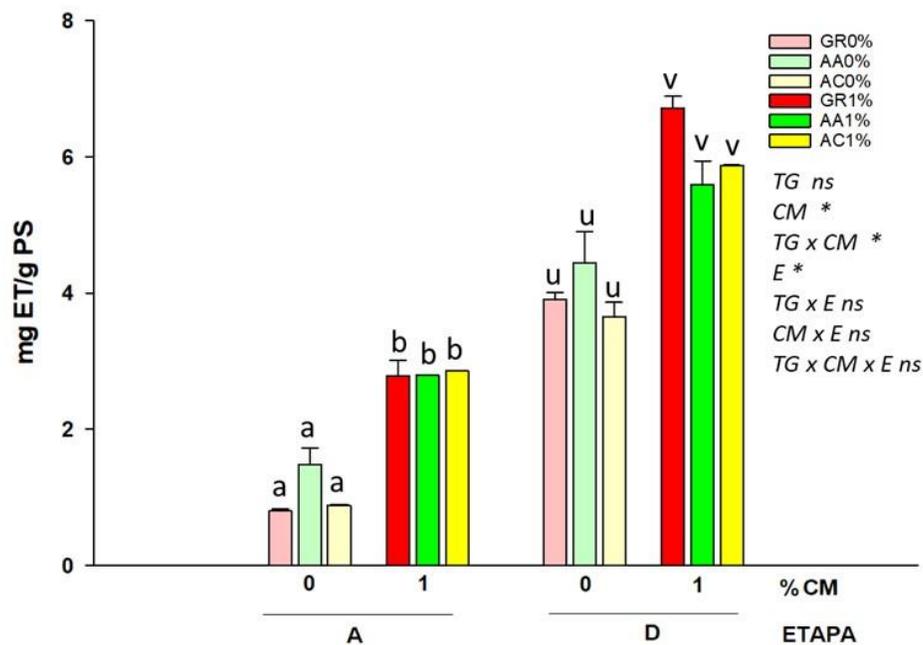


**Figura 7.** Contenido de fenoles totales de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango antes y después de la digestión simulada. A: antes, D: después CM: cáscara de mango, GR: grasa de res, AA: aceite de aguacate, AC: aceite de cártamo. Los gráficos de barras con letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos con 0 y 1% de CM antes de la digestión (<sup>ab</sup>). Los gráficos de barras con letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos con 0 y 1% de CM después de la digestión (<sup>uw</sup>). \* indica diferencia significativa entre las medias globales antes y después de la digestión. Media ± error estándar.

### 6.5.3. Capacidad de Reducción del Hierro

Los valores obtenidos para la capacidad de reducción del Hierro (FRAP) de las hamburguesas de res sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango antes y después del proceso de digestión simulada se muestran en la Figura 8. La prueba de FRAP es un método muy utilizado para medir la capacidad antioxidante de un alimento. El poder reductor férrico (FRAP) se basa en la capacidad antioxidante de reducir el complejo Fe<sup>3+</sup> /ferricianuro a la forma ferrosa mediante la donación de un electrón. Después de la digestión, la capacidad antioxidante de las hamburguesas cocinadas fue más alta ( $p < 0.05$ ) que las muestras no digeridas, lo que refleja una mayor bioaccesibilidad de compuestos bioactivos como los polifenoles, péptidos, tocoferoles, carotenoides, entre otros.

Además, con la incorporación de 1% de CM aumentó ( $p < 0.05$ ) la capacidad de reducción de Hierro. Esto podría estar relacionado con la capacidad antioxidante de la CM para reducir el ion férrico a su forma ferrosa y se puede ver reflejado en los resultados obtenidos en TBA. Mismos resultados encontraron en un estudio donde evaluaron la adición de hierbas en empanadas de carne de res donde obtuvieron un mayor potencial antioxidante reductor férrico antes y después de la digestión *in vitro* con la adición de hierbas (Ryan *et al.*, 2009). La capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos se atribuye al número y localización de los grupos hidroxilos presentes en su estructura; sin embargo, la fibra dietaria que se encuentra en la materia prima puede impedir la absorción y de esa manera evitar que se establezcan los radicales libres (Kumar *et al.*, 2015). La capacidad antioxidante encontrada podría verse reflejada en los resultados de TBA, mismos que tenderían a disminuir cuando se adiciona la cáscara de mango.

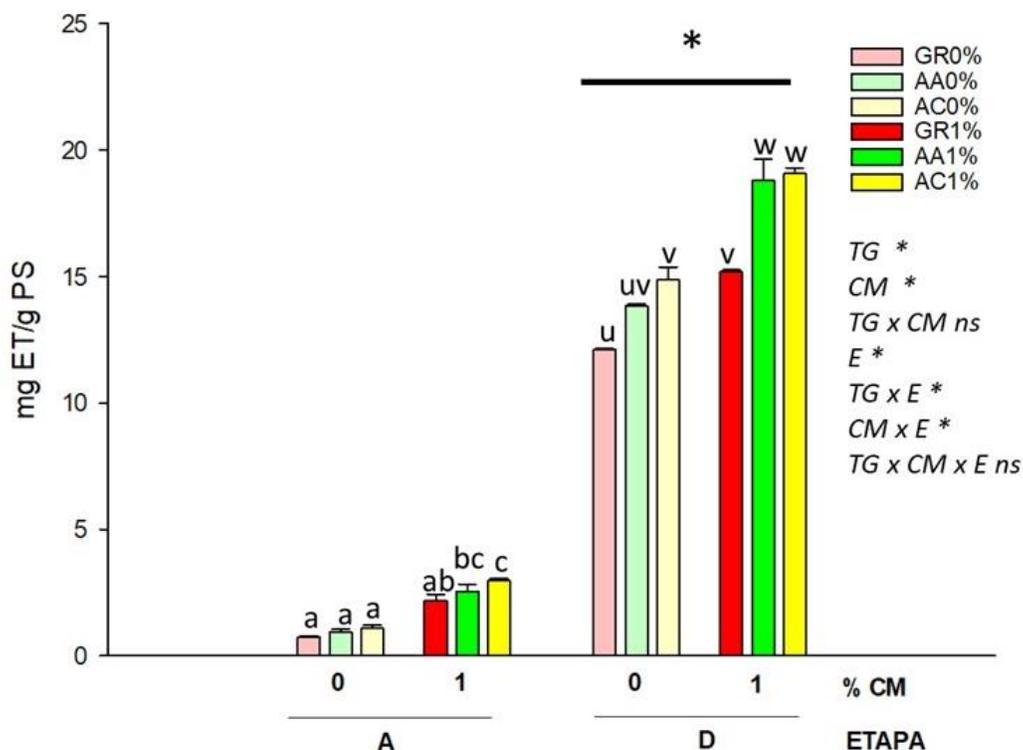


**Figura 8.** Actividad antioxidante medida por el método FRAP de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango antes y después de la digestión simulada. A: antes, D: después CM: cáscara de mango, GR: grasa de res, AA: aceite de aguacate, AC: aceite de cártamo. Los gráficos de barras con letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos con 0 y 1% de CM antes de la digestión (<sup>ab</sup>). Los gráficos de barras con letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos con 0 y 1% de CM después de la digestión (<sup>uv</sup>). \* indica diferencia significativa entre antes y después de la digestión. Media  $\pm$  error estándar.

#### 6.5.4. Capacidad Antioxidante Equivalente de Trolox

Los valores obtenidos de la capacidad antioxidante equivalente de Trolox (TEAC) en las hamburguesas de res sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango antes y después del proceso de digestión simulada se muestran en la Figura 9. La incorporación de CM mostró un cambio significativo ( $p < 0.05$ ) independientemente de la etapa en la actividad de inhibición del radical ABTS. Los compuestos como el ácido gálico, ácido elágico, mangiferina y carotenoides probablemente contribuyeron en mayor parte a su actividad antioxidante. De la misma forma, los aceites contienen compuestos bioactivos como tocoferoles, en su caso alfa tocoferol para aceite de aguacate y gama tocoferol para el aceite de cártamo.

Después del proceso de digestión, la capacidad antioxidante de las hamburguesas de res fue mayor ( $p < 0.05$ ) en comparación con las muestras no digeridas, lo que demuestra que existe una mayor bioaccesibilidad de los polifenoles y otros compuestos presentes en las materias primas. Por otro lado, la carne contiene antioxidantes hidrofílicos y lipofílicos, que contribuyen a su capacidad antioxidante como péptidos, enzimas antioxidantes y proteínas fijadoras de hierro (Antonini *et al.*, 2020). Mismos resultados encontraron Pešić *et al.* (2019) utilizando el método de digestión simulada de una matriz alimentaria a base de carne y cereales enriquecida con extractos de uva, donde encontraron que la matriz alimentaria, enzimas digestivas y extractos de la uva contribuyeron a la actividad de inhibición del radical ABTS. La capacidad antioxidante obtenida podría verse reflejada en los resultados de oxidación lipídica medida por la prueba de TBA.



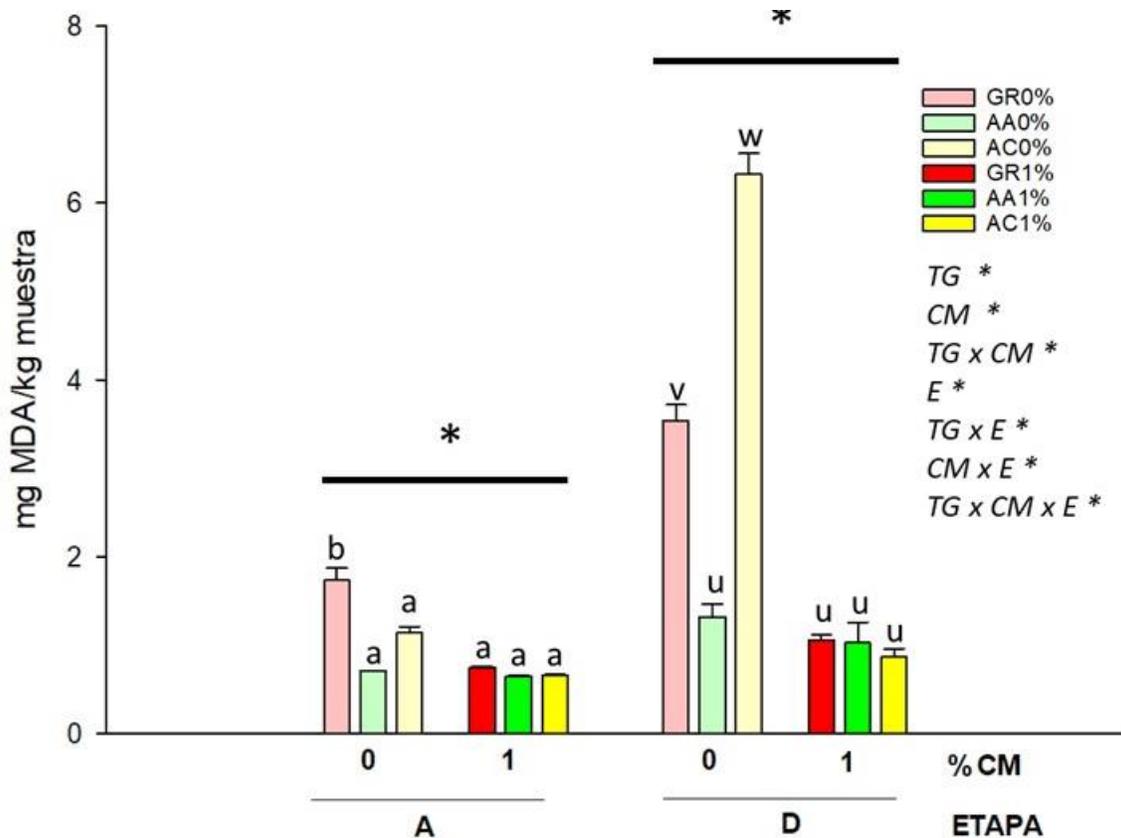
**Figura 9.** Actividad antioxidante medida por el método ABTS de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango antes y después de la digestión simulada. A: antes, D: después CM: cáscara de mango, GR: grasa de res, AA: aceite de aguacate, AC: aceite de cártamo. Los gráficos de barras con letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos con 0 y 1% de CM antes de la digestión (<sup>ab</sup>). Los gráficos de barras con letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos con 0 y 1% de CM después de la digestión (<sup>uv</sup>). \* indica diferencia significativa entre las medias globales antes y después de la digestión. Media  $\pm$  error estándar.

### 6.5.5. Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS)

Los valores obtenidos de la prueba de ácido tiobarbiturico de las hamburguesas de res sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango antes y después del proceso de digestión simulada se muestran en la Figura 10. Antes de la digestión las hamburguesas sin la adición de CM mostraron el valor de MDA más alto en comparación con las de 1% de CM, esto podría ser causado por el contenido de fenoles totales y a la capacidad antioxidante de la CM. Sin embargo, los tratamientos con aceites disminuyeron ( $p < 0.05$ ) el valor de TBA en comparación con el tratamiento con GR, lo cual quizá se deba al contenido de tocoferoles presentes en los aceites. Se realizó un análisis alternativo donde se evaluó el contenido de tocoferoles presentes en los

aceites. El cromatograma correspondiente se presenta en el Anexo 1; se encontró un porcentaje mayor de alfa tocoferol en el aceite de aguacate, por lo tanto, debido a su capacidad antioxidante disminuyó los valores de TBA en las hamburguesas de res. Por otro lado, los aceites utilizados son aceites comerciales y contienen antioxidantes naturales añadidos según la etiqueta que presenta. En general, los valores de TBA aumentaron ( $p < 0.05$ ) después del proceso de digestión, mostrando valores de TBA arriba de 3 mg MDA/kg para GR y AC sin CM. En el tracto digestivo, el alimento pasa por condiciones prooxidantes como el bajo pH, enzimas, grupo hemo, sales biliares causando un aumento en la oxidación de lípidos (Nieva-Echevarría *et al.*, 2020). Los productos cárnicos con un contenido alto de grasa son más susceptibles a la peroxidación lipídica a causa del grupo hemo-Fe, el cual cataliza la producción de especies reactivas de oxígeno y la oxidación de ácidos grasos insaturados (Antonini *et al.*, 2020). De esta manera conlleva a una mayor oxidación lipídica.

Por otro lado, la adición de 1% CM también ocasionó una reducción significativa ( $p < 0.05$ ) en los niveles de MDA en comparación con las hamburguesas sin la adición de CM. El contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante de la cáscara de mango redujo la oxidación lipídica que podría ser causado por sus compuestos bioactivos. La cáscara de mango contiene compuestos bioactivos como ácido gálico, ácido protocatéico, ácido sinápico, ácido cafeico, mangiferina, entre otros, los cuales pueden estabilizar radicales libres (Pacheco-Ordaz *et al.*, 2018). Los polifenoles tienen la capacidad de reaccionar directamente con  $RO\bullet$  y  $ROO\bullet$ , deteniendo la propagación e inhibir la reacción en cadena de radicales libres. Se han realizado estudios, donde la adición de especias y hierbas en la carne de res con alto contenido de grasa reduce la formación de MDA durante la digestión *in vitro* (Van Hecke *et al.*, 2017). Durante el proceso de cocción y de digestión es posible que exista un ablandamiento en la matriz alimentaria, lo que ocasiona una ruptura de las paredes celulares en donde aumente la liberación de compuestos fenólicos libres y unidos a la fibra (Martini *et al.*, 2021). De esta manera, la incorporación de 1% de CM en las hamburguesas de res demuestra que podría reducir la oxidación lipídica antes y después la digestión simulada.



**Figura 10.** Prueba de TBA de hamburguesas de res cocinadas sustituidas con distintos tipos de grasa y adicionadas con cáscara de mango antes y después de la digestión simulada. A: antes, D: después CM: cáscara de mango, GR: grasa de res, AA: aceite de aguacate, AC: aceite de cártamo. Los gráficos de barras con letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos con 0 y 1% de CM antes de la digestión (<sup>ab</sup>). Los gráficos de barras con letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos con 0 y 1% de CM después de la digestión (<sup>uv</sup>). \* indica diferencia significativa entre las medias globales antes y después de la digestión. Media  $\pm$  error estándar.

## 7. CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluó el efecto de la adición de cáscara de mango en hamburguesas de res formuladas con aceite de cártamo y aguacate sobre la calidad fisicoquímica y la reducción de la oxidación lipídica durante la digestión simulada. Los resultados destacan la sustitución de aceites vegetales y adición de cáscara de mango como una alternativa para mejorar los parámetros de calidad y la estabilidad oxidativa de productos cárnicos, sin afectar sus propiedades tecnológicas. La adición de cáscara de mango retrasó la oxidación lipídica por al menos 8 días de almacenamiento a 2 °C. Por otro lado, la incorporación de cáscara de mango en la formulación cárnica disminuyó la oxidación lipídica antes y después de la digestión simulada e incrementó la capacidad antioxidante.

La adición de un subproducto como la cáscara de mango, puede utilizarse como ingrediente en formulaciones cárnicas susceptibles a la oxidación como aquellas en las que se ha sustituido la grasa saturada por insaturada, teniendo un menor impacto en el detrimento de la calidad y en reducción de su oxidación lipídica antes y después de la digestión en un producto de tendencia como los listos para consumir. Por lo tanto, esta investigación puede ser de utilidad para los procesadores de alimentos interesados en el desarrollo de nuevos productos cárnicos.

## 8. RECOMENDACIONES

Es necesario realizar estudios evaluando el impacto de la adición de aceites vegetales y la incorporación de cáscara de mango sobre las propiedades sensoriales. Es recomendable la evaluación de calidad fisicoquímica y digestión simulada utilizando aceites vegetales orgánicos. Es necesario la evaluación de la adición de aceites vegetales y la incorporación de cáscara de mango en las hamburguesas de res en un modelo *in vivo*. Se recomienda la identificación de los compuestos presentes en la cáscara de mango y en las hamburguesas de res antes y después de la digestión simulada.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Naeem, H. H., Elshebrawy, H. A., Imre, K., Morar, A., Herman, V., Paşcalău, R., *et al.* 2022. Antioxidant and antibacterial effect of fruit peel powders in chicken patties. *11*(3), 301.
- Afshari, R., Hosseini, H., Khaneghah, A. M., & Khaksar, R. J. L. 2017. Physico-chemical properties of functional low-fat beef burgers: Fatty acid profile modification. *78*, 325-331.
- Ajila, C. M., Leelavathi, K., & Prasada Rao, U. J. S. 2008. Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*, *48*(2), 319-326. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.10.001>
- Al-Dalali, S., Li, C., & Xu, B. 2022. Effect of frozen storage on the lipid oxidation, protein oxidation, and flavor profile of marinated raw beef meat. *Food Chemistry*, *376*, 131881. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131881>
- Aminzare, M., Hashemi, M., Ansarian, E., Bimkar, M., Azar, H. H., Mehrasbi, M. R., *et al.* 2019. Using natural antioxidants in meat and meat products as preservatives: A review. *7*(5), 417-426.
- Andrés Andrés, A., García Segovia, P., García Martínez, E., & Uribe Wandurraga, Z. N. (2019). *Desarrollo de un sistema de digestión in vitro para la determinación de la bioaccesibilidad de componentes bioactivos*. Universitat Politècnica de València,
- Angulo Murrieta, H. 2019. Cuantificación de compuestos volátiles en aceites vegetales utilizados durante el freído.
- Antonini, E., Torri, L., Piochi, M., Cabrino, G., Meli, M. A., & De Bellis, R. 2020. Nutritional, antioxidant and sensory properties of functional beef burgers formulated with chia seeds and goji puree, before and after in vitro digestion. *Meat Science*, *161*, 108021. doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108021>
- Asyurul-Izhar, A. B., Bakar, J., Sazili, A. Q., Meng, G. Y., & Ismail-Fitry, M. R. 2022. Incorporation of Different Physical Forms of Fat Replacers in the Production of Low-Fat/ Reduced-Fat Meat Products: Which is More Practical? *Food Reviews International*, 1-33. doi:10.1080/87559129.2022.2108439
- Baek, K. H., Utama, D. T., Lee, S. G., An, B. K., & Lee, S. K. J. A.-A. j. o. a. s. 2016. Effects of replacing pork back fat with canola and flaxseed oils on physicochemical properties of emulsion sausages from spent layer meat. *29*(6), 865.
- Ballesteros, A. (2021). El Valor Nutritivo de la Carne.
- Baur, A. C., Brandsch, C., König, B., Hirche, F., & Stangl, G. I. J. F. i. n. 2016. Plant oils as potential sources of vitamin D. *3*, 29.
- Bligh, E. G., Dyer, W. J. J. C. j. o. b., & physiology. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *37*(8), 911-917.
- Botella-Martínez, C., Viuda-Martos, M., Pérez-Álvarez, J. A., & Fernández-López, J. J. F. 2021.

- Total and partial fat replacement by gelled emulsion (hemp oil and buckwheat flour) and its impact on the chemical, technological and sensory properties of Frankfurters. *10*(8), 1681.
- Bourne, M. (2002). *Food texture and viscosity: concept and measurement*: Elsevier.
- Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., *et al.* 2019. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature protocols*, *14*(4), 991-1014.
- Cardona Serrate, F. 2020. Alteraciones enzimáticas en alimentos: el pardeamiento, el enranciamiento y la reacción de Maillard.
- Carvalho Barros, J., Munekata, P. E., de Carvalho, F. A. L., Pateiro, M., Barba, F. J., Domínguez, R., *et al.* 2020. Use of tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) oil emulsion as animal fat replacement in beef burgers. *9*(1), 44.
- Cerrón-Mercado, F., Botella-Martínez, C. M., Salvá-Ruíz, B. K., Fernández-López, J., Pérez-Alvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. J. F. 2022. Effect of gelled emulsions elaborated with soybean oil, maca (*Lepidium meyenii*) flour, and chincho (*Tagetes elliptica* Sm.) essential oil upon animal fat substitution in beef burgers. *11*(15), 2198.
- Choi, Y.-S., Choi, J.-H., Han, D.-J., Kim, H.-Y., Lee, M.-A., Kim, H.-W., *et al.* 2010. Optimization of replacing pork back fat with grape seed oil and rice bran fiber for reduced-fat meat emulsion systems. *Meat Science*, *84*(1), 212-218. doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.048>
- de La Pomélie, D., Sante-Lhoutellier, V., Sayd, T., & Gatellier, P. 2017. Oxidation and nitrosation of meat proteins under gastro-intestinal conditions: Consequences in terms of nutritional and health values of meat. *Food Chemistry*, *243*. doi:10.1016/j.foodchem.2017.09.135
- De la Rosa, L., J., Domínguez A. (2014). Lípidos funcionales de origen vegetal. . In *Los alimentos funcionales* (pp. 476–502). ): Centro de Investigación de Alimentos y Desarrollo.
- de Lourdes García-Magaña, M., García, H. S., Bello-Pérez, L. A., Sáyago-Ayerdi, S. G., & de Oca, M. M.-M. 2013. Functional properties and dietary fiber characterization of mango processing by-products (*Mangifera indica* L., cv Ataulfo and Tommy Atkins). *Plant foods for human nutrition*, *68*(3), 254-258.
- De Smet, S., & Vossen, E. 2016. Meat: The balance between nutrition and health. A review. *Meat Science*, *120*, 145-156. doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.008>
- Delgado-Ospina, J., Martuscelli, M., Grande-Tovar, C. D., Lucas-González, R., Molina-Hernandez, J. B., Viuda-Martos, M., *et al.* 2021. Cacao pod husk flour as an ingredient for reformulating frankfurters: effects on quality properties. *10*(6), 1243.
- Djekic, I., Nikolić, A., Uzunović, M., Marijke, A., Liu, A., Han, J., *et al.* 2021. Covid-19 pandemic effects on food safety-Multi-country survey study. *122*, 107800.
- Domínguez, R., Agregán, R., Gonçalves, A. A., & Lorenzo Rodríguez, J. M. J. G. y. A. 2016. Effect of fat replacement by olive oil on the physico-chemical properties, fatty acids, cholesterol and tocopherol content of pâté. *67*(2), e133.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. J. A. 2019. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *8*(10), 429.

- Dorta, E., Lobo, M. G., González, M. J. L.-F. S., & Technology. 2012. Using drying treatments to stabilise mango peel and seed: Effect on antioxidant activity. *45*(2), 261-268.
- Farag, M. A., Gad, M. Z. J. J. o. G. E., & Biotechnology. 2022. Omega-9 fatty acids: Potential roles in inflammation and cancer management. *20*(1), 1-11.
- Ferreira, V., Morcuende, D., Madruga, M. S., Hernández-López, S. H., Silva, F. A., Ventanas, S., *et al.* 2016. Effect of pre-cooking methods on the chemical and sensory deterioration of ready-to-eat chicken patties during chilled storage and microwave reheating. *53*(6), 2760-2769.
- Forero-Doria, O., García, M. F., Vergara, C. E., Guzman, L. J. J. o. T. A., & Calorimetry. 2017. Thermal analysis and antioxidant activity of oil extracted from pulp of ripe avocados. *130*(2), 959-966.
- Franco, J., Feed, O., Bianchi, G., Garibotto, G., Ballesteros, F., Nan, F., *et al.* 2008. Parámetros de calidad de carne en cinco músculos de novillos Holando durante la maduración post-mortem. *12*(1), 61-68.
- Furlan, C. P. B., Valle, S. C., Östman, E., Maróstica Jr, M. R., & Tovar, J. J. J. o. F. F. 2017. Inclusion of Hass avocado-oil improves postprandial metabolic responses to a hypercaloric-hyperlipidic meal in overweight subjects. *38*, 349-354.
- Gruffat, D., Bauchart, D., Thomas, A., Parafita, E., & Durand, D. J. F. C. 2021. Fatty acid composition and oxidation in beef muscles as affected by ageing times and cooking methods. *343*, 128476.
- Gullón, P., Astray, G., Gullón, B., Tomasevic, I., & Lorenzo, J. M. J. M. 2020. Pomegranate peel as suitable source of high-added value bioactives: Tailored functionalized meat products. *25*(12), 2859.
- Han, S., Wang, Y., Fang, Z., Zhang, Y., Zeng, W., Karrar, E., *et al.* 2022. Effect of olive polyphenols on lipid oxidation of high-fat beef during digestion. *Food Research International*, *161*, 111843. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111843>
- Kausar, T., Hanan, E., Ayob, O., Praween, B., & Azad, Z. J. B. 2019. A review on functional ingredients in red meat products. *15*(5), 358.
- Kumar, Y., Yadav, D. N., Ahmad, T., Narsaiah, K. J. C. R. i. F. S., & Safety, F. 2015. Recent trends in the use of natural antioxidants for meat and meat products. *14*(6), 796-812.
- Lima, T. L. S., Costa, G. F. d., ALVES, R. d. N., ARAÚJO, C. D. L. d., SILVA, G. F. G. d., RIBEIRO, N. L., *et al.* 2022. Vegetable oils in emulsified meat products: a new strategy to replace animal fat. *42*.
- López-Gómez, C., Santiago-Fernández, C., García-Serrano, S., García-Escobar, E., Gutiérrez-Repiso, C., Rodríguez-Díaz, C., *et al.* 2020. Oleic acid protects against insulin resistance by regulating the genes related to the PI3K signaling pathway. *9*(8), 2615.
- Los, P., Marson, G., Dutcosky, S., Nogueira, A., Marinho, M., & Silva Simões, D. 2020. Optimization of beef patties produced with vegetable oils: a mixture design approach and sensory evaluation. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, *40*. doi:10.1590/fst.22518
- Macho-González, A., Garcimartín, A., López-Oliva, M. E., Bastida, S., Benedí, J., Ros, G., *et al.* 2020. Can meat and meat-products induce oxidative stress? , *9*(7), 638.

- Macías Fuyo, D. A., & Rodríguez Parra, D. F. 2021. Sustitución de grasa por aceite de aguacate en la elaboración de salchicha tipo Frankfurt.
- Manassi, C. F., de Souza, S. S., de Souza Hassemer, G., Sartor, S., Lima, C. M. G., Miotto, M., *et al.* 2022. Functional meat products: Trends in pro-, pre-, syn-, para-and post-biotic use. *154*, 111035.
- Mandha, J., Shumoy, H., Matem, A. O., & Raes, K. J. F. 2021. Valorization of Mango By-Products to Enhance the Nutritional Content of Maize Complementary Porridges. *10(7)*, 1635.
- Manzoor, A., Ahmad, S., & Yousuf, B. 2022. Effect of bioactive-rich mango peel extract on physicochemical, antioxidant and functional characteristics of chicken sausage. *Applied Food Research*, *2(2)*, 100183. doi:<https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100183>
- Marçal, S., Pintado, M. J. T. i. F. S., & Technology. 2021. Mango peels as food ingredient/additive: Nutritional value, processing, safety and applications. *114*, 472-489.
- Martini, S., Cattivelli, A., Conte, A., & Tagliazucchi, D. 2021. Black, green, and pink pepper affect differently lipid oxidation during cooking and in vitro digestion of meat. *Food Chemistry*, *350*, 129246. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129246>
- Maya, Y. L. I., Molina, D. A. R., Vargas, J. H. L. J. J. o. E., & Technology. 2013. Oxidación lipídica y antioxidantes naturales en derivados cárnicos. *2(2)*.
- Mireles-Arriaga, A. I., Ruiz-Nieto, J. E., Juárez-Abraham, M., Mendoza-Carrillo, M., & Martínez-Loperena, R. J. V. 2017. Functional restructured meat: Applications of ingredients derived from plants. *24(3)*, 196-204.
- Munekata, P. E. S., Rocchetti, G., Pateiro, M., Lucini, L., Domínguez, R., & Lorenzo, J. M. J. C. O. i. F. S. 2020. Addition of plant extracts to meat and meat products to extend shelf-life and health-promoting attributes: An overview. *31*, 81-87.
- Nieto, G., & Lorenzo, J. M. J. C. O. i. F. S. 2021. Use of olive oil as fat replacer in meat emulsions. *40*, 179-186.
- Nieva-Echevarría, B., Goicoechea, E., & Guillén, M. D. 2020. Food lipid oxidation under gastrointestinal digestion conditions: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *60(3)*, 461-478. doi:10.1080/10408398.2018.1538931
- Ordoñez-Torres, A., Torres-León, C., Hernández-Almanza, A., Flores-Guía, T., Luque-Contreras, D., Aguilar, C. N., *et al.* 2021. Ultrasound-microwave-assisted extraction of polyphenolic compounds from Mexican “Ataulfo” mango peels: Antioxidant potential and identification by HPLC/ESI/MS. *32(4)*, 495-502.
- Pacheco-Ordaz, R., Antunes-Ricardo, M., Gutiérrez-Urbe, J. A., & González-Aguilar, G. A. J. I. j. o. m. s. 2018. Intestinal permeability and cellular antioxidant activity of phenolic compounds from mango (*Mangifera indica* cv. Ataulfo) peels. *19(2)*, 514.
- Park, P., & Goins, R. J. J. o. F. s. 1994. In situ preparation of fatty acid methyl esters for analysis of fatty acid composition in foods. *59(6)*, 1262-1266.
- Parvin, R., Zahid, M. A., Seo, J.-K., Park, J., Ko, J., & Yang, H.-S. J. A. 2020. Influence of reheating methods and frozen storage on physicochemical characteristics and warmed-over flavor of nutmeg extract-enriched precooked beef meatballs. *9(8)*, 670.

- Pateiro, M., Domínguez, R., & Lorenzo, J. M. J. F. 2021. Recent Research Advances in Meat Products. *10*(6), 1303.
- Pérez-Báez, A. J., Valenzuela-Melendres, M., Camou, J. P., González-Aguilar, G., Tortoledo-Ortiz, O., González-Ríos, H., *et al.* 2021. Modelling the Effects of Roselle Extract, Potato Peel Flour, and Beef Fat on the Sensory Properties and Heterocyclic Amines Formation of Beef Patties Studied by Using Response Surface Methodology. *10*(6), 1184.
- Pešić, M. B., Milinčić, D. D., Kostić, A. Ž., Stanisavljević, N. S., Vukotić, G. N., Kojić, M. O., *et al.* 2019. In vitro digestion of meat- and cereal-based food matrix enriched with grape extracts: How are polyphenol composition, bioaccessibility and antioxidant activity affected? *Food Chemistry*, 284, 28-44. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.107>
- Pfalzgraf, A., Frigg, M., Steinhart, H. J. J. o. A., & Chemistry, F. 1995. . alpha.-Tocopherol Contents and Lipid Oxidation in Pork Muscle and Adipose Tissue during Storage. *43*(5), 1339-1342.
- Piñero, M. P., Ferrer, M. A., de Moreno, L. A., Leidenz, N. H., & Parra, K. C. J. R. C. 2004. Evaluación de las propiedades físicas de carne para hamburguesas de res bajas en grasas elaboradas con  $\beta$ -glucano. *14*(6), 0.
- Quirós-Sauceda, A. E., Sañudo-Barajas, J. A., Vélez-de la Rocha, R., Domínguez-Avila, J. A., Ayala-Zavala, J. F., Villegas-Ochoa, M. A., *et al.* 2019. Effects of ripening on the in vitro antioxidant capacity and bioaccessibility of mango cv. 'Ataulfo' phenolics. *56*(4), 2073-2082.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. J. F. r. b., *et al.* 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *26*(9-10), 1231-1237.
- Rehman, K., Haider, K., Jabeen, K., Akash, M. S. H. J. R. i. E., & Disorders, M. 2020. Current perspectives of oleic acid: Regulation of molecular pathways in mitochondrial and endothelial functioning against insulin resistance and diabetes. *21*, 631-643.
- Ribeiro, J. S., Santos, M. J. M. C., Silva, L. K. R., Pereira, L. C. L., Santos, I. A., da Silva Lannes, S. C., *et al.* 2019. Natural antioxidants used in meat products: A brief review. *148*, 181-188.
- Rodríguez-Carpena, J. G., Morcuende, D., & Estévez, M. 2012. Avocado, sunflower and olive oils as replacers of pork back-fat in burger patties: Effect on lipid composition, oxidative stability and quality traits. *Meat Science*, *90*(1), 106-115.
- Rodríguez, G. R. V., Ordaz, R. P., & Aguilar, G. A. G. 2018. 18 Cáscara de mango.
- Rosales, R. P., Rodríguez, S. V., & Ramírez, R. C. J. e.-G. 2005. El aceite de aguacate y sus propiedades nutricionales. (3), 0.
- Ryan, E., Aherne-Bruce, S. A., O'Grady, M. N., McGovern, L., Kerry, J. P., & O'Brien, N. M. 2009. RYAN ET AL. BIOACTIVITY OF HERB-ENRICHED BEEF PATTIES.
- Selani, M. M., Shirado, G. A., Margiotta, G. B., Saldaña, E., Spada, F. P., Piedade, S. M., *et al.* 2016. Effects of pineapple byproduct and canola oil as fat replacers on physicochemical and sensory qualities of low-fat beef burger. *112*, 69-76.
- Serdaroğlu, M., Nacak, B., & Karabiyikoğlu, M. 2017. Effects of Beef Fat Replacement with Gelled Emulsion Prepared with Olive Oil on Quality Parameters of Chicken Patties. *Korean journal for food science of animal resources*, *37*(3), 376-384.

doi:10.5851/kosfa.2017.37.3.376

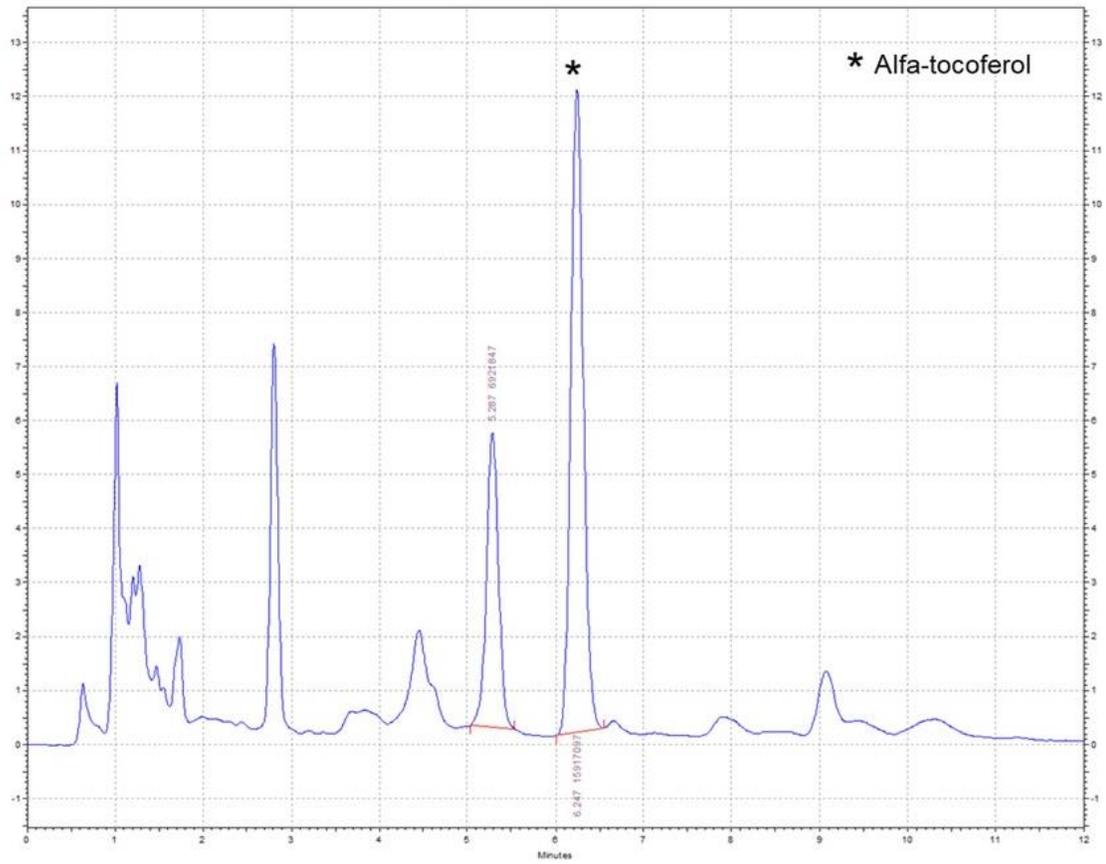
- Singh, R., Chatli, M. K., Biswas, A. K., Sahoo, J. J. J. o. f. s., & technology. 2014. Quality of  $\omega$ -3 fatty acid enriched low-fat chicken meat patties incorporated with selected levels of linseed flour/oil and canola flour/oil. *51*, 353-358.
- Singleton, V. L., Rossi, J. A. J. A. j. o. E., & Viticulture. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *16*(3), 144-158.
- Sogi, D. S., Siddiq, M., Greiby, I., & Dolan, K. D. J. F. c. 2013. Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of 'Tommy Atkins' mango peel and kernel as affected by drying methods. *141*(3), 2649-2655.
- Suleria, H. A., Barrow, C. J., & Dunshea, F. R. J. F. 2020. Screening and characterization of phenolic compounds and their antioxidant capacity in different fruit peels. *9*(9), 1206.
- Sumaya-Martínez, M., Medina-Carrillo, R., González-Ocegueda, E., Jiménez-Ruiz, E., Balois-Morales, R., Sanchez-Herrera, L., *et al.* 2019. Mango (*Mangifera indica* L.) pulping byproducts: Antioxidant activity and bioactive compounds of three mango cultivars. *6*.
- Tirado-Kulieva, V., Atoche-Dioses, S., & Hernández-Martínez, E. J. S. A. 2021. Phenolic compounds of mango (*Mangifera indica*) by-products: Antioxidant and antimicrobial potential, use in disease prevention and food industry, methods of extraction and microencapsulation. *12*(2), 283-293.
- Trujillo-Mayol, I., Viegas, O., Sobral, M. M. C., Casas-Forero, N., Fiallos, N., Pastene-Navarrete, E., *et al.* 2022. In vitro gastric bioaccessibility of avocado peel extract in beef and soy-based burgers and its impact on *Helicobacter pylori* risk factors. *373*, 131505.
- USDA, U. S. D. O. A. 2019. Beef, ground, 80% lean meat / 20% fat, patty, cooked, broiled.
- USDA, U. S. D. O. A. (2021). Oil, safflower. Retrieved from <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/1750350/nutrients>
- Valenzuela Melendres, M., Torrentera Olivera, N. G., Camou Arriola, J. P., Avendaño Reyes, L., González Mendoza, D., & Álvarez Almora, E. G. 2015. Harina de linaza y pasta de tomate para el desarrollo de un alimento cárnico funcional.
- Van Hecke, T., Ho, P., Goethals, S., & De Smet, S. J. F. r. i. 2017. The potential of herbs and spices to reduce lipid oxidation during heating and gastrointestinal digestion of a beef product. *102*, 785-792.
- Vieira, S. A., Zhang, G., & Decker, E. A. J. J. o. t. A. O. C. S. 2017. Biological implications of lipid oxidation products. *94*(3), 339-351.
- Xiong, Y. L., & Guo, A. J. F. 2020. Animal and plant protein oxidation: Chemical and functional property significance. *10*(1), 40.
- Youssef, M., & Barbut, S. J. M. S. 2011. Fat reduction in comminuted meat products-effects of beef fat, regular and pre-emulsified canola oil. *87*(4), 356-360.
- Zafra Ciprián, D. I., Villalobos Delgado, L. H., & Gómez Cansino, R. 2021. Uso de extractos de cáscara de mango (*mangifera indica* l.) como aditivo natural multifuncional sobre un producto cárnico con dos diferentes formas de procesamiento.
- Zahid, A., Seo, J.-K., Park, J.-Y., Jeong, J.-Y., Jin, S.-K., Park, T.-S., *et al.* 2018. The Effects of

Natural Antioxidants on Protein Oxidation, Lipid Oxidation, Color, and Sensory Attributes of Beef Patties during Cold Storage at 4°C. *Korean journal for food science of animal resources*, 38(5), 1029-1042. doi:10.5851/kosfa.2018.e36

Zhou, H., Hu, Y., Tan, Y., Zhang, Z., & McClements, D. J. J. F. c. 2021. Digestibility and gastrointestinal fate of meat versus plant-based meat analogs: An in vitro comparison. *364*, 130439.

Procuraduría Federal del Consumidor (2019). Estudio de Calidad de Carne para Preparar Hamburguesa. Ciudad de México, México. Revista del Consumidor. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/497922/ESTUDIO CALIDAD CARNE HAMBURGUESA.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/497922/ESTUDIO_CALIDAD_CARNE_HAMBURGUESA.pdf)

## 10. ANEXOS



**Figura 11.** Cromatograma de cuantificación de alfa-tocoferol en aceite de aguacate comercial.