



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

**EFFECTO DEL TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO SOBRE LA
CALIDAD DE HAMBURGUESAS DE RES ADICIONADAS CON
PASTA DE TOMATE**

Por:

Cynthia Guadalupe Ramírez Valenzuela

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

APROBACIÓN Y FIRMAS

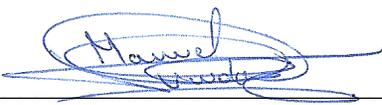
Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Cynthia Guadalupe Ramírez Valenzuela la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias.



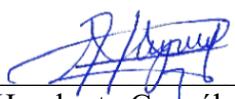
Dr. Martín Valenzuela Melendres
Director de tesis



Dra. Luz del Carmen Montoya Ballesteros
Integrante del comité de tesis



Dr. Manuel Viuda Martos
Integrante del comité de tesis



Dr. Humberto González Ríos
Integrante del comité de tesis

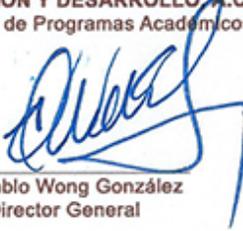
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis “Caracterización de la Respuesta Fisiológica y Bioenergética de la Medusa Bola de Cañón *Stomolophus meleagris* al Estrés Térmico” 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 Cintya Alejandra Nevárez López, 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 manuscrito en cuestión del director(a) de tesis.



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


Dr. Pablo Wong González
Director General

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgarme el apoyo económico indispensable durante el periodo de estudio en el posgrado de Maestría en Ciencias.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.) por brindarme la oportunidad de formar parte de su programa de posgrado y poder realizar la Maestría en Ciencias y cumplir un objetivo más en mi formación académica, y permitirme el uso de sus instalaciones.

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. Juan Pedro Camou Arriola[†], Dr. Humberto González Ríos, Dra. Luz del Carmen Montoya Ballesteros y Dr. Manuel Viuda Martos.

A mi Director de Tesis, Dr. Martín Valenzuela Melendres por abrirme las puertas a su equipo de trabajo y por haberme asesorado durante la maestría. Por sus consejos, tiempo, apoyo y dedicación en mis estudios. No hay suficientes palabras para agradecerle.

Al Dr. Juan Pedro Camou Arriola [†] por sus consejos, apoyo y ser una guía muy importante en este proyecto. Siempre lo extrañaremos.

Al I. Q. Luis Germán Cumplido Barbeitia por la ayuda técnica en el área de planta piloto, la cual fue muy útil para la elaboración de este proyecto.

A la Q. B. Thalia Ilsava Lagarda por su apoyo técnico otorgado durante el desarrollo de trabajo en el laboratorio.

Al M.C. Orlando Tortoledo, por la ayuda brindada y apoyo técnico durante este proyecto.

A la cDra. Anna Judith Pérez Báez por su enorme paciencia, sus consejos, sus asesorías y apoyo en todo momento. Gracias por ser una excelente guía y una gran compañera de trabajo.

Al Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Carne, por su apoyo en todo momento. A mis compañeros y amigos L.C.N. Nallely Peñúñuri Pacheco, Q.A. Alejandro Fregoso López, L.N.H. Mario Alberto Gutiérrez Chocoza, cDra. Anna Judith Pérez Báez, Q.A. Ana Laura Flores Saucedá[†]. Q.A. Francisco Javier Alday Palafox, M.C. Julio Alfonso González Noriega, y M.C. Samaria Lisdeth Gutiérrez Pacheco. Muchas gracias a todos porque fueron parte fundamental en este trabajo, por su apoyo, conocimientos, consejos, y amistad. Siempre estaré agradecida.

DEDICATORIA

Principalmente quiero dedicar este trabajo a mis padres, María Valenzuela y Tomás Ramírez, y mis hermanos, Anahí y Alejandro Ramírez, por haberme apoyado en mis estudios y estar presente en cada uno de mis logros, al ofrecer su ayuda, sus consejos y siempre enseñándome a ser mejor persona. Siempre estaré eternamente agradecida por todo lo que me han dado. Los amo.

A mis amigos y compañeros de trabajo, Nallely, Alejandro y Mario. Gracias por toda su ayuda, sus consejos, sus risas, su amistad y su apoyo. No pudo tocarme mejor equipo de trabajo y amigos, los quiero mucho.

Al Dr. Juan Pedro[†] y Ana Laura[†], por sus consejos y su apoyo incondicional. Siempre los llevaré en mi corazón y pensamientos. Gracias por haber sido parte de mi vida.

A mis amigos de la Unison: Rosavelia, Mariana, Alejandro, Martín, Luis Fernando, Alicia, Luis Gerardo, María Alejandra y Cielo, porque siempre formaran parte de una gran etapa de mi vida. Los quiero.

A cada uno de los compañeros del Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Carne por su apoyo y gran amistad.

A Juan Manuel por ser una persona que siempre está al pendiente de mí, por alentarme y ser un gran apoyo en los momentos difíciles. Muchas gracias.

CONTENIDO

APROBACIÓN Y FIRMAS	2
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL	3
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	5
LISTADO DE CUADROS	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTADO DE FORMULAS	8
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUCCIÓN	12
2. ANTECEDENTES	14
2.1. Composición Química y Nutricional de la Carne de Res.....	14
2.2. Aspectos Relacionados con el Consumo de Carne y Productos Cárnicos y la Salud.....	14
2.3. Alimentos Cárnicos Funcionales.....	15
2.3.1. Ingredientes Potenciales para Productos Cárnicos Funcionales.....	16
2.3.2. Impacto en la Calidad Físicoquímica, Sensorial y Composición Nutricional por la Adición de Ingredientes Potenciales en Productos Cárnicos Funcionales.....	17
2.3.3. Efecto de Componentes Bioactivos en Productos Cárnicos sobre la Salud del Consumidor.....	18
2.4. Métodos de Cocción de Carne y Productos Cárnicos e Impactos en la Calidad.....	19
2.4.1. Cocinado en Plancha.....	20
2.4.2. Cocinado en Horno de Microondas.....	20
2.4.3. Cocinado en Horno de Convección.....	21
2.5. Tomates Roma (<i>Solanum lycopersicum</i>) en la Elaboración de Productos Cárnicos.....	21
2.5.1. Perfil Químico y Nutricional del Tomate Roma (<i>Solanum lycopersicum</i>).....	22
2.5.2. Bioaccesibilidad de Compuestos Carotenoides.....	23
3. HIPÓTESIS	25
4. OBJETIVOS	26
4.1. Objetivo General.....	26
4.2. Objetivos Específicos.....	26
5. MATERIALES Y MÉTODOS	27
5.1. Diseño Experimental.....	27
5.2. Obtención y Preparación de Materia Prima.....	27
5.3. Preparación de Hamburguesas.....	28
5.4. Rendimiento por Cocción (RPC).....	28
5.5. Potencial de Hidrógeno (pH).....	29
5.6. Análisis Proximal.....	29

CONTENIDO (continuación)

5.7. Determinación de Color (CIE $L^* a^* b^*$)	29
5.8. Análisis de Perfil de Textura (APT)	30
5.9. Prueba del Ácido Tiobarbitúrico (TBA).....	31
5.10. Perfil de Ácidos Grasos	31
5.11. Determinación e Identificación de Carotenoides.....	32
5.12. Análisis Estadístico	33
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
6.1. Caracterización de la Materia Prima	34
6.2. Propiedades Fisicoquímicas y Análisis Proximal de Hamburguesas de Res Adicionadas con Pasta de Tomate, Cocinadas por Diferentes Métodos	36
6.2.1. Rendimiento por Cocción	36
6.2.2. Potencial de Hidrógeno (pH)	38
6.2.3. Análisis Proximal.....	40
6.2.4. Determinación de Color (CIE $L^* a^* b^*$)	42
6.2.5. Análisis de Perfil de Textura (APT)	44
6.2.6. Prueba del Ácido Tiobarbitúrico.....	48
6.3. Perfil de Ácidos Grasos	50
6.4. Determinación e Identificación de Carotenoides.....	53
7. CONCLUSIONES	55
8. RECOMENDACIONES	56
9. REFERENCIAS	57

LISTADO DE FIGURAS

Figura		Página
1	Rendimiento por cocción (%) de hamburguesas de carne de bovino adicionadas con pasta de tomate y sometidas a cocción en horno de convección (HC), horno de microonda (HM) y plancha (PL).....	38
2	Valores de pH de hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate, cocinadas en horno de convección (HC), horno de microonda (HM) y plancha (PL).....	40
3	Valores de color instrumental de hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate y sometidas a cocción por horno de convección (HC), horno microondas (HM) y plancha (PL).....	44
4	Evaluación de la dureza y masticabilidad de hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate sometidas a cocción en horno de convección (HC), horno de microondas (HM) y plancha (PL).....	47
5	Evaluación de la elasticidad y cohesividad de hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate sometidas a cocción en horno de convección (HC), horno de microondas (HM) y plancha (PL).....	49
6	Valores de TBA de hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate cocinadas en horno de convección (HC), horno de microondas (HM) y plancha (PL).....	51

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición química proximal (%), color instrumental y pH de la pasta de tomate, carne de res y hamburguesas crudas adicionadas con 0, 5 y 10% de pasta de tomate.....	36
2	Contenido de carotenoides ($\mu\text{g}/100\text{g}$) del tomate, pasta de tomate y hamburguesas crudas adicionadas con 0, 5 y 10% de pasta de tomate.....	37
3	Composición química proximal (%) de hamburguesas de res adicionadas con 0, 5 y 10% de pasta de tomate; cocinadas en horno de convección, horno de microondas y plancha.....	42
4	Perfil de ácidos grasos de hamburguesas de res adicionadas con 0, 5 y 10% de pasta de tomate; cocinadas en horno de convección, horno de microondas y plancha.....	55
5	Contenido de carotenoides ($\mu\text{g}/100\text{g}$) en hamburguesas de res adicionadas con 0, 5 y 10% de pasta de tomate (PT); cocinadas en horno de convección (HC), horno de microondas (HM) y plancha (PL).....	56

RESUMEN

La hamburguesa es un producto cárnico y como tal es vista con reservas por el consumidor debido a su contenido de grasas saturadas, colesterol, sal y su relación con enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. Incorporar nuevos ingredientes con propiedades bioactivas en formulaciones de hamburguesas es una buena estrategia para desarrollar productos más saludables. Determinar los impactos del nuevo ingrediente sobre la calidad del producto, es el primer paso en el desarrollo de nuevos productos. El tomate es un ingrediente con potencial en productos cárnicos pues es fuente de carotenoides que se relacionan con la prevención de enfermedades cardiovasculares y cáncer. Los antioxidantes presentes en el tomate pueden mejorar la calidad al disminuir la oxidación lipídica. Por otro lado, las hamburguesas pueden ser preparadas por diferentes métodos como la cocción en horno de microondas, horno de convección o plancha y afectan la calidad de diferentes maneras. Evidenciar estos efectos puede ser de interés para el procesador enfocado en el desarrollo de nuevos productos cárnicos. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos e interacciones del método de cocción (microondas, horno de convección y plancha) y adición de pasta de tomate (0, 5 y 10%) sobre la calidad de hamburguesas de res. Las evaluaciones realizadas fueron: rendimiento por cocinado, pH, análisis proximal, color instrumental, TBA, análisis de perfil de textura, perfil de ácidos grasos y determinación e identificación de carotenoides. La adición de pasta de 5 y 10 % de tomate disminuyó el rendimiento, pH y textura del producto; por otro lado, mejoró el color, redujo la oxidación de lípidos y aumentó los contenidos de licopeno, luteína y β -caroteno ($p < 0.05$). El tratamiento en plancha tuvo el mayor rendimiento, provocó menor oxidación lipídica y tuvo menor impacto en la textura al compararlo con los métodos de microonda y convección ($p < 0.05$); además, los carotenoides fueron más estables cuando el producto fue cocido con este método. La información generada en el presente estudio puede ser de utilidad para el procesador de alimentos interesado en el desarrollo de nuevos productos cárnicos. Son necesarias futuras investigaciones para determinar los efectos de la adición de pasta de tomate y métodos de cocción sobre las propiedades sensoriales del producto. Importantes son también estudios sobre la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los carotenoides.

Palabras clave: pasta de tomate, carotenoides, hamburguesa de res, calidad de productos cárnicos

ABSTRACT

Beef patties is a meat product and as such, it is viewed with reservations by the consumer due to its content of saturated fat, cholesterol, salt, and its relationship with cardiovascular diseases and certain types of cancer. Incorporating new ingredients with bioactive properties in beef patties formulations is a good strategy to develop healthier products. Determining the impacts of the new ingredient on product quality is the first step in new product development. Tomato is an ingredient with the potential to be incorporated into meat products as it is a source of carotenoids that are related to the prevention of cardiovascular diseases and cancer. The antioxidants present in tomatoes can also improve the quality of the product by reducing lipid oxidation. On the other hand, beef patties can be prepared by different methods that include cooking in a microwave oven, convection oven or griddle and affect the quality of the product in different ways. Evidence of these effects may be of interest to the processor focused on the development of new meat products. The objective of this work was to evaluate the effects and interactions of the cooking method (microwave, convection oven, and griddle) and the addition of tomato paste (0, 5, and 10%) on the quality of beef patties. The evaluations carried out were: cooking yield, pH, proximal analysis, instrumental color, TBA, texture profile analysis, fatty acid profile, and determination and identification of carotenoids. The addition of tomato paste decreased the cooking yield, pH, and texture of the product; on the other hand, it improved color, reduced lipid oxidation, and increased lycopene, lutein, and β -carotene content. Griddle treatments had the highest cooking yield, caused less lipid oxidation, and had the least impact on the texture when compared to the microwave and convection methods; furthermore, the carotenoids were more stable when the product was cooked with this method. The information generated in this study may be useful for the food processor interested in the development of new meat products. Future research is necessary to determine the effects of the addition of tomato paste and cooking methods on the sensory properties of the product. Important are also studies on the bioavailability and bioavailability of carotenoids.

Keywords: tomato paste, carotenoids, beef patties, meat products quality

1. INTRODUCCIÓN

La carne es un alimento de gran valor nutricional, sus proteínas son de alto valor biológico en comparación con proteínas de fuentes vegetales (Scollan *et al.*, 2014). Es también una excelente fuente de minerales como el hierro, zinc y selenio, además de vitaminas, principalmente del complejo B (Bohrer, 2017). La carne fresca es ofrecida al consumidor en forma de bistec, en filete o carne molida, principalmente. Ésta última es la base para preparar hamburguesas tanto en el hogar como en establecimientos para su venta al público. La hamburguesa es un producto cárnico con buenos atributos sensoriales, accesible, de bajo costo y muy popular entre los consumidores de carne; sin embargo, su consumo se ha relacionado a enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer debido principalmente a su contenido de grasas saturadas, colesterol y sal (Demeyer *et al.*, 2008; Domingo y Nadal, 2017). Consecuentemente, es indispensable mejorar el perfil nutricional de productos como las hamburguesas a través del desarrollo de nuevos productos cárnicos que impacten positivamente en la salud del consumidor (López-López *et al.*, 2011). Una de las estrategias para lograrlo es reformulando los productos tradicionales adicionando ingredientes no convencionales con alto contenido de compuestos bioactivos y con probado efecto en la salud.

El tomate roma (*Solanum lycopersicum*) es un alimento con potencial de ser utilizado como ingrediente en la formulación de productos cárnicos saludables pues contiene antioxidantes, incluidos el licopeno, β -caroteno, el fitoeno, el fitoflueno y la luteína, además de compuestos fenólicos que se relacionan con la prevención de enfermedades cardiovasculares y cáncer (Kang *et al.*, 2010). Asimismo, son distinguidos como compuestos favorables para la salud humana debido a su actividad pro-vitamina A y su capacidad para atrapar el oxígeno y los radicales peroxilo (Doménech-Asensi *et al.*, 2013). Datos epidemiológicos respaldan la conexión entre el aumento del consumo de tomate y la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares y cáncer de próstata (Canene-Adams *et al.*, 2005).

Por otro lado, las hamburguesas pueden ser preparadas por diversos métodos que incluyen la cocción en horno de microonda, horno de convección y plancha. Los principales elementos que difieren entre estas técnicas son la temperatura superficial de la carne durante su cocción y el tipo de transferencia de calor que incluye convección o conducción por contacto (O'Neill *et al.*, 2019).

Durante el cocinado en horno de microonda el ambiente circundante es aire frío y solo la temperatura del alimento se eleva durante la cocción. En el cocinado con horno de convección la transferencia de calor de la fuente al producto depende del movimiento del aire, mientras que, en la cocción con plancha, el calor es seco y el alimento está rodeado de aire caliente. Estas diferencias influyen en gran medida en la calidad fisicoquímica, sensorial y nutricional de los productos cárnicos (Ayub *et al.*, 2019; Menezes *et al.*, 2018; Nisar; *et al.*, 2010). Evidenciar los efectos de los métodos de cocción sobre la calidad del producto puede ser de interés para los procesadores de alimentos que desarrollan nuevos productos.

La adición de un nuevo ingrediente en una formulación cárnica impacta en la calidad fisicoquímica y sensorial, además de su composición nutricional. Los métodos de preparación y conservación del alimento influyen también en gran medida en la calidad y deben ser evaluados durante el desarrollo de los nuevos productos. Evaluar los efectos del nuevo ingrediente y de las técnicas de preparación sobre la calidad del producto, es el primer paso en el desarrollo de alimentos cárnicos destinados a mejorar la salud del consumidor. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos e interacciones del método de cocción y adición de pasta de tomate sobre la calidad de hamburguesas de res.

2. ANTECEDENTES

2.1 Composición Química y Nutricional de la Carne de Res

La composición química de la carne bovina tiene gran relevancia debido a su posible atribución nutricional a la salud humana (Schor *et al.*, 2008). Se considera carne aquellos tejidos animales que han sido evaluados como inocuos y aptos para el consumo humano. La composición nutricional y las propiedades fisicoquímicas se ven influenciadas por la raza, la dieta y el tipo de corte (Hall *et al.*, 2016; Oh *et al.*, 2016).

En general, la carne de bovino está constituida por 55-75% de agua, 16-22% de proteína y aproximadamente 10% de grasa (FAO, 2015). Además, contiene micronutrientes como hierro, cobre, manganeso, selenio y zinc, y algunas vitaminas del complejo B (Cabrera *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2013). También aporta cantidades importantes de ácido linoleico conjugado (CLA, 18:2), un ácido graso *trans* que se encuentra en los alimentos derivados de rumiantes (Poletti *et al.*, 2020). Hoy en día los consumidores tienen más conocimiento sobre las relaciones entre dieta, salud y bienestar que los conduce a la elección de alimentos más saludables y nutritivos (Scollan *et al.*, 2014). Por lo tanto, existe la necesidad de mejorar la imagen de la carne y sus productos a través del desarrollo de productos beneficiosos para la salud (López-López *et al.*, 2011).

2.2 Aspectos Relacionados con el Consumo de Carne y Productos Cárnicos y la Salud

La carne es considerada como un alimento de gran valor nutricional (Bohrer, 2017) y un importante componente de una dieta saludable y equilibrada. Las proteínas de la carne son de alto valor biológico en comparación con proteínas de fuentes vegetales (Scollan *et al.*, 2014). Las vitaminas contenidas en 100 g de carne de res contribuye cerca del 25% de la ingesta dietética recomendada de vitaminas del complejo B (Williams, 2007). Además, la carne es una fuente valiosa de hierro hemo, importante en el desarrollo y crecimiento infantil (Pereira *et al.*, 2013). Sin embargo, es

deficiente en carbohidratos complejos como la fibra (Das *et al.*, 2020).

Existen dudas sobre los efectos potencialmente negativos de la carne roja y la incidencia de riesgo de enfermedades no transmisibles (Smith *et al.*, 2020). No obstante, el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer sugiere que hay un leve aumento en el riesgo de cáncer de colon, y en menor medida cáncer de páncreas, próstata y estómago asociados con un alto consumo de carne roja o procesada (OMS, 2015). Otros estudios relacionan el incremento en la incidencia de padecer cáncer con el contenido de grasa, residuos de medicamentos o contaminantes, tipo de procesamiento y método de cocción de la carne (Larsson *et al.*, 2013).

Una alimentación encaminada a disminuir el riesgo de enfermedades no transmisibles se basa en el fomento de patrones de alimentación saludable y dietas de alta calidad (López-Suárez, 2019), donde se promueva el consumo de cereales integrales, frutos secos, legumbres, frutas y verduras. En el caso de la carne roja, se recomienda elegir cortes magros y comer porciones pequeñas (Klurfeld, 2015; Kushi *et al.*, 2012; Schüz *et al.*, 2015).

2.3 Alimentos Cárnicos Funcionales

Actualmente se ha cambiado el enfoque de la nutrición, ya no se busca solo mantener la vida, suministrar energía o promover el crecimiento, sino que también existe un fuerte interés en prevenir enfermedades y mejorar la salud física y mental de los consumidores (Ye *et al.*, 2018). Los alimentos funcionales son cada vez menos raros en el mercado debido a la preferencia de los consumidores que buscan un estilo de vida más saludable (Plasek *et al.*, 2019). Se considera alimento funcional a aquel producto que contiene uno o más ingredientes en su formulación proveniente de fuentes naturales y al consumirlos aporte la regulación de funciones específicas del cuerpo o prevenga enfermedades relacionadas con la nutrición (Domínguez Díaz *et al.*, 2020; Khan *et al.*, 2011).

En este sentido, científicos y centros de investigación han realizado esfuerzos para reformular productos cárnicos más saludables, añadiendo compuestos bioactivos de fuentes vegetales, fibra y eliminando o disminuyendo ingredientes potencialmente dañinos para la salud como grasa, sal y aditivos (Kaur *et al.*, 2019).

2.3.1 Ingredientes Potenciales para Productos Cárnicos Funcionales

Desarrollar productos cárnicos funcionales se puede lograr a través de dos esquemas principales: la disminución de sustancias poco saludables y/o el aumento de compuestos bioactivos. Dicha tendencia está relacionada con el uso de componentes naturales, incluidos los subproductos de la industria agroalimentaria (Gómez *et al.*, 2018).

La fibra dietética, péptidos de origen animal o vegetales, compuestos fenólicos, vitaminas, pigmentos naturales, ácidos grasos poliinsaturados y granos integrales son los ingredientes y compuestos bioactivos más estudiados y aplicados en la industria cárnica debido a que pueden aumentar la calidad y mejorar la percepción de los consumidores hacia la carne y sus productos (Munekata *et al.*, 2020; Neri-Numa *et al.*, 2020).

Varios estudios han evaluado el efecto de incorporar ingredientes altos en fibra a la formulación de productos cárnicos, como la fibra de remolacha azucarera en emulsiones de carne (Ağar *et al.*, 2016), fibra de piña en salchichas de res (Henning *et al.*, 2016), fibra cítrica y salvado de arroz en salchichas tipo frankfurter (Petridis *et al.*, 2014), fibra de caña de azúcar en salchichas de pollo (Fang *et al.*, 2019) y cáscara de fruta de dragón en nuggets de pollo (Madane *et al.*, 2020).

Por otro lado, los compuestos fenólicos son considerados como el grupo activo de los extractos de plantas (Roohinejad *et al.*, 2017) y sus actividades antioxidantes se deben a la capacidad de eliminación de radicales libres, quelación de metales prooxidantes y su intervención como agentes reductores (Mohajer *et al.*, 2016). Los tes poseen alto contenido de compuestos fenólicos (Muñoz-Velázquez *et al.*, (2012), por lo que se han utilizado. Se han utilizado extractos de té verde, té oolong, té negro y extractos de hojas de olivo en carne de cerdo (Yang *et al.*, 2016), comino, cardamomo y clavo en polvo en carne de res para mejorar la estabilidad oxidativa (Mir *et al.*, 2017). Se han incorporado aceites esenciales de romero (*Rosmarinus officinalis*) y cáscara de granada en carne de res (Hadian *et al.*, 2017; Morsy *et al.*, 2018) y extractos de romero mexicano en carne de cerdo (Hernández-Hernández *et al.*, 2017) para extender la vida útil de estos productos.

Por lo anterior, agregar ingredientes o compuestos bioactivos a formulación cárnica puede ser ventajoso para la salud. Sin embargo, estas adiciones no deben comprometer la calidad general de los productos.

2.3.2 Impacto en la Calidad Fisicoquímica, Sensorial y Composición Nutricional por la Adición de Ingredientes Potenciales en Productos Cárnicos Funcionales

La calidad de la carne es un factor determinante para el interés y aceptabilidad de los consumidores hacia los productos. Es descrita en términos de calidad de alimentación o de procesamiento. La percepción de calidad del consumidor se basa en el valor nutrimental, apariencia física y sabor (Pophiwa *et al.*, 2020). Actualmente se han manifestado interés en los alimentos adicionados con ingredientes que pueden ser beneficiosos para la salud (Hung *et al.*, 2016). No obstante, es necesario que dichos ingredientes no comprometan la calidad del producto reformulado y al mismo tiempo se conserven los efectos positivos a la salud del consumidor.

Ranucci *et al.* (2018) elaboraron salchichas tipo Frankfurt adicionadas con trigo y almendras, resultando un producto con alto contenido de fibra, pero la vida útil sensorial fue relativamente corta. Ese mismo caso se repitió en un producto cárnico tipo mortadela enriquecido con arándanos, ciruelas pasas, nueces pecanas y linaza (Reyes-Padilla *et al.*, 2018), el cual presentó bajos niveles de grasa total, alto contenido de ácidos grasos polinsaturados y compuestos bioactivos antioxidantes, pero tuvo poca aceptabilidad sensorial. En otro estudio, realizado por Reis *et al.* (2017), se adicionó propóleo microencapsulado a carne de hamburguesa, logrando inhibir la oxidación de lípidos y manteniendo la aceptabilidad sensorial de la carne.

Pateiro *et al.* (2018) encontraron que el extracto de semilla de guaraná (*Paullinia cupana*) fue útil para proteger a la carne de cerdo de la oxidación lipídica y mejoró el color. Mientras que en albóndigas de carne adicionadas con polvo de cáscara de granada liofilizada no se observaron efectos negativos en calidad sensorial y retrasó la oxidación de lípidos (Turgut *et al.*, 2016). Añadir extractos de hojas de olivo como sustitos de grasa a emulsiones dobles, mejoró la estabilidad oxidativa y perfil lipídico de sistemas de carne (Robert *et al.*, 2019).

Sustituir hasta la mitad de grasa animal con aceite de semilla de uva preemulsionado dio como resultado una mejora en las características de calidad de emulsiones de carne (Kim *et al.*, 2020). Enriquecer emulsiones de carne con champiñones (*Agaricus bisporus*) en polvo generó una emulsión con características más firmes y estables (Kurt *et al.*, 2018). Agregar geles de mucilago de chíá (*Salvia hispanica L.*) mejoró la estabilidad de emulsiones cárnicas (Câmara *et al.*, 2020).

Añadir ingredientes bioactivos a formulaciones cárnicas sin afectar la calidad, incluso mejorarla es

solo un paso del desarrollo de un alimento funcional. Es necesario investigar y comprobar que la adición de ingredientes o compuestos bioactivos ejercerá un efecto benéfico a la salud.

2.3.3 Efecto de Componentes Bioactivos en Productos Cárnicos sobre la Salud del Consumidor

El objetivo final de los alimentos funcionales es obtener uno o más beneficios para la salud del consumidor. El desarrollo de alimentos funcionales implica la evaluación del posible efecto funcional utilizando modelos *in vitro* e *in vivo* para conocer los mecanismos de acción, la relación función-respuesta *in vivo*, la correlación dosis-respuesta y los efectos adversos (Olmedilla-Alonso *et al.*, 2013).

Moreira *et al.* (2013) desarrollaron un producto cárnico que contenía algas marinas. Dicho alimento fue suministrado en la dieta de ratas durante cinco semanas y dio como resultado una disminución en el peso de estos animales. Esto posiblemente se deba a la biodisponibilidad de baja energía y alto contenido de polifenoles de algas marinas agregadas. La carne enriquecida con algarrobo (*Ceratonia siliqua*) bloqueó parcialmente los efectos negativos de la dieta alta en grasas saturadas, modulando la hipertrigliceridemia, la sobreproducción de lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) y los niveles receptores de lipoproteínas de baja densidad (LDL), mejoraron la vía de señalización de la insulina en ratas diabéticas inducidas por una dieta rica en grasas saturadas (Macho-González *et al.*, 2020).

Solomando *et al.* (2020) añadieron microcápsulas de aceite de pescado a productos cárnicos cocidos y curados seco. Se logró un enriquecimiento en ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA) y la posible etiqueta de “fuente de ácidos grasos omega 3” por parte de la legislación de la Unión Europea. Câmara *et al.* (2020) reformularon un producto cárnico con mucílago de chíá para sustituir parcialmente la grasa. Correlacionaron las sensaciones subjetivas del apetito y los resultados de la digestión *in vitro*. Llegaron a la conclusión de que sustituir una parte de la grasa por mucílago de chíá tuvo la misma capacidad saciante que la fuente convencional de grasa saturada comúnmente utilizada en formulaciones comerciales.

Se encontró que la suplementación dietaria de extractos de semilla de uva a pavos (Kuffa *et al.*,

2009), disminuye la concentración de lípidos oxidados en el torrente sanguíneo de los animales después de la ingesta de alimentos.. Daly *et al.* (2010) adicionaron luteína, sésamo y ácido elálgico a hamburguesas de cerdo y res. Los resultados demuestran que estos ingredientes agregados en la carne de cerdo tuvieron efectos citoprotectores, pero no sucedió cuando fueron añadidos a las hamburguesas de res.

La adición de semillas de chía y puré goji a una matriz cárnica (Antonini *et al.*, 2020) mejoró el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante total en productos antes y después de la digestión, lo que insinúa una mejor bioaccesibilidad de los compuestos antioxidantes y una posible mayor biodisponibilidad. El salami suplementado con fibra y un iniciador probiótico (Pérez-Burillo *et al.*, 2020) mejoró algunos marcadores inflamatorios e inmunológicos, marcadores plasmáticos antioxidantes y producción de butirato.

No obstante, la evidencia sobre los efectos benéficos hacia la salud por alimentos cárnicos funcionales es relativamente escasa en comparación con los estudios que se realizan para analizar la calidad sensorial, fisicoquímica y composición nutricional de dichos productos. Por lo tanto, las investigaciones sobre desarrollo de productos funcionales cárnicos deberían exhibir y demostrar los efectos positivos a la salud humana.

2.4 Métodos de Cocción de Carne y Productos Cárnicos e Impactos en la Calidad

La cocción de la carne se puede definir como la temperatura suficiente para desnaturalizar las distintas proteínas contenidas, condición que generalmente sucede cuando se alcanza una temperatura interna de 71.1 °C (Ángel-Rendón *et al.*, 2020). Se ha descrito que la cocción de carne roja influye en la textura, sabor y olor, así como la biodisponibilidad de nutrientes, el contenido de agua, vitaminas y minerales (Ayub *et al.*, 2019; Menezes *et al.*, 2018; Nisar; *et al.*, 2010). La cocción ayuda a la produce cambios en los sabores y textura de la carne, puede disminuir la cuenta de microorganismos y, extiende la vida útil de los productos cárnicos. Dichos cambios dependen del método de tratamiento térmico, ambiente de cocción (seco o húmedo), la temperatura y el tiempo de cocción (Abdel-Naeem *et al.*, 2021).

Los distintos métodos de tratamiento térmico más utilizados se dividen en emplear temperaturas

menores a 100 °C; temperaturas altas como hornear y freír; y muy altas, como la parrilla. La elección del proceso de cocción depende de la matriz, tiempo y el gusto del consumidor (Menezes *et al.*, 2018). Entre los métodos más comunes se encuentran el cocinado en plancha, microondas y horno de convección.

2.4.1 Cocinado en Plancha

El cocinado en plancha es una técnica que consiste en colocar el alimento en una placa que va directamente sobre el fuego, lo que implica el uso de temperaturas por arriba de los 140 °C, y provoca el desarrollo reacciones de Maillard, importantes para la producción de compuestos orgánicos volátiles, implicados con los sabores y el color tostado de la carne (Ortuño *et al.*, 2021). Además, en este método no es necesario añadir grasa. Bainy *et al.* (2015) encontraron que asar hamburguesas de pescado favoreció el incremento de la fuerza de corte a causa del menor rendimiento de cocción y la retención de agua, además se obtuvo un color menos rojizo. Por otro lado, Menezes *et al.* (2018) observaron una pérdida significativa de minerales en carne de pollo, puerco y res, cuando éstas se sometieron a un técnica de asado en comparación con hervir los mismos alimentos.

Es poca la información acerca de los efectos del cocinado en plancha sobre productos cárnicos. No obstante, este tipo de cocción puede ocasionar la pérdida de micronutrientes por las temperaturas utilizadas.

2.4.2 Cocinado en Horno de Microondas

Dentro de los métodos de cocción más populares se encuentra el microondas; es una tecnología de cocción dieléctrica que utiliza energía de ondas electromagnéticas en el rango de frecuencia de 0,3 a 300 GHz. Esta tecnología transfiere la energía directo a los materiales por medio de campos electromagnéticos. Las moléculas dipolares de los materiales alimentarios originan movimiento y

fricción en la inducción del campo de microondas, lo que conduce a la producción de calor (Xu *et al.*, 2021). Esta técnica implica ahorro de energía y tiempo; sin embargo, se ha visto que la pérdida de agua es mayor en comparación con otros métodos convencionales (Menezes *et al.*, 2018; Nisar; *et al.*, 2010). La calidad de los alimentos cocinados en microondas es cuestionado por los consumidores por los posibles efectos de la radiación hacia la salud (MacMartin *et al.*, 2017).

Por otro lado, en un estudio se encontró que la digestibilidad de las proteínas en carne de cerdo se optimizó a través de la cocción por microondas o al horno (Luo *et al.*, 2018). Das *et al.* (2013) elaboraron hamburguesas de carne de cabra con distintos niveles de grasa y encontraron que el tiempo de cocción en microondas se reduce cuando dichos niveles aumentan. Además, al incrementar la grasa, disminuye el contenido de proteína y humedad. Los hornos de microondas podrían usarse para reemplazar el cocinado en hornos convencionales.

2.4.3 Cocinado en Horno de Convección

El horno de convección utiliza un sistema de ventilación que provoca la circulación uniforme de aire caliente. Con este método se logra un cocinado rápido y homogéneo. No obstante, Menezes *et al.* (2018) observaron pérdidas de minerales y proteínas, además de una baja bioaccesibilidad, cuando varias matrices cárnicas se sometieron a un horneado.

MacMartin *et al.* (2017), no reportaron diferencias sensoriales en hamburguesas calentadas en horno de cocción rápida en comparación de las hamburguesas asadas en una parrilla. Pawar (2002) encontraron que cocinar productos a base de carne en horno de aire caliente, resultaba en mejores puntuaciones sensoriales en comparación con productos cocinados en microondas. Preparar hamburguesas con un horno de convección podría ser beneficioso para los establecimientos de servicio de alimentos porque permite la reducción de tiempos de cocinado.

2.5 Tomates Roma (*Solanum lycopersicum*) en la Elaboración de Productos Cárnicos

Los tomates son una fuente relevante de compuestos bioactivos, como vitamina C y vitamina E,

carotenoides y compuestos fenólicos asociados con la prevención de enfermedades no transmisibles (Ochoa-Velasco, 2014). Por esta razón, el tomate ha sido utilizado como ingrediente potencial para mejorar formulaciones cárnicas en relación con la calidad y salud (Ilahy *et al.*, 2011). Los subproductos de tomate parecen tener una buena aplicación como fuente de antioxidantes en matrices cárnicas por su contenido de flavonoides (Alves et al., 2012). Además, algunos atributos sensoriales podrían ser mejorados. Por ejemplo, cuando salchichas fermentadas secas fueron enriquecidas con licopeno de cáscara de tomate tuvieron una buena aceptabilidad general (Calvo *et al.*, 2008).

En el estudio realizado por Eyiler *et al.* (2011), añadieron tomate en polvo a salchichas frankfurters, las cuales obtuvieron mejor aceptación sensorial a comparación con un control. Modzelewska-Kapituła (2012) utilizaron tomate pulverizado en albóndigas de res y no encontraron diferencias sobre la acidez, color, estabilidad oxidativa y calificación sensorial cuando no adicionaron este polvo.

Agregar licopeno de tomate a carne molida (Østerlie *et al.*, 2005) dio como resultado un tono rojo a marrón y una mayor estabilidad de almacenamiento y reducción del crecimiento de microorganismos, pero afectó la calidad sensorial. Por otro lado, el orujo de tomate adicionado a una formulación de salchichas mejoró la calidad organoléptica y tecnológica del producto (Savadkoohi *et al.*, 2014). Sin duda, gracias a la composición nutrimental del tomate, es un excelente ingrediente funcional para la elaboración de productos cárnicos.

2.5.1 Perfil Químico y Nutricional del Tomate Roma (*Solanum lycopersicum*)

El tomate es un ingrediente esencial en la dieta humana, es uno de los cultivos más importantes y comercializados e industrializados a nivel mundial (Luna-Guevara *et al.*, 2014; Ruelas-Chacon *et al.*, 2017). Contiene micronutrientes y antioxidantes naturales, incluidos los carotenoides y compuestos fenólicos que pueden ayudar a prevenir enfermedades cardiovasculares y cáncer (Ilahy *et al.*, 2011; Pinela *et al.*, 2019).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2002) un tomate proporciona el 40% de la vitamina C y el 20% de la vitamina A, de la ingesta diaria

recomendada. También aporta cantidades significativas de potasio, fibra, calcio, hierro y provee en menor medida magnesio, tiamina, riboflavina y niacina (Luna-Guevara *et al.*, 2014). No obstante, la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos depende en gran medida de su liberación de la matriz alimenticia (Kirkhus *et al.*, 2019).

2.5.2 Bioaccesibilidad de Compuestos Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos lipofílicos producidos en algunos vegetales, hongos y algas. Son causantes de los colores que van del rojo al amarillo. Los más abundantes son β -caroteno, licopeno, luteína, β -criptoxantina, α -caroteno y zeaxantina. Además, pueden exhibir funciones de provitamina A (Desmarchelier *et al.*, 2017; Ochoa Becerra *et al.*, 2020).

Son moléculas con propiedades antioxidantes y su ingesta dietética se ha asociado con una disminución del riesgo de enfermedades no transmisibles (Desmarchelier *et al.*, 2017). La absorción en el organismo de carotenoides involucra su liberación de la matriz alimenticia, difusión en emulsión lipídica, solubilización en lipasas pancreáticas y sales biliares y la formación de micelas mixtas (Cervantes-Paz *et al.*, 2017; Donhowe *et al.*, 2014; Palafox-Carlos *et al.*, 2011).

La biodisponibilidad es la fracción de un compuesto que se absorbe en el cuerpo y está disponible para funciones fisiológicas o para el almacenamiento en el organismo. La bioaccesibilidad se refiere a la proporción ingerida de algún componente que se libera de su matriz alimentaria y se encuentra viable para la absorción intestinal (Rodríguez-Amaya, 2015; Saini *et al.*, 2015).

La cocción podría degradar algunos nutrientes en los alimentos, mientras que otros, como el licopeno, podrían volverse más bioaccesibles después de un tratamiento térmico (Colle *et al.*, 2013). Se ha demostrado que el procesamiento de tomates puede aumentar los niveles de bioaccesibilidad de licopeno, α -caroteno y β -caroteno (Vallverdú-Queralt *et al.*, 2015).

Los tratamientos mecánicos y térmicos, así como la adición de aceites a una matriz alimentaria puede mejorar la bioaccesibilidad de los carotenoides al romper las fuerzas de unión entre los carotenoides y la matriz alimentaria (Kirkhus *et al.*, 2019; Martínez-Huélamo *et al.*, 2015). Se ha demostrado que diferentes tiempos de procesamiento térmico pueden afectar las concentraciones de carotenoides en productos de tomate (Cooperstone *et al.*, 2016). El licopeno aumentó con el

incremento de los tiempos de procesamiento y el fitoeno y fitoflueno fueron estables al procesamiento térmico (Cooperstone *et al.*, 2016).

3. HIPÓTESIS

La incorporación de pasta de tomate en hamburguesas de res mejora su perfil nutricional sin demérito en las propiedades fisicoquímicas, independientemente del método de cocimiento.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Estudiar los efectos e interacciones de la adición de pasta de tomate y del método de cocimiento sobre la calidad de hamburguesas de res

4.2 Objetivos Específicos

Caracterizar la materia prima utilizada para la elaboración del producto mediante análisis proximal, color instrumental (L^* , a^* , b^*), pH, sólidos solubles totales, perfil de carotenoides y perfil de ácidos grasos.

Determinar los efectos e interacciones de la adición de pasta de tomate (0, 5 y 10%) y método de cocimiento (horno de microondas, horno de convección y plancha) sobre el rendimiento por cocinado, pH, color instrumental (L^* , a^* , b), análisis de perfil de textura, análisis proximal, sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBA) y perfil de ácidos grasos.

Determinar los efectos e interacciones de la adición de pasta de tomate (0, 5 y 10%) y método de cocimiento (horno de microondas, horno de convección y plancha) sobre el perfil de compuestos carotenoides.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Diseño Experimental

Se estudiaron los efectos e interacciones del método de cocinado (HM, microondas; HC, horno de convección; y PL, plancha) y adición de pasta de tomate (PT, 0, 5 y 10%) sobre la calidad de hamburguesas de res. Los tratamientos evaluados fueron: 1) HC 0%, 2) HM 0%, 3) PL 0%, 4) HC 5%, 5) HM 5%, 6) PL 5%, 7) HC 10%, 8) HM 10%, y 9) PL 10%. Se realizaron evaluaciones de calidad en el producto y de la materia prima que incluyeron: rendimiento por cocinado, pH, análisis proximal, color instrumental, análisis de perfil de textura, sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, perfil de ácidos grasos y perfil de carotenoides.

5.2. Obtención y Preparación de Materia Prima

La materia prima que se usó para el trabajo experimental fue obtenida de un mercado comercial de la región. Se empleó carne del músculo *Semimembranosus* (pulpa bola) de bovino, a la cual se le removió el exceso de grasa y tejido conectivo superficial. Los tomates roma (*Solanum lycopersicum*) se seleccionaron durante su fase de madurez y sin ningún defecto mecánico. Para la preparación de la pasta se siguió la metodología de Rodríguez-Azúa *et al.* (2014), con modificaciones. Los tomates se lavaron en agua fría con 200 ppm de hipoclorito de sodio durante 10 min. Los tomates desinfectados se cocieron a 100 °C durante 10 min y el resultado se evaporó en una marmita de vapor (MEV-60, Inteatecnica, México) hasta lograr una concentración de 7.6° brix.

5.3. Preparación de Hamburguesas

La carne se molió en un molino (modelo 4152, Hobart Dayton, Ohio USA) con una placa de 4 mm de grosor. Después se pesaron en lotes de 3 kg para cada tratamiento. Una vez molida y pesada se mezcló por 3 min en una mezcladora (modelo 5749, Hobart Dayton, Ohio USA) donde se le incorporó 2% de sazónador para hamburguesas (Excalibur Seasoning Company, Ltd., Pekin, IL, USA) y se agregó los porcentajes de pasta de tomate especificados en el diseño experimental. La operación para formar las hamburguesas se realizó de forma manual con placas Petri, quedando con un diámetro de 8 cm y un espesor de 1.5 cm y un peso aproximado de 80 g. Las hamburguesas fueron cocinadas por los tres métodos de cocción, hasta alcanzar una temperatura interna de 71 °C. con los métodos mencionados en el diseño experimental. La cocción con horno de microondas se realizó en un horno de microondas de un solo haz de 700 W que funciona a 2,450 MHz (General Electric, Modelo: JES638WF, Louisville, USA) durante 105 s para lograr una temperatura interna de 71 °C medida por termómetro. En el cocinado en horno de convección las hamburguesas se colocaron en placas de acero inoxidable y se cocinaron en un horno (Enviro-Pak Mp 1000, Oregón, EUA) precalentado a 85 °C durante 17 min hasta que la temperatura interna de las hamburguesas alcanzó 71 °C registrada en el centro geométrico. Para el cocinado en plancha se utilizó una parrilla precalentada a 150 °C, las hamburguesas se dispusieron en la parrilla durante 2 min y 15 s por cada lado hasta alcanzar una temperatura interna de 71 °C. A continuación, se enfriaron hasta alcanzar una temperatura de 25 °C, se empacaron al vacío y almacenaron a 4 °C para sus posteriores análisis.

5.4. Rendimiento por Cocción (RPC)

Después de la cocción, las muestras se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 min y el porcentaje de pérdida por cocción se registró de acuerdo con lo descrito por Franco *et al.* (2008). Las hamburguesas fueron pesadas antes y después de ser cocinadas utilizando una balanza de precisión. Después del cocinado, se enfriaron a 25 °C por 15 min y secaron con una toalla de papel para retirar el agua y la grasa liberadas durante el cocimiento. El rendimiento de cocción (RC) fue calculado por la fórmula (Ec. 1):

$$RC = m2/m1 \times 100 \quad (\text{Ec.1})$$

Donde $m1$ es el peso de la hamburguesa antes de cocción y $m2$ es el peso después de cocción.

5.5. Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH se midió directamente de las muestras, utilizando un potenciómetro de punción (Model HI98140, Hanna, Woonsocket, RI, USA). El análisis se realizó por triplicado a una temperatura de 25 °C.

5.6. Análisis Proximal

Se determinó el contenido de humedad, grasa, proteína, ceniza y carbohidratos por diferencia mediante un triplicado de las muestras, a través de los métodos establecidos por la AOAC (1993). La determinación de humedad se realizó en una estufa de secado a una temperatura de 100 °C durante 16 h (Método 950.46). El contenido de proteína fue determinado siguiendo el método de microkjeldahl (Método 955.04) a partir de muestras deshidratadas. El contenido de ceniza se realizó en una mufla a 550 °C durante 2 h. Finalmente, la grasa se cuantificó por el método de extracción de goldfish a partir de muestras deshidratadas (Método 920.39). Todos los resultados se reportaron en porcentajes.

5.7. Determinación de Color (CIE $L^* a^* b^*$)

El color fue evaluado en la superficie de cada muestra cruda. Previo a la medición, las muestras se

mantuvieron a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) por 5 min. Se utilizó un colorímetro (Chroma meter CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan) con iluminante D65, observador de 10° y apertura de 11 mm del instrumento para iluminación y 8 mm para medición. Un cristal espectralmente puro (CRA51:Minolta Co.) se colocó entre la muestra y el equipo. Se realizaron 3 determinaciones por muestra y se reportó el promedio por tratamiento. La medición de color abarcó la determinación de los valores L^* , a^* y b^* . Donde el parámetro de color L^* representa luminosidad y tiene una escala que va desde 0 que es negro total, hasta 100, que representa un blanco perfecto. El valor a^* tiene una escala de -60 a +60, siendo el rojo positivo y verde cuando es negativo. 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.

5.8. Análisis de Perfil de Textura (APT)

El APT se realizó 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 estabilizadas a 4 ± 1 °C durante 15 min antes de la medición. De cada hamburguesa se tomaron 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. Los atributos de textura evaluados fueron: dureza (N), elasticidad (cm), cohesividad y masticabilidad (N x cm). La dureza está representada por el pico máximo alcanzado durante la primera compresión y expresada en newtons. La elasticidad, se estimó 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 (N x cm) se calculó multiplicando los valores de dureza, elasticidad y cohesividad.

5.9. Prueba del Ácido Tiobarbitúrico (TBA)

Se cuantificó las sustancias reactivas al ácido 2 tiobarbitúrico en los tratamientos en el día que se elaboraron (día 0) y después de 7 d de almacenamiento a 4 °C. Para ello, se homogenizó 10 g de muestra con 20 mL de ácido tricloroacético a 11,000 rpm durante 1 min (Ultra Turrax IKA modelo T25), se mantuvieron los tubos sumergidos en baño de hielo con el fin de evitar la oxidación lipídica debido a un aumento de temperatura. Posteriormente, la muestra homogenizada se centrifugó a 2,300 x g durante 30 min a 5 °C (Centrifuga refrigerada Thermo Scientific Legend XTR). Posteriormente el sobrenadante se filtró a través de un papel Whatman #42, se tomaron 2 mL del producto filtrado y se les adicionó 2 mL de ácido tiobarbitúrico 20 mM. Después, la muestra fue homogenizada durante 30 s y se llevó a baño maría a 97 °C durante 20 min. Transcurrido el tiempo, los tubos fueron enfriados y se midió la absorbancia de las muestras a 531 nm en un espectrofotómetro UV-VIS (Agilent Technologies, Cary 60 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 expresó como mg de malonaldehído (MDA)/kg de muestra (Pfalzgraf *et al.*, 1995).

5.10. Perfil de Ácidos Grasos

La extracción de lípidos de hamburguesas de res se llevó a cabo mediante el procedimiento de Bligh y Dyer (1959) utilizando cloroformo: metanol (2:1 v/v). Antes de la metilación de los ácidos grasos, el disolvente se eliminó de los extractos lipídicos en un baño de agua a 35 °C bajo una atmósfera de nitrógeno. Los extractos de lípidos se transmetilaron en presencia de tricloruro de boro según el método de Park y Goins (1994).

La composición de los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) se realizó en un cromatógrafo de gases Agilent (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 °C (20 min) hasta una temperatura final de 220 °C a una velocidad de 5 °C/min. La temperatura del inyector se fijó en 250 °C y la temperatura del FID en 300 °C. Las muestras se corrieron usando hidrógeno a una presión de 17 psi como vehículo y nitrógeno como gas de relleno. Los cromatogramas se integraron en el software Chemstation (ChemStation, Agilent Santa Clara, CA, EE. UU.). Los ácidos grasos se identificaron comparando los tiempos de retención con los de estándares comerciales (Supelco 37 Component FAME Mix, Bellefonte, PA, EE. UU.). Los ácidos grasos se expresaron como porcentaje del total de ácidos grasos detectados. Se calcularon los porcentajes totales de ácidos grasos saturados (AGS), ácidos grasos monoinsaturados (AGM) y ácidos grasos poliinsaturados (AGP).

5.11. Determinación e Identificación de Carotenoides

La extracción de carotenoides se llevó a cabo por la metodología propuesta por Riso *et al.* (1997) y Yeum *et al.* (1996) en viales de vidrio de 50 mL. Se pesaron aproximadamente 1.5 g de muestra y se añadió 5 mL de metanol y se homogenizó en vortex. El resultado fue incubado durante 1 h en una incubadora con agitación a temperatura ambiente. Después, los tubos fueron colocados en una centrifuga a 3,500 rpm y 4 °C durante 10 min, la capa de metanol resultante se transfirió a un matraz volumétrico de 25 mL. Se realizaron cuatro lavados con 5 mL tetrahidrofurano mediante agitación con vórtex, seguido de centrifugación a 3,500 rpm a 4°C durante 10 min, se transfirieron las capas de tetrahidrofurano a un matraz aforado que contenía metanol y se aforó el volumen a 25 mL con tetrahidrofurano. Se tomaron 5 mL de extracto y se secó bajo condiciones de nitrógeno en baño maría de 40 °C, después se re suspendió en 1 mL de etanol. Fueron inyectados 20 µL de extracto total en el sistema de HPLC con una columna C30 semibore (3.0 x 150 mm) o 50 µL en un sistema con una columna C30 regular (4.6 x 150 mm) para análisis.

Las muestras extraídas se analizaron en busca de carotenoides utilizando un método de HPLC en gradiente de fase inversa. El sistema de HPLC consistió en una columna de carotenoides C30 de Agilent Technologies 1260 Infinity (3 µm, 150 x 3,0 mm, YMC, Wilmington, NC). El detector de matriz de fotodiodos 1260 de Agilent Technologies se utilizó para el análisis de carotenoides. La fase móvil de HPLC disolvente A fue metanol/terc-butil metil éter/agua (85:12:3, v/v/v con 1.5%

de acetato de amonio en el agua) y la fase móvil disolvente B fue metanol/terc- butil metil éter/agua (8:90:2, v/v /v, con 1% de acetato de amonio en el agua).

5.12. Análisis Estadístico

Se realizó un diseño completo al azar con un arreglo factorial 3 x 3, factor método de cocción (microondas, plancha, horno) y factor pasta de tomate (0, 5 y 10%). Para las comparaciones de medias se utilizó la prueba de Tukey-Kramer Todos los resultados fueron analizados a un nivel de $p < 0.05$ en el paquete estadístico NCSS 2020 (Number Cruncher Statistical System, Kaysville UTA, USA).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la presente investigación incluyen en primera instancia una caracterización de la materia prima, seguido se presentan los resultados del análisis fisicoquímico, análisis proximal, perfil de ácidos grasos e identificación de carotenoides de las hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate, cocinadas por horno de convección, horno de microondas o plancha.

6.1. Caracterización de la Materia Prima

El Cuadro 1 muestra los resultados del análisis proximal, color instrumental y pH de la pasta de tomate y hamburguesas sin cocinar con 0, 5 y 10% de pasta de tomate. Se puede observar que la pasta de tomate contiene un porcentaje alto de humedad y un pH ácido de 4.6. Los ácidos orgánicos que predominan en el tomate e impactan en el pH son el cítrico, ascórbico y málico (Qiu *et al.*, 2018). Es de destacar el pH ácido de la pasta de tomate ya que este ingrediente al ser incorporado en formulaciones cárnicas pudiera tener un impacto en algunas propiedades fisicoquímicas del producto, tal como la capacidad de retención de agua. El contenido de humedad final de la pasta de tomate de alrededor del 91% es indicativo de una evaporación moderada durante su elaboración; por lo tanto, los sólidos solubles no fueron tan altos como los encontrados en algunas pastas comerciales (Katirci *et al.*, 2020). Los sólidos solubles expresados como grados Brix en la pasta de tomate, fue alrededor de 7.6° Brix. Las pastas de tomate comerciales tienen una gran variación de sus componentes, tal como lo reporta Ordoñez-Santos *et al.* (2008). Estos autores realizaron un estudio en 25 marcas comerciales obtenidas en países como Italia, Francia, Portugal, México, Estados Unidos, Colombia y Chile en una variedad de productos que incluyeron puré de tomate, pasta de tomate, pasta de tomate doble concentrada y pasta de tomate triple concentrada. Los sólidos solubles reportados por los autores oscilaron entre 5.20 y 35.7 °Brix y valores de pH en el rango de 4.08 y 4.63. Esta variación puede ser debida a que dependen del cultivar de tomate y el proceso de elaboración de los productos.

En relación con el color instrumental, los valores de L^* , a^* y b^* fueron de 41.9, 29.2 y 11.4, respectivamente. El color de la pasta presenta variaciones de acuerdo con el método obtenido. Sahlin *et al.* (2004), reportaron valores que oscilaron entre 40.7 a 46.5, 15.7 a 24.8 and 16.6 a 24.6, para los parámetros L^* , a^* y b^* , respectivamente. Por su parte, Katirci *et al.* (2020), reportaron valores de 38.4, 28.7 y 15.9 para L^* , a^* y b^* , respectivamente.

Respecto a las hamburguesas sin cocinar, los contenidos de proteína, grasa y humedad oscilaron entre 13.6 y 15.1%, 4.97 y 4.15%, 73.01 y 75.295, respectivamente. Se observa una tendencia a disminuir a medida que se adiciona pasta de tomate en la formulación del producto, debido principalmente a un efecto de dilución pues la pasta de tomate tiene un contenido de humedad mayor al 90%. Destacan los valores de grasa en el producto menores a 5%, resultado esperado ya que se utilizó el músculo *Semimembranosus* considerado un músculo magro (Solarczyk *et al.*, 2020).

Cuadro 1. Datos experimentales del análisis proximal (%), color instrumental y pH de la pasta de tomate, carne de res y hamburguesas crudas adicionadas con 0, 5 y 10% de pasta de tomate.

Materia prima	Humedad	Grasa	Proteína	Ceniza	Carbohidratos ¹	Color instrumental			pH
						L^*	a^*	b^*	
Pasta de tomate	91.57	0.14	1.23	0.55	6.51	29.19	41.91	11.41	4.60
Hamburguesa 0%	73.01	4.97	15.08	2.74	4.20	45.43	21.24	14.10	5.58
Hamburguesa 5%	73.94	4.84	12.80	2.41	6.00	46.34	19.90	15.55	5.54
Hamburguesa 10%	75.29	4.15	13.57	2.48	4.51	47.81	19.05	16.45	5.46

¹Calculado por diferencia

En el Cuadro 2 se presentan los resultados correspondientes al contenido de carotenoides en el tomate, pasta de tomate y hamburguesa de res cruda adicionada con 0, 5 y 10% de pasta de tomate. Las determinaciones realizadas incluyeron luteína, criptoxantina, α -caroteno, β -caroteno y *trans* licopeno. Se observa que el contenido de luteína y β -caroteno se incrementó cuando el tomate fue procesado a pasta, al pasar de valores de 7.94 a 19.74 y de 591 a 1078 $\mu\text{g}/100\text{g}$, respectivamente. Un comportamiento contrario se observa en los contenidos de criptoxantina, α -caroteno y *trans* licopeno cuyos valores disminuyeron de 27.46 a 0.22, 5.75 a 2.62 y 41.3 a 18.1 $\mu\text{g}/100\text{g}$, respectivamente. Los tratamientos térmicos pueden degradar nutrientes en los alimentos, mientras

que otros se vuelven más accesibles después de la cocción, según lo reporta Colle *et al.* (2013). Se ha demostrado que el procesamiento de tomates puede aumentar los niveles de bioaccesibilidad de β -caroteno y otros carotenoides (Vallverdú-Queralt *et al.*, 2015).

Por otro lado, la fuente principal de carotenoides en las hamburguesas crudas de res es la pasta de tomate que fue adicionada en porcentajes de 0, 5 y 10%. Se observa que a medida que se incrementa dicho porcentaje en la formulación cárnica, los contenidos de luteína, β -caroteno y *trans* licopeno, aumentan, mientras que criptoxantina y α -caroteno no fueron detectados.

La caracterización de la materia prima tiene el objetivo de conocer las propiedades nutricionales y fisicoquímicas de los ingredientes y evaluar el posible efecto que imparten éstos en el desarrollo de nuevos alimentos cárnicos.

Cuadro 2. Contenido de carotenoides ($\mu\text{g}/100\text{g}$) del tomate, pasta de tomate y hamburguesas crudas adicionadas con 0, 5 y 10% de pasta de tomate.

	Luteína	Criptoxantina	α -caroteno	β -caroteno	<i>trans</i> licopeno
Tomate	7.94	27.46	5.75	591.01	41.30
Pasta de tomate	19.74	0.22	2.62	1078.28	18.12
Hamburguesa 0%	0.08	0.00	0.00	1.64	0.00
Hamburguesa 5%	1.08	0.00	0.00	9.79	0.77
Hamburguesa 10%	1.10	0.00	0.00	16.31	1.03

6.2. Propiedades Fisicoquímicas de Hamburguesas de Res Adicionadas con Pasta de Tomate, Cocinadas por Diferentes Métodos

6.2.1. Rendimiento por Cocción

En la Figura 1 se muestran los resultados del rendimiento por cocción (RPC) de las hamburguesas adicionadas con pasta de tomate y sometidas a diferentes métodos de cocimiento. Los efectos de interacción entre método de cocción y adición de pasta de tomate no fueron significativos ($p > 0.05$), por lo que solo se exponen los efectos principales. Se logró observar que a medida que

aumenta el contenido de pasta de tomate en la formulación cárnica, el RPC disminuye. Las hamburguesas adicionadas con 10% de pasta de tomate obtuvieron rendimientos cerca del 73%, siendo estos los de menor RPC ($p < 0.05$) en comparación con el resto de los tratamientos. Por otra parte, los tratamientos adicionados con 5% de PT y sin adición de este ingrediente, tuvieron rendimientos por arriba del 77%. Si bien es cierto que el contenido de humedad en crudo fue mayor en hamburguesas con 10% PT (75%) y menor en hamburguesas con 0% PT (73%). Los resultados obtenidos de RCP pueden deberse al calentamiento durante la cocción y al pH de los tratamientos. A medida que se incrementó la cantidad de pasta de tomate en la formulación, éste disminuyó. Un pH más cercano al punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares provoca una menor retención de agua en el producto (Toldrá, 2003). Deda *et al.* (2007), reportaron una correlación negativa entre la pérdida de agua y el pH de salchichas de cerdo adicionadas con pasta de tomate durante el cocimiento del producto. Resultados similares fueron encontrados por Valenzuela-Melendres *et al.* (2014) en hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate.

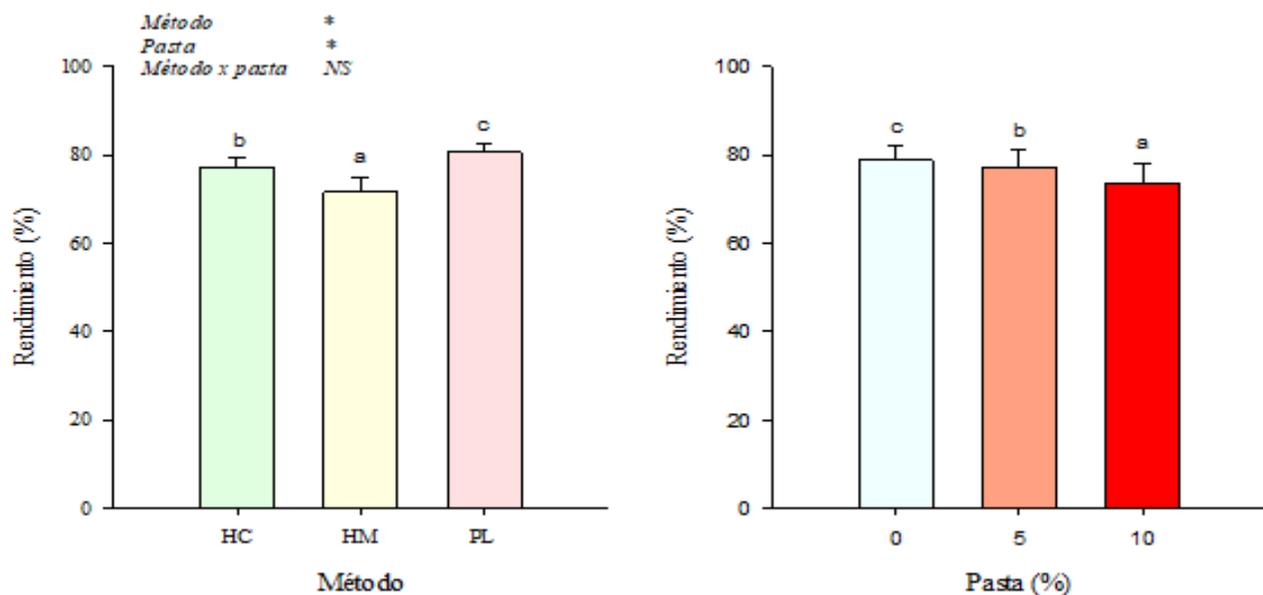


Figura 1. Rendimiento por cocción (%) de hamburguesas de carne de bovino por efecto de la adición de pasta de tomate y método de cocción en horno de convección (HC), horno de microondas (HM) y plancha (PL). Barras con diferente literal, indican diferencia ($p < 0.05$).

La pérdida de agua debida durante el cocimiento puede deberse a la desnaturalización de las

proteínas cárnicas que se presenta por exposición al calor. Los tratamientos cocinados en horno de microondas y convección resultaron con menor RPC ($p < 0.05$) en comparación con los tratamientos cocinados en plancha, los cuales estuvieron cercanos al 80%. Las pérdidas de cocción dependen de las metodologías de cocinado y de las propiedades de la carne, estas pérdidas se deben a la transferencia de masa durante el tratamiento térmico (Lorenzo *et al.*, 2015). Los tratamientos a la plancha dieron la menor pérdida por cocción con o sin adición de pasta de tomate. Esto podría atribuirse a la formación de una costra en la superficie de las hamburguesas de res que retuvo físicamente el agua en el interior del producto (Lorenzo *et al.*, 2015).

Una mayor pérdida por cocción en los tratamientos cocinado en microondas se puede explicar por el calentamiento producido dentro del alimento debido a la vibración de las moléculas de agua originada por la radiación de microondas. Este movimiento a nivel molecular causa fricción, lo cual origina el calentamiento del producto (Velásquez *et al.*, 2006). Debido a esto es posible que las proteínas miofibrilares comiencen a encogerse y debido a esta contracción, el volumen interfibrilar se reduce, lo que conduce a una disminución en la capacidad de las miofibrillas para retener agua (Sobral *et al.*, 2020).

Los resultados encontrados en el presente estudio son similares a los reportados por Lorenzo *et al.* (2015), quienes evaluaron las propiedades fisicoquímicas de carne de caballo afectadas por diferentes métodos de cocción, registrando menores pérdidas por cocción en parrilla al compararla con muestras cocinadas en microondas. Contrariamente, O'Neill *et al.* (2019) evaluaron el efecto comparativo de diferentes métodos de cocción en chuletas de cerdo marinadas y sus resultados mostraron pérdidas de cocción significativas en productos cocinados en plancha debido a un mayor tiempo de exposición al calor.

6.2.2. Potencial de Hidrógeno (pH)

En la Figura 2 se presentan los resultados del pH entre los tratamientos evaluados. Se observan un efecto de interacción ($p < 0.05$) entre el método de cocción y la pasta de tomate. Se distingue que el efecto de la adición de pasta de tomate en la formulación del producto estuvo en función del método de cocinado. Por un lado, cuando el producto se sometió a horno de convección, el pH fue

similar independientemente de la adición de pasta de tomate, mientras que cuando fue preparado en horno de microondas y plancha, la adición de pasta de tomate provocó una disminución de pH en el producto. Las diferencias en el valor de pH entre diferentes métodos de cocción de carne fueron reportadas también por Abdel-Naeem *et al.* (2021), quienes evaluaron los efectos de diferentes métodos de cocción de la carne de conejo y encontraron que la preparación en microondas dio como resultado valores de pH más altos en el producto en comparación con muestras preparadas en parrilla.

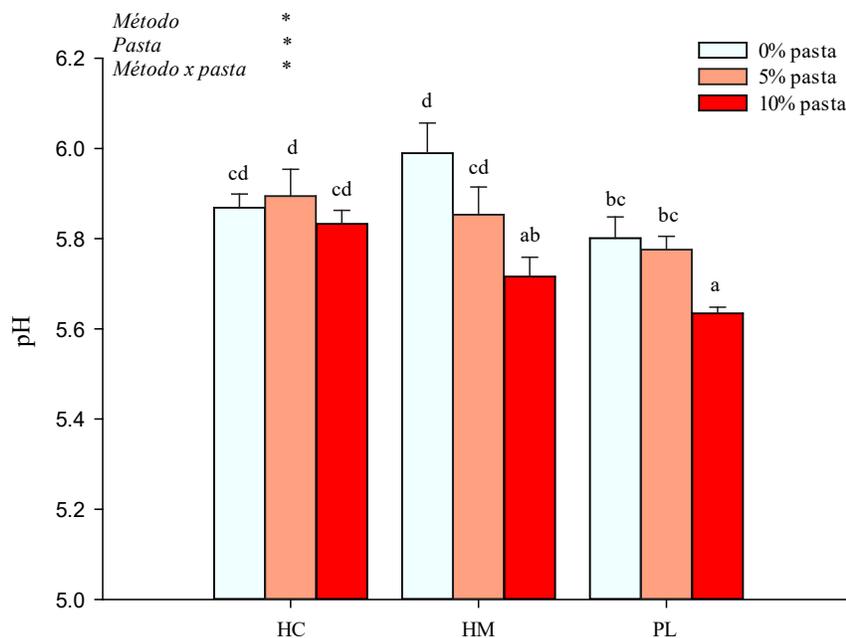


Figura 2. Valores de pH de hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate, cocinadas en horno de convección (HC), horno de microonda (HM) y plancha (PL). Barras con diferente literal, indican diferencia ($p < 0.05$).

En general, el pH de las hamburguesas abarcó un rango de 5.63 a 5.99, el primero correspondió a PL 10%, y el último a HM 0%. Se observa, además, que el pH promedio de las hamburguesas cocinadas en plancha fue de 5.74, en horno de convección de 5.86 y en microondas de 5.92. Por otro lado, el promedio del pH de aquellas adicionadas con 10% resultó en 5.89, con 5% de PT fue 5.84 y sin adición de PT fue 5.72. Se puede observar que los valores más bajos de pH correspondieron a los tratamientos cocinados en plancha y los tratamientos que fueron adicionados

con 10% de PT. Esta disminución en el pH según se adicionaba pasta de tomate es debido a la presencia de los ácidos málico, cítrico y ascórbico en el tomate roma (Qiu *et al.*, 2018). Estos resultados fueron similares a los encontrados por Candogan (2002), quien utilizó pasta de tomate al 5, 10 y 15% en hamburguesas de res y encontró que el pH disminuyó al aumentar la concentración de PT. El mismo comportamiento fue observado por Qiu y Chin (2021) en hamburguesas de cerdo adicionadas con polvo de tomate Cherry al 0.25 y 0.5%.

Por otra parte, los valores de pH más bajos presentados en los tratamientos cocinados en plancha pueden ser debido a la menor pérdida de humedad reflejada por el mayor rendimiento observado (Figura 2). De esta manera los compuestos como los ácidos orgánicos se disuelven mejor cuando mayor es el contenido de agua en el producto, dejando expuestos los residuos H⁺ y disminuyendo así el pH.

6.2.3. Análisis Proximal

En el Cuadro 3 se muestran los resultados del análisis proximal de hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate y sometidos a diferentes tratamientos de cocción. Se observó un efecto de interacción entre el método de cocción y pasta de tomate para la humedad y para la grasa ($p < 0.05$). El contenido de humedad fue mayor ($p < 0.05$) en hamburguesas adicionadas con 5 y 10% de pasta de tomate que sin adición de ésta. Dicho resultado fue esperado ya que el porcentaje de humedad de la pasta de tomate fue alrededor del 92%. Por otro lado, la humedad fue menor ($p < 0.05$) en tratamientos cocinados en horno de convección y plancha en comparación con los cocinados por microondas. Además, el porcentaje de humedad fue igual ($p > 0.05$) en tratamientos con 0% de PT cocinados por cualquier método de cocción. No obstante, la humedad fue mayor ($p < 0.05$) en tratamientos con 5 y 10% de PT cocinados en horno de microondas en comparación con el resto de los tratamientos.

El porcentaje de grasa fue mayor ($p < 0.05$) en hamburguesas cocinadas por horno de convección y plancha en comparación con las sometidas a horno de microondas. Además, el contenido de grasa fue mayor ($p < 0.05$) en tratamientos sin adición de PT. Al igual que en contenido de humedad, las hamburguesas con 0% de pasta de tomate obtuvieron valores similares ($p > 0.05$) de porcentaje de grasa en todos los métodos de cocinado. Por contrario, el contenido de grasa en tratamientos con 5

y 10% de PT cocinados por horno de microondas fue menor ($p < 0.05$) en contraste con hamburguesas cocinadas por plancha y horno de convección.

Cuadro 3. Datos experimentales^A del análisis proximal (%) de hamburguesas de res adicionadas con 0, 5 y 10% de pasta de tomate; cocinadas en horno de convección, horno de microondas y plancha.

Método	PT (%)	Humedad	Grasa	Proteína	Ceniza	Carbohidratos
HC	0	67.51 ^{a, b}	5.93 ^{b, c}	16.85	2.77	12.37
	5	67.44 ^{a, b}	6.45 ^d	17.58	2.64	9.05
	10	67.61 ^{a, b}	6.17 ^{c, d}	19.04	2.56	10.34
HM	0	67.19 ^{a, b}	6.18 ^{c, d}	22.02	2.84	8.32
	5	69.14 ^c	5.19 ^a	19.51	2.78	9.24
	10	69.07 ^c	5.36 ^a	20.42	2.72	8.56
PL	0	66.22 ^a	5.99 ^{b, c}	21.20	2.99	9.96
	5	68.27 ^{b, c}	5.85 ^b	20.68	2.87	8.53
	10	68.22 ^{b, c}	5.90 ^{b, c}	17.76	2.72	8.51
<i>Error estándar</i>		0.3	0.1	2.0	0.1	2.2
<i>Método</i>		0.0009	0.0000	0.2453	0.1	0.4927
<i>Pasta</i>		0.0000	0.0012	0.8261	0.2	0.3503
<i>Método x pasta</i>		0.0052	0.0000	0.6053	0.5123	0.5290

HC = horno de convección, HM = horno microondas, PL = plancha; 0, 5 y 10% PT = adición de pasta de tomate. Diferentes superíndices en la misma columna para el mismo parámetro son diferentes ($p < 0.05$). ^ALos valores son el promedio de 3 determinaciones

A pesar de que los tratamientos adicionados con pasta de tomate o cocinados por microondas obtuvieron mayores porcentajes de humedad, estos mostraron los menores rendimientos por cocción. Dicho comportamiento podría estar relacionado con la pérdida de grasa durante el cocinado, ya que dichos tratamientos tuvieron bajos contenidos de este componente.

Por otra parte, no se encontraron diferencias ($p > 0.05$) respecto al contenido de proteína y carbohidratos en ninguno de los tratamientos debido a que la pasta de tomate no aporta cantidades importantes de dichos componentes. Sin embargo, se logran ver diferencias de crudo a cocinado debido a las pérdidas por cocción.

Todos los tratamientos estudiados en el presente trabajo tienen un alto contenido de proteína y bajo contenido de grasa. Ambos componentes son mayores a los encontrados en hamburguesas comercializadas en territorio mexicano, tal como lo evidencia un estudio realizado por la

Procuraduría Federal del Consumidor (2019) quienes reportaron que el mayor contenido de proteína en hamburguesas de res fue de 11.15% y el menor aporte de grasa fue 17.38%.

6.2.4. Determinación de Color (CIE L^* a^* b^*)

En la Figura 3, se presentan los valores del color instrumental (L^* , a^* y b^*) de hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate y sometidas a diferentes métodos de cocimiento. Respecto al valor L^* , no hubo efecto de interacción entre el método de cocción y pasta de tomate ($p > 0.05$). La luminosidad en tratamientos cocinados en horno de convección y microondas fue de 52.9 y 51.70, respectivamente; además, éstos fueron mayores ($p < 0.05$) al promedio de las hamburguesas cocinadas en plancha. Por otro lado, se obtuvieron valores bajos de L^* cuando no se adicionó pasta a las hamburguesas. Los valores de L^* más bajos observados en tratamientos cocinados en plancha se puede deber a la exposición de temperatura más alta (180 °C en este tratamiento), lo que provoca un incremento en las reacciones de Maillard, las cuales consisten en una serie de reacciones químicas producidas entre las proteínas y los azúcares de los alimentos a temperaturas por encima de los 140 °C y generan la formación de pigmentos oscuros (Xu *et al.*, 2021; Cardona, 2020). Por otra parte, los valores de L^* más altos observados en las hamburguesas cocinadas en horno de convección y microonda podría deberse a mayor pérdida de agua por cocción de estos tratamientos (Figura 1) que permite que las fibras musculares se abran y dispersen más la luz (Abdel-Naeem *et al.*, 2021).

Los valores de a^* oscilaron entre 6.61 y 8.67, que corresponden al área de color rojo en el espacio de color. Las hamburguesas cocinadas en horno de microondas y convección sin adición de pasta presentaron valores a^* bajos ($p < 0.05$) en comparación con el resto de los tratamientos. Además, se observó que la tendencia al color rojo es mayor ($p < 0.05$) mientras más se adicione pasta en hamburguesas cocinadas. Por otro lado, los tratamientos cocinados en plancha, independientemente de la adición de pasta de tomate, obtuvieron las cifras más altas ($p > 0.05$) del valor a^* . En general, a medida que se anexa pasta de tomate en la formulación cárnica, aumenta el parámetro a^* en las hamburguesas de res.

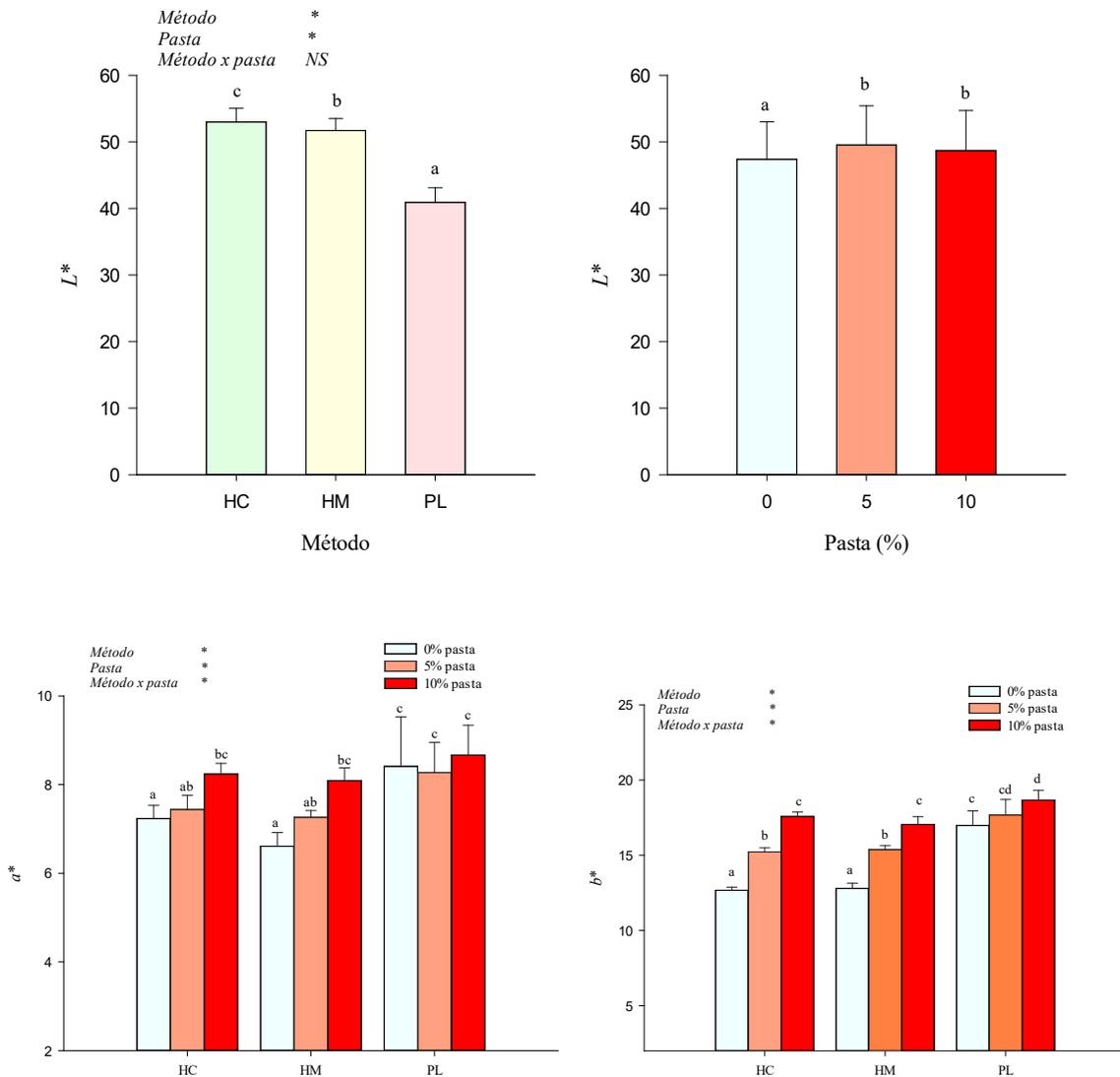


Figura 3. Valores de color instrumental de hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate y sometidas a cocción por horno de convección (HC), horno microondas (HM) y plancha (PL); Barras con diferente literal, indican diferencia ($p < 0.05$).

Las estimaciones de b^* equivalieron al área de color amarillo en el espacio de color, en un rango de 12.67-19.45. En este parámetro se observó un comportamiento similar al de a^* , las hamburguesas adicionadas con 10% de PT cocinadas en horno de microondas y convección tendieron más ($p < 0.05$) hacia el amarillo en el espacio de color, en comparación con las adicionadas con 0 y 5% de PT. No obstante, los tratamientos cocinados en plancha obtuvieron valores de b^* más altos ($p < 0.05$) que el resto de los tratamientos. La razón del comportamiento de los valores a^* y b^* de las hamburguesas se puede atribuir a la pigmentación otorgada por la pasta de tomate

presente en la formulación. En general, entre más adición de pasta y cocción en plancha aumenta el parámetro a^* y b^* en las hamburguesas de res.

El comportamiento de los parámetros de color fue similar a lo reportado por Jouki *et al.* (2020), donde se utilizó pasta de tomate en salchichas de pollo y encontraron que los tratamientos control fueron más claros, y menos rojos y amarillos que los adicionados con pasta de tomate. Esta misma tendencia en el color fue reportada por Deda *et al.* (2007) en salchichas Frankfurt donde evaluaron el efecto de la pasta de tomate y el nivel de nitrito en las características de procesamiento y calidad. La medición de color es un análisis fisicoquímico muy utilizado para el control de calidad de los alimentos cárnicos. Por lo tanto, es importante realizar esta medición al momento de evaluar la calidad del producto.

6.2.5. Análisis de Perfil de Textura (APT)

Las Figuras 4 y 5 muestran los resultados de dureza, masticabilidad, elasticidad y cohesividad de hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate preparadas con diferentes métodos de cocción. No hubo efecto de interacción entre los métodos de cocción y pasta de tomate para dureza y masticabilidad. La dureza de las hamburguesas cocinadas en horno de convección fue mayor ($p < 0.05$) que aquellas cocinadas en plancha. Además, los tratamientos adicionados con 10% de PT obtuvieron los valores más altos ($p < 0.05$) de dureza en comparación con hamburguesas con 5% o sin pasta. En general, entre menos se agregue pasta de tomate o cocinar por horno de convección resultan en valores altos de dureza en hamburguesas de res.

Al igual que en el parámetro de dureza, las hamburguesas sin adición de pasta de tomate alcanzaron valores altos ($p < 0.05$) de masticabilidad en comparación con las adicionadas con dicho ingrediente. No obstante, las hamburguesas cocinadas por microondas obtuvieron una masticabilidad mayor ($p < 0.05$) en comparación con tratamientos de plancha y convección. En resumen, aumentar al 5 y 10% de pasta de tomate en hamburguesas cocinadas por cualquier método de cocción influye en la dureza y masticabilidad.

Una menor dureza y masticabilidad en hamburguesas cocinadas en plancha, y tratamientos adicionados con 5 y 10% de PT se puede atribuir a la pérdida agua derivada de la pasta de tomate

y a la desnaturalización de las proteínas inducida por el calor durante la cocción, lo que hace que quede atrapada menos agua dentro de las estructuras proteicas retenidas por las fuerzas capilares (Romero *et al.*, 2020). Otros estudios han reportado comportamientos similares; por ejemplo, Savadkoochi *et al.* (2014) encontraron que adicionar 7% de orujo de tomate a salchichas de ternera disminuía la masticabilidad en comparación con niveles menores de adición.

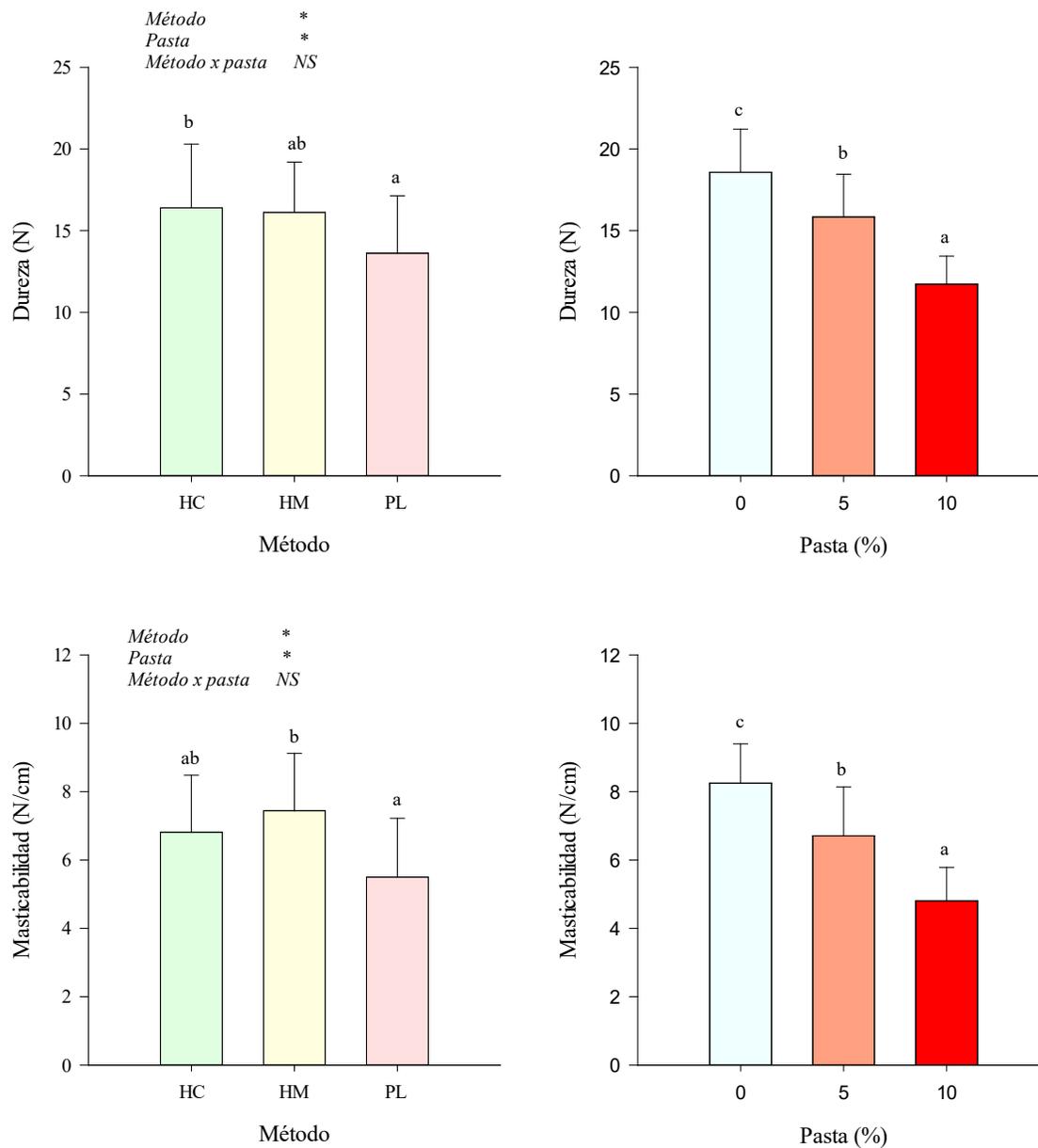


Figura 4. Evaluación de la dureza y masticabilidad de hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate sometidas a cocción en horno de convección (HC), horno de microondas (HM) y plancha (PL). Barras con diferente literal, indican diferencia ($p < 0.05$).

En relación con la elasticidad y cohesividad del producto, se presentó un efecto de interacción entre el método de cocinado y la adición de pasta de tomate. Las hamburguesas cocinadas en microondas presentaron los valores de elasticidad más alto que el resto de los tratamientos ($p > 0.05$). El añadir pasta de tomate no afecta la elasticidad de las hamburguesas cocinadas en convección y microonda, pero disminuye este parámetro cuando se cocinan en plancha a medida que aumenta el contenido de pasta de tomate en la formulación. Resultados similares fueron reportados por Los *et al.* (2020) en hamburguesas de res adicionadas con aceite de canola.

La cohesividad fue mayor ($p < 0.05$) en las hamburguesas HM 0% y menor en las PL 10%. Adicionar pasta de tomate a las hamburguesas cocinadas en horno de convección o microonda no influye en la cohesividad. No obstante, agregar pasta a las hamburguesas cocinadas en plancha disminuye este parámetro. Resultados similares para hamburguesas de cerdo con extracto de pitahaya roja fueron obtenidos por Bellucci *et al.* (2021). El contenido de pasta de tomate puede ocasionar una disminución en la cohesividad y elasticidad ya que existe una ruptura más fácil de la estructura cárnica, por lo cual se requiere una aplicación de fuerza menor (Jiménez Colmenero *et al.*, 2003). La textura de un producto cárnico es importante para que este sea aceptado o rechazado por el consumidor, debido a que esta evaluación se relaciona con los sentidos fisiológicos. Es por esto por lo que es sustancial realizar un análisis de perfil de textura cuando se desarrolla un nuevo producto cárnico.

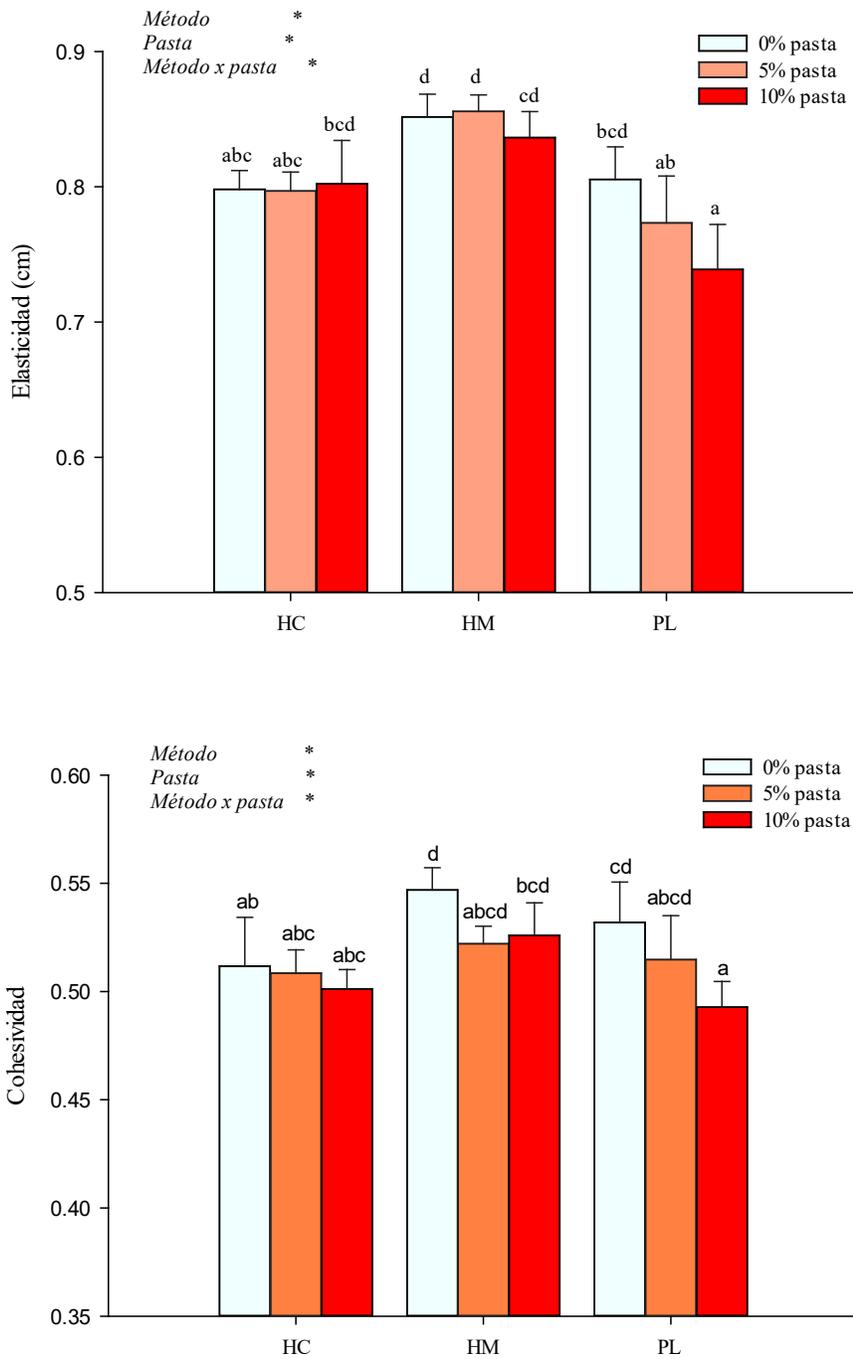


Figura 5. Evaluación de la elasticidad y cohesividad de hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate sometidas a cocción en horno de convección (HC), horno de microondas (HM) y plancha (PL). Barras con diferente literal, indican diferencia ($p < 0.05$).

6.2.6. Prueba del Ácido Tiobarbitúrico

En la Figura 6, se presentan los resultados de la oxidación lipídica de hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate, cocinadas con diferentes métodos. En el día 0, los valores de TBA para las hamburguesas con 10% de pasta de tomate fueron similares ($p > 0.05$); además, se mantuvieron por debajo de los 0.45 mg MDA/kg, siendo éstos los valores más bajos de los tratamientos. En las hamburguesas adicionadas con 5% de PT ocurrió algo similar, no hubo diferencias entre ellas ($p > 0.05$) y los valores fueron cercanos a 0.56 mg MDA/kg. Los tratamientos sin adición de pasta obtuvieron valores menores de 0.80 mg MDA/kg. Con o sin adición de PT los valores de TBA fueron inferiores al límite establecido para la carne cruda, aproximadamente 0.9 mg MDA/kg, a partir del cual se observan cambios en algunas propiedades sensoriales (Abdel-Naeem *et al.*, 2021).

A pesar de que se logra observar una disminución de TBA en el día cero mientras se adiciona PT a los tratamientos, las hamburguesas cocinadas en plancha obtuvieron los valores más bajos, independiente de la adición de pasta de tomate. Caso contrario para los tratamientos cocinados en horno de convección o microondas, donde hubo diferencias ($p < 0.05$) entre los tratamientos y se apreció la disminución de TBA cuando se adicionó pasta de tomate.

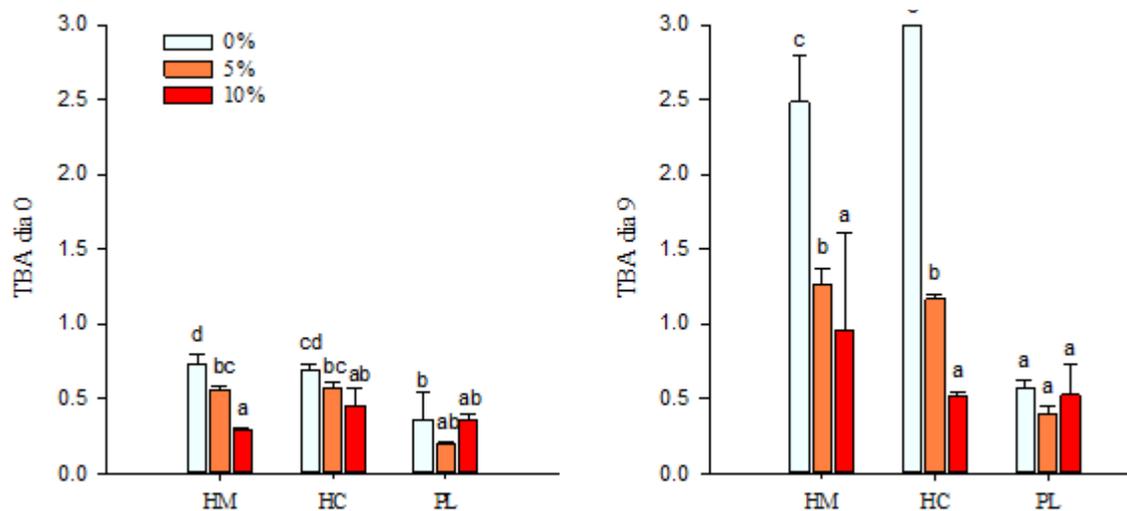


Figura 6. Valores de TBA de hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate cocinadas en horno de convección (HC), horno de microondas (HM) y plancha (PL). Barras con diferente literal, indican diferencia ($p < 0.05$).

Por otro lado, en el día 9 los valores de TBA fueron más altos en aquellos tratamientos sin adición de PT y a medida que este ingrediente fue incorporado en la formulación cárnica, tendieron a disminuir ($p < 0.05$), siendo más evidente en los tratamientos cocinados en HC y HM. Los valores de TBA fueron más bajos en los tratamientos cocinados en PL, independientemente de la adición de PT. Los valores registrados en estos tratamientos se mantuvieron por debajo del límite establecido de 0.9 mg MDA/kg y fueron muy similares a los registrados en las muestras al día 0. La adición de tomate o productos de éste a formulaciones cárnicas para mejorar algunos parámetros de calidad, como retardar la oxidación de lípidos, ha sido previamente reportado (Candogan 2002; Doménech-Asensi *et al.*, 2013; Valenzuela-Melendres *et al.*, 2014). El tomate y sus productos contienen licopeno, β -caroteno, luteína, entre otros. Su consumo puede ser en forma fresca o procesada en forma de jugo, pasta, puré y salsa (Kang *et al.*, 2010). Los carotenoides son reconocidos como buenos antioxidantes y compuestos con beneficios para la salud a causa de su capacidad para apagar el oxígeno y los radicales peroxilo (Doménech-Asensi *et al.*, 2013). El efecto reductor de la oxidación de lípidos de la pasta de tomate adicionada en los tratamientos se puede atribuir a la actividad antioxidante de los carotenoides presentes (Candogan 2002).

En paralelo, el tipo de calor generado durante la cocción, así como el tiempo y la temperatura pueden suscitar las reacciones oxidativas, la pérdida de la actividad enzimática antioxidante, el rompimiento de las membranas celulares y la liberación de la fracción lipídica que se torna susceptible a los ataques oxidativos de los compuestos prooxidantes (O'Neill *et al.*, 2019; Abdel-Naeem *et al.*, 2021). A pesar de que la temperatura de exposición fue más alta en los tratamientos a la plancha, éstos resultaron en valores bajos de TBA, tanto en el día 0 como en el día 9 e independientemente de la adición de tomate. Esto podría atribuirse a la formación de una costra en la superficie de las hamburguesas de res que apresó físicamente el agua y la grasa en el interior del producto haciendo a ésta última menos propensa a la oxidación por el calor. Otra causa probable pudiera ser que la costra formada en el producto por efecto de la cocción en plancha protegió también del calor a los carotenoides responsables de evitar la oxidación lipídica.

En relación al efecto de la pasta de tomate sobre la oxidación lipídica, otros estudios han reportado resultados similares; por ejemplo, Candogan (2002) estudió el efecto de la pasta de tomate al 5, 10 y 15% en la calidad hamburguesas durante el almacenamiento refrigerado. En todas las concentraciones obtuvieron valores bajos de TBA durante un almacenamiento refrigerado de 9 d en relación con el control. Así mismo, Kim *et al.* (2013) evaluaron la eficacia del tomate en polvo

al 0.25 y 0.5% como antioxidante en hamburguesas de cerdo cocinadas, encontraron que una mayor concentración de este ingrediente en la formulación, los valores de TBA en todas las muestras analizadas fueron menores. Por otra parte, y en relación al impacto del calor sobre la oxidación lipídica, Abdel-Naeem *et al.* (2021) estudiaron el efecto de diferentes métodos de cocción en carne de conejo y sus resultados mostraron que el valor más alto de TBA fue en las muestras cocinadas en microondas, y esto lo explican debido a la producción de oxígeno singlete por la energía de microondas, que reacciona más rápido que el oxígeno normal para iniciar la oxidación de lípidos. La prueba de ácido tiobarbitúrico para la cuantificación de malonaldehído es la técnica más utilizada para la estimación de la oxidación de lípidos en productos cárnicos. Dentro de este marco, es importante realizar este análisis para conocer la vida útil del producto (Kim *et al.*, 2013).

6.3. Perfil de Ácidos Grasos

En el Cuadro 4 se presentan los resultados del perfil de ácidos grasos e incluye el total de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados para las hamburguesas de res adicionadas con 0, 5 y 10% de pasta de tomate, cocinadas por horno de convección, horno de microondas y plancha. En relación con los ácidos grasos saturados, no existieron diferencias ($p > 0.05$) entre los tratamientos con o sin adición de pasta de tomate cocinados por cualquiera de los métodos. No obstante, hubo una mayor ($p < 0.05$) proporción de ácido palmítico en tratamientos cocinados en horno de microondas y convección adicionados con 5% de PT y una menor ($p < 0.05$) proporción en PL 0%. Una situación similar se presenta con el ácido margárico, donde fue mayor ($p < 0.05$) en hamburguesas cocinadas en horno de convección al 5% de PT y menor en cocinadas en plancha con 0% de pasta de tomate. Los ácidos grasos saturados de mayor proporción en todos los tratamientos fueron palmítico, esteárico y mirístico. El comportamiento de éstos fue similar a lo encontrado en un estudio realizado por Valenzuela-Melendres *et al.* (2018). Dichos autores informaron que los AGS más relevantes en hamburguesas control y hamburguesas adicionadas con 20% de PT fueron los mismos reportados en este trabajo.

En general, adicionar pasta de tomate a las hamburguesas de res no afecta la proporción de los ácidos grasos mono y poliinsaturados. Sin embargo, a medida que se adiciona pasta a las

hamburguesas, aumenta la proporción de ácido linoleico conjugado en los tratamientos cocinados por horno de convección y plancha. No obstante, los AGM de mayor cantidad fueron los ácidos oleico y palmitoleico. Por otro lado, el AGP mayoritario fue el ácido linoleico. Estos resultados coinciden con datos obtenidos de Salami *et al.* (2021) y Oliveira *et al.* (2021) que estudiaron el perfil de ácidos grasos de *Longissimus thoracis* de novillos y hamburguesas de res, respectivamente.

El efecto del cocinado de la carne en relación con la composición de ácidos grasos ha sido estudiado previamente (Gruffat *et al.*, 2021; Ortuño *et al.*, 2021). El cocinado afecta el valor nutricional de los alimentos, además puede originar la oxidación de lípidos (Abdel-Naeem *et al.*, 2021). Las diferencias que existieron en algunos AGS, AGM, y AGP puede deberse a las pérdidas por cocción. Los lípidos son importantes fuentes de energía en la dieta humana. Además, el contenido de ácidos grasos esenciales puede estar relacionado con impactos positivos en la salud. Es por esto, que es fundamental realizar un análisis de perfil de ácidos grasos.

Cuadro 4. Perfil de ácidos grasos de hamburguesas de res adicionadas con 0, 5 y 10% de pasta de tomate; cocinadas en horno de convección, horno de microondas y plancha

	HC			HM			PL			Valor <i>p</i>		
	0	5	10	0	5	10	0	5	10	Tratamiento térmico	Pasta de tomate	Tratamiento térmico x pasta de tomate
C12:0	0.00	0.00	0.09	0.00	0.47	0.04	0.00	0.00	0.09	0.2305	0.2579	0.1372
C14:0	2.88	3.32	1.87	3.07	3.38	2.95	2.80	3.00	2.96	0.4630	0.2288	0.5171
C15:0	0.21	0.61	0.45	0.00	0.43	0.40	0.19	0.20	0.42	0.3119	0.0396*	0.4538
C16:0	24.17 ^{a,b}	25.03 ^b	23.35 ^{a,b}	24.27 ^{a,b}	24.46 ^b	23.81 ^{a,b}	22.32 ^a	23.44 ^{a,b}	23.31 ^{a,b}	0.0065*	0.0514	0.1730
C17:0	1.10 ^{a,b}	1.35 ^b	1.19 ^{a,b}	1.10 ^{a,b}	1.12 ^{a,b}	1.10 ^{a,b}	1.01 ^a	1.13 ^{a,b}	1.16 ^{a,b}	0.0521	0.0355*	0.2503
C18:0	15.20	12.77	17.03	14.90	15.10	14.51	14.03	14.77	17.07	0.8482	0.0804	0.1652
C14:1	0.74	0.81	0.72	0.86	0.49	0.84	0.65	0.81	0.71	0.9690	0.9068	0.4762
C15:1	0.42	0.71	0.36	0.41	0.58	0.55	0.31	0.34	0.66	0.9360	0.7283	0.8046
C16:1	3.69	3.86	3.50	4.18	4.06	4.07	3.31	3.90	3.62	0.1808	0.6510	0.8031
C17:1	0.53	1.18	1.01	1.03	1.04	0.51	0.83	1.07	0.99	0.8768	0.3216	0.4042
C18:1 <i>cis</i>	42.56	43.87	43.18	44.48	42.94	45.03	44.96	43.17	42.83	0.3730	0.5975	0.1630
C18:2 <i>trans</i>	0.00 ^a	0.00 ^a	0.63 ^c	0.16 ^{a,b}	0.57 ^c	0.42 ^{b,c}	0.00 ^a	0.00 ^a	0.55 ^c	0.0077*	0.0000*	0.0013*
C18:2 <i>cis</i>	6.67	4.11	4.34	4.34	3.84	3.37	4.29	4.48	4.14	0.4408	0.4193	0.7555
C18:3 <i>n3</i>	0.39	0.21	0.41	0.00	0.40	0.36	0.00	0.00	0.40	0.2934	0.1390	0.3088
C20:3 <i>n6</i>	1.44	1.17	0.69	1.21	0.79	0.69	0.85	2.17	0.91	0.3303	0.1106	0.1312
C20:5	0.00	1.15	0.10	0.00	0.30	1.36	0.00	1.51	0.17	0.9619	0.3094	0.5559
Σ Saturados	43.56	43.08	43.96	43.33	44.96	42.81	40.35	42.55	45.01	0.3156	0.1376	0.0593
Σ Monoinsaturados	47.93	50.43	48.76	50.96	49.12	50.99	50.07	49.29	48.82	0.3636	0.9899	0.3471
Σ Poliinsaturados	8.50	6.64	6.16	5.71	5.91	6.20	5.15	8.16	6.17	0.5876	0.6110	0.3763

Valores de ácidos grasos expresados en porcentaje respecto al total detectados. Medias con diferente literal dentro de renglón, indican diferencia entre tratamientos ($p < 0.05$)

6.4. Determinación e Identificación de Carotenoides

En el Cuadro 5 se muestran los resultados obtenidos para la determinación e identificación de carotenoides (luteína, criptoxantina α -caroteno, β -caroteno y *trans*-licopeno) en hamburguesas de res adicionadas con 0, 5 y 10% de pasta de tomate, cocinadas por horno de convección, horno de microondas y plancha. Las hamburguesas de res adicionadas o no con pasta de tomate al cocinarse por los distintos métodos, sufrieron la pérdida total de criptoxantina y α -caroteno (previamente identificados en la pasta de tomate), excepto en los tratamientos cocinados en plancha con 5 y 10% de PT. En general, cuando no se adicionó pasta de tomate a las hamburguesas de res no se detectó la presencia de luteína, β -caroteno y *trans*-licopeno, con excepción de los tratamientos cocinados en plancha con 0% de PT, donde se encontraron cantidades mínimas de luteína, α -caroteno, β -caroteno y *trans*-licopeno.

Cuadro 5. Contenido de carotenoides ($\mu\text{g}/100\text{g}$) en hamburguesas de res adicionadas con 0, 5 y 10% de pasta de tomate (PT); cocinadas en horno de convección (HC), horno de microondas (HM) y plancha (PL)

		Luteína	Criptoxantina	α -caroteno	β -caroteno	<i>trans</i> -licopeno
Método de cocinado	PT (%)					
HC	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5	0.29	0.00	0.00	1.95	0.05
	10	0.76	0.00	0.00	11.98	0.56
HM	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5	0.40	0.00	0.00	11.32	0.51
	10	0.95	0.00	0.00	10.68	0.21
PL	0	0.17	0.00	0.00	1.56	0.14
	5	0.35	0.00	0.05	6.68	0.39
	10	1.21	0.00	0.14	10.52	0.37

Así mismo, a medida que aumenta el porcentaje de pasta de tomate en las hamburguesas de res se incrementaron las cantidades luteína, β -caroteno y *trans*-licopeno. Excepto en los tratamientos cocinados en microondas, donde se observa un decremento de β -caroteno y *trans*-licopeno. Se ha reportado que la cocción podría degradar algunos nutrientes y promover la oxidación de lípidos,

entre otros (O'Neill *et al.*, 2019). Sin embargo, los procesos térmicos podrían causar la liberación de carotenoides de la matriz vegetal, aumentando los niveles de éstos (Vallverdú-Queralt *et al.*, 2015).

Los carotenoides tienen la capacidad para atrapar el oxígeno y los radicales peróxido (Doménech-Asensi *et al.*, 2013). Se cree que dicha capacidad es causante de proteger a las células del daño oxidativo (Kang *et al.*, 2010). En tal sentido, el comportamiento de los carotenoides en los tratamientos se puede observar en los resultados de la prueba del ácido tiobarbitúrico. Tratamientos con 0% de pasta de tomate cocinados en plancha y hamburguesas con 5% de PT cocinadas en horno de convección y microondas obtuvieron valores similares de TBA en el día 0. Además, las hamburguesas cocinadas en plancha con 0, 5 y 10% de PT resultaron en cantidades menores de TBA en el día 0 y 9 en comparación con el resto de los tratamientos.

Como se mencionó anteriormente, en los tratamientos cocinados en plancha, debido a las altas temperaturas de exposición, se dio la formación de una costra en la superficie de las hamburguesas de res que atrapó físicamente el agua y la grasa en el interior del producto (Lorenzo *et al.*, 2015). Al mismo tiempo, la incorporación en la formulación de un sazonador que contenía especias como ajo, cebolla y pimienta dio como resultado la detección de cantidades de carotenoides en tratamientos cocinados en plancha sin adición de pasta de tomate.

En resumen, el tiempo y temperatura de cocción de las hamburguesas de res adicionadas con pasta de tomate podría ser el causante de las pérdidas de carotenoides de crudo a cocinado. No obstante, se podría decir que estos porcentajes fueron adecuados para obtener el beneficio de la presencia de estos carotenoides en el producto.

7. CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio mostraron que los métodos de cocinado y la adición de pasta de tomate afectó a las hamburguesas de res de distintas maneras con relación a atributos nutricionales, fisicoquímicos y perfil de carotenoides. Cuando aumentó la proporción de PT en el producto, los valores de rendimiento, pH y textura disminuyeron. La incorporación de pasta de tomate en la formulación cárnica mejoró el perfil de carotenoides y disminuyó la oxidación lipídica del producto. Respecto al método de cocimiento del producto, el horno de microonda y horno de convección disminuyeron el rendimiento por cocción y el perfil de carotenoides; pero aumentaron los valores de pH, textura y TBA. La pasta de tomate es un ingrediente que puede ser incorporado en formulaciones de hamburguesas como fuente de antioxidantes naturales y representa una alternativa viable para mejorar la calidad y composición nutricional del producto final. La información generada en el presente trabajo referente al impacto de los diferentes métodos de cocción sobre hamburguesas de res reformuladas con pasta de tomate puede ser de utilidad para los procesadores de alimentos interesados en el desarrollo de nuevos productos cárnicos.

8. RECOMENDACIONES

Es necesario profundizar en la investigación que permita el desarrollo de hamburguesas de res con una connotación más saludable sin afectar la calidad del producto. Es necesario realizar estudios sobre el impacto de la adición de pasta de tomate y métodos de cocción sobre las propiedades sensoriales de hamburguesas de res. Son necesarios también realizar estudios para evaluar la bioaccesibilidad y la biodisponibilidad de los compuestos carotenoides como luteína, β -caroteno y licopeno.

9. REFERENCIAS

- Abdel-Naeem, H. H., Sallam, K. I., y Zaki, H. M. (2021). Effect of different cooking methods of rabbit meat on topographical changes, physicochemical characteristics, fatty acids profile, microbial quality and sensory attributes. *Meat Science*. 108612.
- Ağar, B., Genççelep, H., Sarıcaoğlu, F. T., y Turhan, S. (2016). Effect of sugar beet fiber concentrations on rheological properties of meat emulsions and their correlation with texture profile analysis. *Food and Bioproducts Processing*. 100: 118-131.
- Alves, A. B., Bragagnolo, N., da Silva, M. G., Skibsted, L. H., y Orlien, V. (2012). Antioxidant protection of high-pressure processed minced chicken meat by industrial tomato products. *Food and Bioproducts Processing*. 90(3): 499-505.
- Ángel-Rendón, S. V., Filomena-Ambrosio, A., Hernández-Carrión, M., Llorca, E., Hernando, I., Quiles, A., y Sotelo-Díaz, I. (2020). Pork meat prepared by different cooking methods. A microstructural, sensorial and physicochemical approach. *Meat Science*. 163: 108089.
- Antonini, E., Torri, L., Piochi, M., Cabrino, G., Meli, M. A., y 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.
- Ayub, H., y Ahmad, A. (2019). Physicochemical changes in *sous-vide* and conventionally cooked meat. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 17: 100145.
- Bainy, E. M., Bertan, L. C., Corazza, M. L., y Lenzi, M. K. (2015). Effect of grilling and baking on physicochemical and textural properties of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish burger. *Journal of Food Science and Technology*. 52(8): 5111-5119.
- Bellucci, E., Munekata, P., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., y da Silva Barretto, A. C. (2021). Red pitaya extract as natural antioxidant in pork patties with total replacement of animal fat. *Meat Science*. 171: 108284.
- Bligh, E. G., y Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*. 37(8): 911-917.
- Bohrer, B. M. (2017). Review: Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. *Trends in Food Science & Technology*. 65: 103-112.
- Bourne, M. (2002). *Food texture and viscosity: concept and measurement* (A. Press Ed. 2nd ed.).
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., y Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1): 25-30.
- Cabrera, M. C., y Saadoun, A. (2014). An overview of the nutritional value of beef and lamb meat from South America. *Meat Science*. 98(3): 435-444.
- Caicedo Orjuela, O., y Galvis Vanegas, J. A. (2012). Behaviour of citric acid, ascorbic acid and malic acid in tomato against three systems of conservation.
- Calvo, M. M., García, M. L., y Selgas, M. D. (2008). Dry fermented sausages enriched with lycopene from tomato peel. *Meat Science*. 80(2): 167-172.

- ^bCâmara, A. K., Geraldi, M. V., Okuro, P. K., Maróstica, M. R., da Cunha, R. L., y Pollonio, M. A. R. (2020). Satiety and *in vitro* digestibility of low saturated fat Bologna sausages added of chia mucilage powder and chia mucilage-based emulsion gel. *Journal of Functional Foods*. 65: 103753.
- ^aCâmara, A. K., Okuro, P. K., Cunha, R. L. d., Herrero, A. M., Ruiz-Capillas, C., y Pollonio, M. A. (2020). Chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage as a new fat substitute in emulsified meat products: Technological, physicochemical, and rheological characterization. *LWT*. 125: 109193.
- Candogan, K. (2002). The effect of tomato paste on some quality characteristics of beef patties during refrigerated storage. *European Food Research and Technology*. 215(4): 305-309.
- Cardona Serrate, F. (2020). Alteraciones enzimáticas en alimentos: el pardeamiento, el enranciamiento y la reacción de Maillard.
- Cervantes-Paz, B., Ornelas-Paz, J., Ruiz-Cruz, S., Rios-Velasco, C., Ibarra-Junquera, V., Yahia, E. M., y Gardea-Béjar, A. A. (2017). Effects of pectin on lipid digestion and possible implications for carotenoid bioavailability during pre-absorptive stages: A review. *Food Research International*. 99: 917-927.
- Ciriano, M. G.-I., García-Herreros, C., Larequi, E., Valencia, I., Ansorena, D. y Astiasarán, I. (2009). Use of natural antioxidants from lyophilized water extracts of *Borago officinalis* in dry fermented sausages enriched in ω -3 PUFA. *Meat science*, 83(2): 271-277.
- Colle, I. J., Lemmens, L., Van Buggenhout, S., Met, K., Van Loey, A. M., y Hendrickx, M. E. (2013). Processing tomato pulp in the presence of lipids: The impact on lycopene bioaccessibility. *Food Research International*. 51(1): 32-38.
- Cooperstone, J. L., Francis, D. M., y Schwartz, S. J. (2016). Thermal processing differentially affects lycopene and other carotenoids in *cis*-lycopene containing, *tangerine* tomatoes. *Food chemistry*. 210: 466-472.
- Daly, T., Ryan, E., Aisling Aherne, S., O'Grady, M. N., Hayes, J., Allen, P., O'Brien, N. M. (2010). Bioactivity of ellagic acid-, lutein- or sesamol-enriched meat patties assessed using an *in vitro* digestion and Caco-2 cell model system. *Food Research International*. 43(3): 753-760.
- Das, A. K., Nanda, P. K., Madane, P., Biswas, S., Das, A., Zhang, W., y Lorenzo, J. M. (2020). A comprehensive review on antioxidant dietary fibre enriched meat-based functional foods. *Trends in Food Science & Technology*. 99: 323-336.
- Das, A. K., y Rajkumar, V. (2013). Effect of different fat level on microwave cooking properties of goat meat patties. *Journal of Food Science and Technology*. 50(6): 1206-1211.
- Deda, MS, Bloukas, JG y Fista, GA (2007). Effect of tomato paste and nitrite level on processing and quality characteristics of frankfurters. *Meat Science*, 76 (3): 501-508.
- Desmarchelier, C., y Borel, P. (2017). Overview of carotenoid bioavailability determinants: From dietary factors to host genetic variations. *Trends in Food Science & Technology*. 69: 270-280.
- Doménech-Asensi, G., García-Alonso, F. J., Martínez, E., Santaella, M., Martín-Pozuelo, G., Bravo, S., y Periago, M. J. (2013). Effect of the addition of tomato paste on the nutritional and sensory properties of mortadella. *Meat science*. 93(2): 213-219.

- Domínguez Díaz, L., Fernández-Ruiz, V., y Cámara, M. (2020). An international regulatory review of food health-related claims in functional food products labeling. *Journal of Functional Foods*. 68: 103896.
- Donhowe, E. G., y Kong, F. (2014). Beta-carotene: digestion, microencapsulation, and *in vitro* bioavailability. *Food and Bioprocess Technology*. 7(2): 338-354.
- Eyiler, E., y Oztan, A. (2011). Production of frankfurters with tomato powder as a natural additive. *LWT - Food Science and Technology*. 44(1): 307-311.
- Fang, Z., Lin, P., Ha, M., y Warner, R. D. (2019). Effects of incorporation of sugarcane fibre on the physicochemical and sensory properties of chicken sausage. *International Journal of Food Science & Technology*. 54(4): 1036-1044.
- FAO. (2002). *Human Nutrition in Developing World: Vegetables and Fruits*. New York, USA: Food and Agriculture Organization. Recuperado de <http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0w.htm#bm32x>
- FAO. (2015). *Animal Production and Health: Composition of Meat*. New York, USA: Food and Agriculture Organization. Recuperado de http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html.
- Franco, J., Feed, O., Bianchi, G., Garibotto, G., Ballesteros, F., N. y Bentancur, O. (2008). Meat quality parameters of five muscles of Holando steers during postmortem ageing. I. Instrumental quality. *Agrociencia*. 12(1): 61-68.
- García, M. L., Calvo, M. M., y Selgas, M. D. (2009). Beef hamburgers enriched in lycopene using dry tomato peel as an ingredient. *Meat science*, 83(1): 45-49.
- Ghafouri-Oskuei, H., Javadi, A., Asl, M. R. S., Azadmard-Damirchi, S., y Armin, M. (2020). Quality properties of sausage incorporated with flaxseed and tomato powders. *Meat science*. 161: 107957.
- Ghafouri-Oskuei, H., Javadi, A., Asl, MRS, Azadmard-Damirchi, S. y Armin, M. (2020). Propiedades de calidad del embutido incorporadas con polvo de linaza y tomate. *Ciencia de la carne*, 161: 107957.
- Gómez, B., Barba, F. J., Domínguez, R., Putnik, P., Bursac Kovačević, D., Pateiro, M., Lorenzo, J. M. (2018). Microencapsulation of antioxidant compounds through innovative technologies and its specific application in meat processing. *Trends in Food Science & Technology*. 82: 135-147.
- González, J. D. T., Morelos, K. J. G., y Correa, D. A. (2015). Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos.
- Gruffat, D., Bauchart, D., Thomas, A., Parafita, E., y Durand, D. (2021). Fatty acid composition and oxidation in beef muscles as affected by ageing times and cooking methods. *Food Chemistry*. 343: 128476.
- Hadian, M., Rajaei, A., Mohsenifar, A., y Tabatabaei, M. (2017). Encapsulation of *Rosmarinus officinalis* essential oils in chitosan-benzoic acid nanogel with enhanced antibacterial activity in beef cutlet against *Salmonella typhimurium* during refrigerated storage. *LWT*. 84: 394-401.
- Hall, N., Schönfeldt, H. C., y Pretorius, B. (2016). Effect of animal age and trimming practices on

the physical composition of Bonsmara beef. Food chemistry. 193: 160-165.

- Henning, S. S. C., Tshalibe, P., y Hoffman, L. C. (2016). Physico-chemical properties of reduced-fat beef species sausage with pork back fat replaced by pineapple dietary fibres and water. LWT. 74: 92-98.
- Hernández-Hernández, E., Lira-Moreno, C. Y., Guerrero-Legarreta, I., Wild-Padua, G., Di Pierro, P., García-Almendárez, B. E., y Regalado-González, C. (2017). Effect of nanoemulsified and microencapsulated Mexican oregano (*Lippia graveolens Kunth*) essential oil coatings on quality of fresh pork meat. Journal of Food Science. 82(6): 1423-1432.
- Hung, Y., de Kok, T. M., y Verbeke, W. (2016). Consumer attitude and purchase intention towards processed meat products with natural compounds and a reduced level of nitrite. Meat Science. 121: 119-126.
- Ilahy, R., Hdider, C., Lenucci, M. S., Tlili, I., y Dalessandro, G. (2011). Phytochemical composition and antioxidant activity of high-lycopene tomato (*Solanum lycopersicum L.*) cultivars grown in Southern Italy. Scientia Horticulturae. 127(3): 255-261.
- Iyawan, A. (2018). El Licopeno del Tomate y los Beneficios sobre las Enfermedades Cardiovasculares (Tesis Doctoral). Universidad Complutense.
- Jiménez Colmenero, F., Serrano, A., Ayo, J., Solas, M. T., Cofrades, S. and Carballo, J. (2003). Physicochemical and sensory characteristics of restructured beef steak with added walnuts. Meat Science, 65(4): 1391- 1397.
- Jouki, M., Rabbani, M., y Shakouri, M. (2020). Effects of pectin and tomato paste as a natural antioxidant on inhibition of lipid oxidation and production of functional chicken breast sausage. Food Science and Technology.
- Juárez, M., Failla, S., Ficco, A., Peña, F., Avilés, C., y Polvillo, O. (2010). Buffalo meat composition as affected by different cooking methods. Food and Bioproducts Processing. 88(2-3): 145-148.
- Kang, S. N., Jin, S. K., Yang, M. R., y Kim, I. S. (2010). Changes in quality characteristics of fresh pork patties added with tomato powder during storage. Food Science of Animal Resources. 30(2): 216-222.
- Kaur, R., y Sharma, M. (2019). Cereal polysaccharides as sources of functional ingredient for reformulation of meat products: A review. Journal of Functional Foods. 62: 103527.
- Khan, M. I., Arshad, M. S., Anjum, F. M., Sameen, A., Aneeq ur, R., y Gill, W. T. (2011). Meat as a functional food with special reference to probiotic sausages. Food Research International. 44(10): 3125-3133.
- Kim, I. S., Jin, S. K., Yang, M. R., Chu, G. M., Park, J. H., Rashid, R. H. I., y Kang, S. N. (2013). Efficacy of tomato powder as antioxidant in cooked pork patties. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 26(9): 1339.
- Kim, T.-K., Yong, H.-I., Jung, S., Kim, Y.-B., y Choi, Y.-S. (2020). Effects of replacing pork fat with grape seed oil and gelatine/alginate for meat emulsions. Meat Science. 163: 108079.
- Kirkhus, B., Afseth, N. K., Borge, G. I. A., Grimsby, S., Steppeler, C., Krona, A., y Langton, M. (2019). Increased release of carotenoids and delayed *in vitro* lipid digestion of high pressure homogenized tomato and pepper emulsions. Food chemistry. 285: 282-289.

- Klurfeld, D. M. (2015). Research gaps in evaluating the relationship of meat and health. *Meat Science*. 109: 86-95.
- Kuffa, M., Priesbe, T. J., Krueger, C. G., Reed, J. D., y Richards, M. P. (2009). Ability of dietary antioxidants to affect lipid oxidation of cooked turkey meat in a simulated stomach and blood lipids after a meal. *Journal of Functional Foods*. 1(2): 208-216.
- Kurt, A., y Gençcelep, H. (2018). Enrichment of meat emulsion with mushroom (*Agaricus bisporus*) powder: Impact on rheological and structural characteristics. *Journal of Food Engineering*. 237: 128-136.
- Kushi, L.H., Doyle, C., McCullough, M., Rock, C.L., Demark-Wahnefried, W., Bandera, E.V., Gapstur, S., Patel, A.V., Andrews, y K., Gansler, T. (2012), American Cancer Society guidelines on nutrition and physical activity for cancer prevention. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 62: 30-67.
- Larsson, S. C., y Orsini, N. (2013). Red Meat and Processed Meat Consumption and All-Cause Mortality: A Meta-Analysis. *American Journal of Epidemiology*. 179(3): 282-289.
- Leygonie, C., Britz, T. J., y Hoffman, L. C. (2012). Impact of freezing and thawing on the quality of meat. *Meat science*. 91(2): 93-98.
- López-López, I., Cofrades, S., Cañeque, V., Díaz, M. T., López, O., y Jiménez-Colmenero, F. (2011). Effect of cooking on the chemical composition of low-salt, low-fat Wakame/olive oil added beef patties with special reference to fatty acid content. *Meat Science*. 89(1): 27-34.
- López-Suárez, A. (2019). Burden of cancer attributable to obesity, type 2 diabetes and associated risk factors. *Metabolism*. 92: 136-146.
- Lorenzo, J. M., Cittadini, A., Munekata, P. E., y Domínguez, R. (2015). Physicochemical properties of foal meat as affected by cooking methods. *Meat science*. 108: 50-54.
- Los, P. R., Marson, G. V., Dutcosky, S. D., Nogueira, A., Marinho, M. T., y Simões, D. R. S. (2020). Optimization of beef patties produced with vegetable oils: a mixture design approach and sensory evaluation. *Food Science and Technology*. 40: 12-20.
- Luna-Guevara, M. L., Jiménez-González, O., Luna-Guevara, J. J., Hernández-Carranza, P., y Ochoa-Velasco, C. E. (2014). Quality parameters and bioactive compounds of red tomatoes (*Solanum lycopersicum L.*) cv Roma VF at different postharvest conditions. *Journal of Food Research*. 3(5): 8.
- Luo, J., Taylor, C., Nebl, T., Ng, K., y Bennett, L. E. (2018). Effects of macro-nutrient, micro-nutrient composition and cooking conditions on in vitro digestibility of meat and aquatic dietary proteins. *Food chemistry*. 254: 292-301.
- Macho-González, A., Garcimartín, A., López-Oliva, M. E., Celada, P., Bastida, S., Benedí, J., y Sánchez-Muniz, F. J. (2020). Carob-fruit-extract-enriched meat modulates lipoprotein metabolism and insulin signaling in diabetic rats induced by high-saturated-fat diet. *Journal of Functional Foods*. 64: 103600.
- MacMartin, J. M., Cho, H. C., y Bordi, P. L. (2017). Consumer Sensory Acceptance of Raw Hamburger Patties Cooked on Grill versus Precooked Hamburger Patties Cooked in Rapid-Cook Oven. *Journal of Culinary Science & Technology*. 15(4): 349-359.
- Madane, P., Das, A. K., Nanda, P., Bandyopadhyay, S., Jagtap, P., Shewalkar, A., y Maity, B.

- (2020). Dragon fruit (*Hylocereus undatus*) peel as antioxidant dietary fibre on quality and lipid oxidation of chicken nuggets. *Journal of Food Science and Technology*. 57(4): 1449-1461.
- Martínez-Huélamo, M., Tulipani, S., Estruch, R., Escribano, E., Illán, M., Corella, D., y Lamuela-Raventós, R. M. (2015). The tomato sauce making process affects the bioaccessibility and bioavailability of tomato phenolics: A pharmacokinetic study. *Food Chemistry*. 173: 864-872.
- Menezes, E. A., Oliveira, A. F., França, C. J., Souza, G. B., y Nogueira, A. R. A. (2018). Bioaccessibility of Ca, Cu, Fe, Mg, Zn, and crude protein in beef, pork and chicken after thermal processing. *Food chemistry*. 240: 75-83.
- Mir, S. A., Masoodi, F. A., y Raja, J. (2017). Influence of natural antioxidants on microbial load, lipid oxidation and sensorial quality of rista—A traditional meat product of India. *Food bioscience*. 20: 79-87.
- Modzelewska-Kapituła, M. (2012). Effects of Tomato Powder on Color, Lipid Oxidation and Sensory Properties of Comminuted Meat Products. *Journal of Food Quality*. 35(5): 323-330.
- Mohajer, S., Taha, R. M., Ramli, R. B., y Mohajer, M. (2016). Phytochemical constituents and radical scavenging properties of *Borago officinalis* and *Malva sylvestris*. *Industrial Crops and Products*. 94: 673-681
- Moreira, A. R. S., García-Fernández, R. A., Bocanegra, A., Méndez, M. T., Bastida, S., Benedí, J., Sánchez-Muniz, F. J. (2013). Effects of seaweed-restructured pork diets enriched or not with cholesterol on rat cholesterolaemia and liver damage. *Food and chemical toxicology*. 56: 223-230.
- Morsy, M. K., Mekawi, E., y Elsabagh, R. (2018). Impact of pomegranate peel nanoparticles on quality attributes of meatballs during refrigerated storage. *LWT*. 89: 489-495.
- Munekata, P. E., Rocchetti, G., Pateiro, M., Lucini, L., Domínguez, R., y Lorenzo, J. M. (2020). Addition of plant extracts to meat and meat products to extend shelf-life and health-promoting attributes: an overview. *Current Opinion in Food Science*. 31: 81-87.
- Neri-Numa, I. A., Arruda, H. S., Geraldi, M. V., Maróstica Júnior, M. R., y Pastore, G. M. (2020). Natural prebiotic carbohydrates, carotenoids and flavonoids as ingredients in food systems. *Current Opinion in Food Science*. 33: 98-107.
- Nisar, M., Chatli, M., Sharma; D., y Sahoo, J. (2010). Effect of Cooking Methods and Fat Levels on the Physico-chemical, Processing, Sensory and Microbial Quality of Buffalo Meat Patties *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 23(10): 1380 - 1385.
- Ochoa Becerra, M., Mojica Contreras, L., Hsieh Lo, M., Mateos Díaz, J., y Castillo Herrera, G. (2020). Lutein as a functional food ingredient: Stability and bioavailability. *Journal of Functional Foods*. 66: 103771.
- Oh, M., Kim, E.-K., Jeon, B.-T., Tang, Y., Kim, M. S., Seong, H.-J., y Moon, S.-H. (2016). Chemical compositions, free amino acid contents and antioxidant activities of Hanwoo (*Bos taurus coreanae*) beef by cut. *Meat Science*. 119: 16-21.
- Oliveira, M. R. C., Echeverria, L., Martinez, A. C., Goes, R. H. T. D., Scanavacca, J., y Barros, B. C. (2021). Safflower seed supplementation in lamb feed: effects upon fatty acid profile and

quality of meat patty formulations. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 93.

- Olmedilla-Alonso, B., Jiménez-Colmenero, F., y Sánchez-Muniz, F. J. (2013). Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods. *Meat Science*. 95(4): 919-930.
- OMS. (2015). Carcinogenicidad del consumo de carne roja y de la carne procesada. Recuperado de OMS. (2015). Carcinogenicidad del consumo de carne roja y de la carne procesada. Recuperado de <https://apps.who.int/mediacentre/news/releases/2015/cancer-red-meat/es/index.html>
- O'Neill, C. M., Cruz-Romero, M. C., Duffy, G., y Kerry, J. P. (2019). Comparative effect of different cooking methods on the physicochemical and sensory characteristics of high pressure processed marinated pork chops. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 54, 19-27.
- Ortuño, J., Mateo, L., Rodríguez-Estrada, M. T., y Bañón, S. (2021). Effects of *sous vide* vs grilling methods on lamb meat colour and lipid stability during cooking and heated display. *Meat Science*. 171: 108287.
- Østerlie, M., y Lerfall, J. (2005). Lycopene from tomato products added minced meat: Effect on storage quality and colour. *Food Research International*, 38(8): 925-929.
- Palafox-Carlos, H., Ayala-Zavala, J. F., y González-Aguilar, G. A. (2011). The role of dietary fiber in the bioaccessibility and bioavailability of fruit and vegetable antioxidants. *Journal of food science*. 76(1): R6-R15.
- Park, P. W., y Goins, R. E. (1994). *In situ* preparation of fatty acid methyl esters for analysis of fatty acid composition in foods. *Journal of Food Science*. 59(6): 1262-1266.
- Pateiro, M., Vargas, F. C., Chinchá, A., Sant'Ana, A. S., Strozzi, I., Rocchetti, G., Lorenzo, J. M. (2018). Guarana seed extracts as a useful strategy to extend the shelf life of pork patties: UHPLC-ESI/QTOF phenolic profile and impact on microbial inactivation, lipid and protein oxidation and antioxidant capacity. *Food Research International*. 114: 55-63.
- Pawar, V. D., Khan, F. A., y Agarkar, B. S. (2002). Effect of fat/whey protein concentrate levels and cooking methods on textural characteristics of chevon patties. *Journal of food science and technology (Mysore)*. 39(4): 429-431.
- Pedrero, F., y Pangborn, R. (1989). Evaluación sensorial de los alimentos: métodos analíticos (E. A. Mexicana Ed.). México: Editorial Alhambra Mexicana.
- Pereira, P. M., y Vicente, A. F. (2013). Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat science*. 93(3): 586-592.
- Pérez-Burillo, S., Pastoriza, S., Gironés, A., Avellaneda, A., Pilar Francino, M., y Rufián-Henares, J. A. (2020). Potential probiotic salami with dietary fiber modulates metabolism and gut microbiota in a human intervention study. *Journal of Functional Foods*. 66: 103790.
- Petridis, D., Raizi, P., y Ritzoulis, C. (2014). Influence of citrus fiber, rice bran and collagen on the texture and organoleptic properties of low-fat frankfurters. *Journal of food processing and preservation*. 38(4): 1759-1771.
- Pfalzgraf, A., Frigg, M., y Steinhart, H. (1995). α -Tocopherol Contents and Lipid Oxidation in Pork Muscle and Adipose Tissue during Storage. *Journal of Agricultural and Food*

Chemistry. 43(5): 1339-1342.

- Pinela, J., Montoya, C., Carvalho, A. M., Martins, V., Rocha, F., Barata, A. M. y Ferreira, I. C. (2019). Phenolic composition and antioxidant properties of *ex-situ* conserved tomato (*Solanum lycopersicum L.*) germplasm. Food Research International. 125: 108545.
- Plasek, B., y Temesi, Á. (2019). The credibility of the effects of functional food products and consumers willingness to purchase/willingness to pay– review. Appetite. 143: 104398.
- Poleti, M. D., Regitano, L. C., Souza, G. H., Cesar, A. S. M., Simas, R. C., Silva-Vignato, B., y Coutinho, L. L. (2020). Proteome alterations associated with the oleic acid and cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid content in bovine skeletal muscle. Journal of Proteomics. 222: 103792.
- Pophiwa, P., Webb, E. C., y Frylinck, L. (2020). A review of factors affecting goat meat quality and mitigating strategies. Small Ruminant Research. 183: 106035.
- 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
- Qiu, Z. Z., y Chin, K. B. (2021). Physicochemical properties and shelf-life of raw and cooked patties added with various levels of grape tomato powder by different drying methods. LWT. 146: 111415.
- Ranucci, D., Miraglia, D., Branciarì, R., Morganti, G., Roila, R., Zhou, K., Braconi, P. (2018). Frankfurters made with pork meat, emmer wheat (*Triticum dicoccum Schübler*) and almonds nut (*Prunus dulcis Mill.*): evaluation during storage of a novel food from an ancient recipe. Meat Science. 145: 440-446.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., y Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine. 26(9): 1231-1237.
- Reis, A. S., Diedrich, C., Moura, C., Pereira, D., Almeida, J. F., Silva, L. D. Carpes, S. T. (2017). Physico-chemical characteristics of microencapsulated propolis co-product extract and its effect on storage stability of burger meat during storage at -15 °C. LWT - Food Science and Technology. 76: 306-313.
- Reyes-Padilla, E., Valenzuela-Melendres, M., Camou, J. P., Sebranek, J. G., Alemán-Mateo, H., Dávila-Ramírez, J. L., y González-Ríos, H. (2018). Quality evaluation of low fat bologna-type meat product with a nutritional profile designed for the elderly. Meat Science. 135: 115-122.
- Riso, P., y Porrini, M. (1997). Determination of carotenoids in vegetable foods and plasma. International Journal for Vitamin and Nutrition Research. 67(1): 47-54.
- Robert, P., Zamorano, M., González, E., Silva-Weiss, A., Cofrades, S., y Giménez, B. (2019). Double emulsions with olive leaves extract as fat replacers in meat systems with high oxidative stability. Food Research International. 120: 904-912.
- Robles-Sánchez, R. M., Rojas-Graü, M. A., Odriozola-Serrano, I., González-Aguilar, G. A., y Martín-Belloso, O. (2009). Effect of minimal processing on bioactive compounds and

antioxidant activity of fresh-cut 'Kent'mango (*Mangifera indica* L.). *Postharvest Biology and Technology*. 51(3): 384-390.

- Rodríguez-Amaya, D. B. (2015). Status of carotenoid analytical methods and *in vitro* assays for the assessment of food quality and health effects. *Current Opinion in Food Science*. 1: 56-63.
- Rodríguez-Azúa, R., Treuer, A., Moore-Carrasco, R., Cortacáns, D., Gutiérrez, M., Astudillo, L. y Palomo, I. (2014). Effect of tomato industrial processing (different hybrids, paste, and pomace) on inhibition of platelet function *in vitro*, *ex vivo*, and *in vivo*. *Journal of Medicinal Food*. 17(4): 505-511.
- Romero, M. C., Fogar, R. A., Fernández, C. L., Doval, M. M., Romero, A. M., y Judis, M. A. (2020). Effects of freeze-dried pulp of *Eugenia uniflora* L. and *Opuntia ficus-indica* fruits on quality attributes of beef patties enriched with n-3 fatty acids. *Journal of Food Science and Technology*.
- Roohinejad, S., Nikmaram, N., Brahim, M., Koubaa, M., Khelfa, A., y Greiner, R. (2017). Potential of novel technologies for aqueous extraction of plant bioactives. *Water Extraction of Bioactive Compounds*. Elsevier. 99-419.
- Ruelas-Chacon, X., Contreras-Esquivel, J., Montañez, J., Aguilera-Carbo, A., Reyes-Vega, M., Peralta-Rodríguez, R., y Sánchez-Brambila, G. (2017). Guar gum as an edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of roma tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Food Quality*.
- Saini, R. K., Nile, S. H., y Park, S. W. (2015). Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. *Food Research International*. 76: 735-750.
- Salami, S. A., O'Grady, M. N., Luciano, G., Priolo, A., McGee, M., Moloney, A. P., y Kerry, J. P. (2021). Concentrate supplementation with dried corn gluten feed improves the fatty acid profile of *longissimus thoracis* muscle from steers offered grass silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Savadkoohi, S., Hoogenkamp, H., Shamsi, K., y Farahnaky, A. (2014). Color, sensory and textural attributes of beef frankfurter, beef ham and meat-free sausage containing tomato pomace. *Meat Science*. 97(4): 410-418.
- Schor, A., Cossu, M. E., Picallo, A., Ferrer, J. M., Naón, J. J. G., y Colombatto, D. (2008). Nutritional and eating quality of Argentinean beef: A review. *Meat Science*. 79(3): 408-422.
- Schüz, J., Espina, C., Villain, P., Herrero, R., Leon, M. E., Minozzi, S., y Lignini, T. (2015). European Code against Cancer 4th Edition: 12 ways to reduce your cancer risk. *Cancer epidemiology*. 39: S1-S10.
- Scollan, N. D., Dannenberger, D., Nuernberg, K., Richardson, I., MacKintosh, S., Hocquette, J.-F., y Moloney, A. P. (2014). Enhancing the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science*, 97(3): 384-394.
- Smith, S. B., Lunt, D. K., Smith, D. R., y Walzem, R. L. (2020). Producing high-oleic acid beef and the impact of ground beef consumption on risk factors for cardiovascular disease: A review. *Meat Science*. 163: 108076.

- Sobral, M. M. C., Casal, S., Faria, M. A., Cunha, S. C., & Ferreira, I. M. (2020). Influence of culinary practices on protein and lipid oxidation of chicken meat burgers during cooking and *in vitro* gastrointestinal digestion. *Food and Chemical Toxicology*. 141: 111401.
- Solomando, J. C., Antequera, T., y Perez-Palacios, T. (2020). Lipid digestion products in meat derivatives enriched with fish oil microcapsules. *Journal of Functional Foods*. 68: 103916.
- Sullivan, D. M., y Carpenter, D. E. (1993). *Methods of analysis for nutrition labeling*. AOAC international.
- Toldrá, F. (2003). Muscle foods: water, structure and functionality. *Food Science and Technology International*. 9(3): 173-177.
- Turgut, S. S., Soyer, A., y Işıkcı, F. (2016). Effect of pomegranate peel extract on lipid and protein oxidation in beef meatballs during refrigerated storage. *Meat Science*. 116: 126-132.
- Valenzuela, M. M., Camou, J. P., Olivera, N. T., Almora, E. Á., Mendoza, D. G., Reyes, L. A., y Ríos, H. G. (2014). Response surface methodology for predicting quality characteristics of beef patties added with flaxseed and tomato paste. *Meat science*. 97(1): 54-61.
- Valenzuela-Melendres, M., Camou, J. P., Torrentera-Olivera, N. G., Viuda-Martos, M., y González-Rios, H. (2018). Nutritional quality of beef patties with added flaxseed and tomato paste. *CyTA-Journal of Food*. 16(1): 263-270.
- Vallverdú-Queralt, A., Regueiro, J., De Alvarenga, J. F. R., Torrado, X., y Lamuela-Raventos, R. M. (2015). Carotenoid profile of tomato sauces: effect of cooking time and content of extra virgin olive oil. *International journal of molecular sciences*. 16(5): 9588-9599.
- Vasanthi, C., Venkataramanujam, V., y Dushyanthan, K. (2007). Effect of cooking temperature and time on the physico-chemical, histological and sensory properties of female carabeef (buffalo) meat. *Meat science*. 76(2): 274-280.
- Velásquez, H. J. C., Rhenals, J. E. M., y Rhenals, J. E. M. (2006). Modelación numérica de un proceso térmico por microondas con énfasis en alimentos. *Dyna*. 73(150): 155-166.
- Williams, P. (2007). Nutritional composition of red meat. *Nutrition & Dietetics*. 64: S113-S119.
- Xu, J., Zhang, M., Wang, Y., y Bhandari, B. (2021). Novel Technologies for Flavor Formation in the Processing of Meat Products: A Review. *Food Reviews International*. 1-25.
- Yang, H.-J., Lee, J.-H., Won, M., y Song, K. B. (2016). Antioxidant activities of distiller dried grains with solubles as protein films containing tea extracts and their application in the packaging of pork meat. *Food chemistry*. 196: 174-179.
- Ye, Q., Georges, N., y Selomulya, C. (2018). Microencapsulation of active ingredients in functional foods: From research stage to commercial food products. *Trends in Food Science & Technology*. 78: 167-179.
- Yeum, K. J., Booth, S. L., Sadowski, J. A., Liu, C., Tang, G., Krinsky, N. I., y Russell, R. M. (1996). Human plasma carotenoid response to the ingestion of controlled diets high in fruits and vegetables. *The American journal of clinical nutrition*. 64(4): 594-602.