



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

**EFFECTO DEL TIPO DE GRASA Y TRATAMIENTO
TÉRMICO SOBRE LA CALIDAD DE SALCHICHAS DE
CERDO ADICIONADAS CON MORAS AZULES (*Vaccinium
corymbosum*)**

Por

Alejandro Fregoso López

TESIS APROBADA POR LA

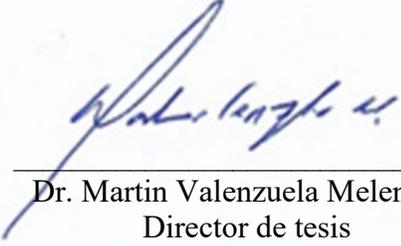
COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

Maestría en Ciencias

APROBACION

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Alejandro Fregoso López la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias.



Dr. Martin Valenzuela Melendres
Director de tesis



Dr. Humberto González Ríos
Integrante del comité de tesis



Dr. Manuel Viuda Martos
Integrante del comité de tesis



Dr. Luis Enrique Robles Ozuna
Integrante del comité de tesis

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis “Efecto del Tipo de Grasa y Tratamiento Térmico sobre la Calidad de Salchichas de Cerdo Adicionadas con Moras Azules (*Vaccinium corymbosum*)” 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 del autor, Alejandro Fregoso 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 el apoyo económico brindado durante la realización de mis estudios de posgrado de maestría en ciencias.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C (CIAD, A.C), por permitirme ser parte de su programa de posgrado y brindarme una oportunidad de realizar mis estudios de maestría y ayudar a mi formación académica.

A la Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal (CTAOA), por brindarme y facilitarme las instalaciones de sus laboratorios y equipos, además de la oportunidad de trabajar en esta área.

Quiero agradecer a mi director de tesis el Dr. Martín Valenzuela Melendres, por aceptarme como uno de sus estudiantes, por la gran contribución al trabajo de investigación, por su apoyo durante estos más de dos años. Muchas gracias por todos los conocimientos compartidos y los consejos tanto como profesionales y personales, dedicación y tiempo.

A mi comité de tesis, Dr. Juan Pedro Camou Arriola †, Dr. Humberto Gonzales Ríos, Dr. Manuel Viuda Martos y Dr. Luis Enrique Roble Ozuna por el tiempo, dedicación, apoyo, consejos brindados y contribución a este trabajo de investigación. ¡Muchas gracias!

Quiero agradecer especialmente al I.Q. Luis German Cumplido Barbeitia, por todo su apoyo y dedicación a este trabajo de investigación. Le agradezco todo el apoyo y enseñanzas brindadas desde mi llegada al CIAD antes de los estudios de maestría, por su amistad y los grandes consejos. Agradezco a la Q.B Thalia Y. Islava Lagarda por su apoyo, paciencia, atención y asesoría técnica en todo momento durante el trabajo de investigación. Grandes enseñanzas, consejos y amistad que me ayudaron a formarme profesionalmente.

De igual manera quiero agradecer a la cDr. Anna Judith Pérez Báez, por su apoyo y colaboración en este trabajo de investigación, así como su paciencia, amistad y confianza.

Al resto del miembros del LACyTEC, Dra. Aida Peña Ramon, M.C Libertad Zamorano, por su ayuda en dudas y momentos compartidos en este tiempo.

A mis amigos Cynthia, Nallely y Mario, por su amistad, su apoyo absoluto durante todo este tiempo, por las buenas palabras y motivación en todo momento, además por la ayuda constante durante este trabajo de investigación. A los demás amigos Julio González, Ana Tanori, Imanol,

Francisco Alday y Ana Laura Flores[†], por formar parte de estos años y los momentos vividos.

A mis padres Gerardo[†] y Rosalva, así como mi hermano y cuñada, Gerardo y Paulette, por estar en todo momento, por el apoyo y la comprensión. ¡GRACIAS!

Al mis amigos y familia, que siempre estuvieron al pendiente de mí, dándome palabras de aliento siempre. Les agradezco.

DEDICATORIA

A Dios, por bríndame todo en esta vida.

A mis padres Gerardo[†] y Rosalva, por todo su apoyo brindado para lograr este objetivo profesional, por su comprensión y amor que me brindaron durante toda esta etapa. Se que están orgullosos de mí.

A mi hermano y cuñada, por acompañarme en todo momento.

Por último, a las personas que no están presentes para verme culminar esta meta profesional, mi padre Gerardo, un maestro Dr. Juan Pedro y una amiga Ana Laura.

QEPD.

CONTENIDO

APROBACION	2
DECLARATORIA INSTITUCIONAL	3
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	6
CONTENIDO	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE CUADROS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUCCION	13
2. ANTECEDENTES	15
2.1. Producción de Carne de Cerdo y sus Productos	15
2.1.1. Salchicha.....	15
2.2. Consumo de Carne y sus Productos y su Relación con la Salud.....	16
2.2.1. Beneficios a la Salud por el Consumo de Carne.....	16
2.2.2. Daños a la Salud Derivados del Consumo de Carne y sus Productos Cárnicos	17
2.3. Alimentos Cárnicos Funcionales	18
2.3.1. Estrategias para el Desarrollo de Alimentos Cárnicos Funcionales	19
2.3.2. Ingredientes no Tradicionales Para la Elaboración de Productos Cárnicos.....	20
2.3.3. Aceite de Coco.....	20
2.3.4. Aceite de Maíz.....	21
2.4. Potencial de la Mora Azul como Ingrediente en Productos Cárnicos	22
2.4.1. Composición Nutricional de la Mora Azul.....	22
2.4.2. Uso de Mora Azul como Ingrediente en Productos Cárnicos.....	23
2.5. Tratamientos Térmicos para la Conservación de Productos Cárnicos	24
2.5.1. Esterilización	24
2.5.2. Pasteurización	25
2.5.3. Efectos de los Tratamientos Térmicos Sobre la Calidad de Productos Cárnicos	25
3. HIPÓTESIS	27
4. OBJETIVOS	28
4.1. Objetivo General.....	28
4.2. Objetivos Específicos	28
5. MATERIALES Y MÉTODOS	29
5.1. Diseño Experimental	29
5.2. Obtención y Preparación de Materia Prima.....	29
5.2.1. Elaboración de Preemulsiones	29
5.3. Elaboración y Formulación de los Tratamientos.....	30

CONTENIDO (continuación)

5.4. Análisis proximal.....	31
5.5. Análisis Fisicoquímicos.....	31
5.5.1. Potencial de Hidrógeno (pH).....	31
5.5.2. Color Instrumental (CIE L^* , a^* y b^*).....	32
5.5.3. Análisis de Perfil de Textura (APT).....	32
5.6. Perfil de Ácidos Grasos.....	33
5.7. Capacidad Antioxidante.....	34
5.7.1. Obtención de Extracto.....	34
5.7.2. Inhibición de Radical DPPH'.....	35
5.7.3. Capacidad Antioxidante Equivalente de Trolox (TEAC).....	35
5.7.4. Ensayo de Poder Antioxidante Reductor Férrico (FRAP).....	36
5.7.5. Capacidad de Absorción de Radicales Oxígeno (ORAC').....	36
5.8. Fenoles Totales.....	36
5.9. Perfil de Antocianinas.....	37
5.10. Análisis Estadístico.....	37
6. RESULTADOS Y DISCUSION.....	38
6.1. Etapa I. Caracterización de la Materia Prima.....	38
6.2. Etapa II. Efectos e Interacciones del Tipo de Grasa y Tratamiento Térmico sobre la Calidad de Salchichas de Cerdo.....	40
6.2.1. Análisis Proximal.....	40
6.2.2. Potencial de Hidrógeno (pH).....	43
6.2.3. Color Instrumental CIE L^* , a^* y b^*	44
6.2.4. Análisis de Perfil de Textura (APT).....	47
6.2.5. Perfil de Ácidos Grasos.....	50
6.3. Etapa III. Capacidad Antioxidante y Perfil de Antocianinas.....	53
6.3.1. Capacidad Antioxidante.....	53
6.3.2. Perfil de Antocianinas.....	55
7. CONCLUSIONES.....	58
8. RECOMENDACIONES.....	59
9. REFERENCIAS.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pagina
1. Efecto del tipo de grasa y tratamiento térmico sobre el pH de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules. Barras con diferente letra, indican diferencias ($p < 0.05$).....	44
2. Color instrumental de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules y sometidas a pasteurización o esterilización, donde A) Valor L^* , B) Valor a^* y C) Valor b^* . Barras con diferente letra, indican diferencias ($p < 0.05$).....	46
3. Color de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules, formuladas con grasa de cerdo (GC), aceite de maíz (MZ) y aceite de coco (CC), sometidas a pasteurización y esterilización.....	47
4. Perfil de antocianinas en salchichas de cerdo con moras azules sometidas a A) pasteurización y B) esterilización.....	47
5. Análisis de perfil de textura de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules formuladas con grasa de cerdo, aceite de maíz y aceite de coco sometidas a pasteurización y esterilización. Barras con diferente letra, indican diferencias ($p < 0.05$).....	49
6. Capacidad antioxidante de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules formuladas con grasa de cerdo, aceite de maíz y aceite de coco sometidas a pasteurización y esterilización. Barras con diferente letra, indican diferencias ($p < 0.05$).....	55
7. Antocianinas identificadas con números del 1 al 7 en salchichas de cerdo adicionadas con moras azules sometidas a A) pasteurización y B) esterilización.....	57

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Pagina
1. Estrategias principales para el desarrollo de productos cárnicos funcionales	19
2. Ejemplo de alimentos cárnicos esterilizados comercialmente	24
3. Formulación de tratamientos de salchicha de cerdo adicionadas con moras azules	30
4. Valores del análisis proximal, color instrumental y pH de la materia prima	39
5. Perfil de ácidos grasos de carne de cerdo, grasa de cerdo, aceite de maíz y aceite de coco.....	39
6. Análisis proximal ^a de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules evaluando el efecto de tipo de grasa (GR) y tratamiento térmico (TT).	42
7. Perfil de ácidos grasos de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules evaluando el efecto de tipo de grasa.	51

RESUMEN

La salchicha de cerdo es un embutido fresco, accesible y ampliamente consumido en todo el mundo. Sin embargo, su ingesta en exceso está relacionado con enfermedades no transmisibles debido a su contenido de grasa saturada, colesterol y sal. Agregar ingredientes con propiedades bioactivas en las formulaciones cárnicas es una buena estrategia para desarrollar alimentos más saludables. La mora azul es un alimento con potencial de ser incorporado en productos cárnicos pues es alta en compuestos antioxidantes. Otra opción son los aceites vegetales como el coco o maíz. El aceite de coco es alto en ácidos grasos saturados de cadena media y antioxidantes, mientras que el aceite de maíz lo es en ácidos grasos poliinsaturados, vitamina C y E. Por otro lado, los tratamientos térmicos más comunes aplicados en salchichas son la post pasteurización y la esterilización, y afectan las propiedades de calidad del producto. Evaluar los efectos de la adición de nuevos ingredientes y los tratamientos térmicos, es de las primeras etapas en el desarrollo de productos cárnicos funcionales. El objetivo de este trabajo fue estudiar los efectos e interacciones del tipo de grasa (cerdo, maíz y coco) y tratamiento térmico (post pasteurización y esterilización) sobre la calidad de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules. Las evaluaciones realizadas fueron: análisis proximal, pH, color instrumental, análisis de perfil de textura, perfil de ácidos grasos, capacidad antioxidante y perfil de antocianinas. Adicionar aceite de maíz incrementó el pH, valores de L^* y b^* , elasticidad, masticabilidad, contenido de ácido linoleico y capacidad antioxidante ($p < 0.05$). En cambio, incorporar aceite de coco disminuyó los valores de L^* e incrementó los parámetros de dureza, elasticidad y masticabilidad, y el contenido de ácido láurico ($p < 0.05$). Tomando en cuenta los efectos de los tratamientos térmicos, la esterilización aumentó los valores de a^* y b^* y disminuyó el pH, textura, capacidad antioxidante, y ocasionó una pérdida del 98% de las antocianinas ($p < 0.05$). Los resultados del presente estudio pueden ser de utilidad para aquellos productores interesados en formular nuevos alimentos con perfil nutricional mejorado, pues aquí se evidencia los efectos de la adición de grasas alternativas y del proceso térmico de conservación sobre la calidad fisicoquímica y nutricional del producto.

Palabras clave: salchichas de cerdo, aceite de coco, aceite de maíz, mora azul, tratamiento térmico.

ABSTRACT

Pork sausage is a fresh, accessible, and widely consumed around the world. Although, the excess intake is related to non-communicable diseases due to its saturated fat, cholesterol, and salt content. Adding ingredients with bioactive properties in meat formulations is a good strategy to develop healthier foods. Blueberry is a food with the potential to be incorporated into meat products, as it is high in antioxidant compounds. Another option is vegetable oils like coconut or corn. Coconut oil is high in medium chain saturated fatty acids and antioxidants, while corn oil is high in polyunsaturated fatty acids, vitamin C, and E. On the other hand, the most common heat treatments applied to sausages are post-pasteurization and sterilization and affect the quality properties of the product. Evaluating the effects of adding new ingredients and heat treatments is one of the first stages in the development of functional meat products. The objective of this work was to study the effects and interactions of the type of fat (pork, corn, and coconut) and heat treatment (post pasteurization and sterilization) on the quality of pork sausages with blueberries added. The evaluations carried out were proximal analysis, pH, instrumental color, texture profile analysis, fatty acid profile, antioxidant capacity, and anthocyanin profile. Adding corn oil increased the pH, L^* and b^* values, elasticity, chewiness, linoleic acid content, and antioxidant capacity ($p < 0.05$). On the other hand, incorporating coconut oil decreased the L^* values and increased the parameters of hardness, elasticity, and chewiness, and the content of lauric acid ($p < 0.05$). Considering the effects of heat treatments, sterilization increased the a^* and b^* values and decreased the pH, texture, antioxidant capacity, and caused a 98% loss of anthocyanins ($p < 0.05$). The results of this study may be useful for those producers interested in formulating new foods with an improved nutritional profile, since here the effects of the addition of alternative fats and the thermal preservation process on the physical-chemical and nutritional quality of the product are evidenced.

Keywords: pork sausages, coconut oil, corn oil, blueberry, heat treatment.

1. INTRODUCCION

La carne de cerdo es una de las más consumidas a nivel mundial con una producción durante el 2020 del 37.2 millones de toneladas y un consumo per cápita de 13 kg (OCDE, 2019). La carne y sus productos son alimentos de gran importancia para la dieta humana, indispensables para el crecimiento, mantenimiento y reparación del cuerpo (Bohrer, 2017; Lorenzo *et al.*, 2014).

La carne de cerdo es utilizada para elaborar embutidos frescos como las salchichas. Estos productos se procesan mediante una gran variedad de recetas y denominaciones, son populares, accesibles y ampliamente consumidas en todo el mundo. De acuerdo a la norma mexicana NMX-F-065-1984 la salchicha es un producto alimenticio embutido de pasta semi firme de color característico, elaborado con la mezcla de carne (60% mínimo) de ternera o res y cerdo y grasas de las especies antes mencionadas, adicionado de condimentos, especias y aditivos para alimentos. Tiene un contenido máximo de humedad y grasa de 70 y 30%, respectivamente, además de un contenido mínimo de proteínas del 9.5%. A pesar de las ventajas que ofrece el consumo de estos alimentos, ingerirlos en exceso puede elevar el riesgo de padecer varios trastornos de salud. Los componentes de las salchichas relacionados directamente a estas enfermedades son la grasa saturada, el colesterol y la sal (Kouki *et al.*, 2011).

Ante esta situación, es necesario reformular los productos cárnicos tradicionales en alimentos novedosos haciéndolos más atractivos para quien los consume. Esta es una importante oportunidad para la industria cárnica de adaptarse y buscar cambios que demanda el consumidor (Ranucci *et al.*, 2018; Weiss *et al.*, 2010). Una de las estrategias para realizarlos es la reformulación, la cual consiste en controlar y/o reducir ingredientes tradicionales (nitritos, sal, grasa, etc.) o adicionar nuevos ingredientes (Arihara *et al.*, 2011; Malek *et al.*, 2019).

La mora azul (*Vaccinium corymbosum*) es un alimento que puede ser utilizado como ingrediente en la formulación de nuevos productos cárnicos. Ésta es rica en nutrientes y proporcionan compuestos antioxidantes como las antocianinas y flavonoides, vitaminas C, A, E y B (Castagnini *et al.*, 2015; Y. Zhang *et al.*, 2020). Además, muchos estudios reportan que estas bayas contienen compuestos que promueven la salud (Barba *et al.*, 2013; Castagnini *et al.*, 2015; Jin *et al.*, 2017; Olan, 2018; Shen *et al.*, 2014). Por otro lado, las tendencias actuales están dirigidas en limitar el consumo de grasas saturadas, reduciendo éstas en los productos cárnicos o sustituyéndolas por aceites vegetales como el de coco o maíz (Menegas *et al.*, 2013; Poyato *et al.*, 2015; Voung *et al.*,

2015). El aceite de coco aporta ácidos grasos saturados de cadena media, vitaminas del complejo B y antioxidantes como compuestos fenólicos. De manera análoga, el aceite de maíz aporta ácidos grasos poliinsaturados, vitamina C y E, además antioxidantes (Castagnini *et al.*, 2015; Poyato *et al.*, 2015).

Por otro lado, los tratamientos térmicos se usan comúnmente para procesar alimentos y aumentar la vida de anaquel del producto (Bindu *et al.*, 2007; Luo *et al.*, 2019). La post pasteurización (72 °C por 20 min) y la esterilización (121 °C), son dos de los procesos más comunes utilizados en el procesamiento de salchichas, los cuales pueden afectar las propiedades de color, sabor, aroma y textura (James G Lyng *et al.*, 2019; Soni *et al.*, 2020). Por lo anterior, es indispensable conocer los efectos que tienen la aplicación de tratamientos térmicos sobre la calidad de los nuevos productos cárnicos.

El integrar ingredientes no tradicionales en productos cárnicos puede afectar la calidad fisicoquímica y nutricional del producto. Además, la implementación de tratamientos térmicos impacta en la calidad y es indispensable evaluarlos durante el desarrollo de éstos. Evaluar los efectos de la adición de un ingrediente y los tratamientos térmicos, es de las primeras etapas para el desarrollo de productos cárnicos funcionales. Por esta razón, el objetivo de esta investigación fue estudiar los efectos e interacciones del tipo de grasa y tratamiento térmico sobre la calidad de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules (*Vaccinium corymbosum*).

2. ANTECEDENTES

2.1. Producción de Carne de Cerdo y sus Productos

La producción comercial de cerdos ha crecido significativamente en las últimas décadas, desde los años 60's se observó un incremento en la producción de carne de cerdo debido al crecimiento poblacional distinguiéndose de la carne de bovino y ovino. Además, de ser uno de los alimentos de mayor importancia de la industria cárnica a nivel mundial (FAO, 2020; OCDE, 2019).

En el año 2017 la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) reportó que la producción de carne a nivel mundial fue de 323.2 millones de toneladas y la carne de cerdo representó el 37.2% del total. Asimismo, el consumo per cápita fue de 34.3 y 12.2 kg, para consumo de carne y consumo de carne de cerdo, respectivamente (OCDE, 2019). En caso más específico, en México la producción de carne de cerdo durante el 2017 fue de 1.44 millones de toneladas y el consumo per cápita fue de 12.8 Kg (SENASICA, 2020). La productividad se concentra en las entidades de Jalisco, Sonora, Puebla, Yucatán, Veracruz y Guanajuato las cuales representan casi el 76.3% de la producción total. Sonora genera el 18% total y ha crecido 1.7% anual (OCDE, 2019). En tanto que el mayor consumo de carne en México se presenta en los productos cárnicos. El cliente fundamental de la carne de cerdo en México es la industria procesadora, la cual fabrica productos cárnicos como salchichas, jamón, chorizo, carne enlatada, etc. (Carreño *et al.*, 2007).

2.1.1. Salchicha

Las salchichas siempre han tenido un sitio valioso en la dieta humana por su sabor, textura, calidad nutricional y valor comercial. Asimismo, es un producto cárnico procesado relativamente económico que da como resultado muchas variedades según las preferencias y cultura (Suurs *et al.*, 2020). Las salchichas se elaboran con trozos de carne de diferentes especies, grasa, aditivos y condimentos (Cruxen *et al.*, 2019). De acuerdo con la norma mexicana NMX-F-065-1984 la

salchicha es un producto alimenticio embutido de pasta semifirme de color característico, elaborado con la mezcla de carne (60% mínimo) de ternera o res y cerdo y grasas de las especies antes mencionadas, adicionado de condimentos, especias y aditivos para alimentos. Tiene un contenido máximo de humedad y grasa de 70 y 30%, respectivamente, además de un contenido mínimo de proteínas del 9.5%. En México, según los datos reportados por el compendio estadístico 2019 por el Consejo mexicano de la Carne (COMECARNE), la producción de salchicha fue de 492 000 toneladas, y de la producción total de embutidos, las salchichas representan el 49% del consumo.

2.2. Consumo de Carne y sus Productos y su Relación con la Salud

2.2.1. Beneficios a la Salud por el Consumo de Carne

La carne y sus productos son alimentos de gran importancia en la dieta humana, indispensables para el crecimiento, mantenimiento y reparación del cuerpo (Bohrer, 2017; Lorenzo *et al.*, 2014). Las propiedades más frecuentes que determinan la calidad nutricional de la carne son el contenido de proteínas, vitaminas y minerales (Zeng *et al.*, 2019). Las proteínas de la carne se distinguen por su contenido de aminoácidos esenciales que no son sintetizados por el cuerpo humano; el contenido de proteínas es uno de los parámetros más importante en la composición nutricional de un producto cárnico (Malek *et al.*, 2019; Tesarova *et al.*, 2018; Wood, 2017). Por otra parte, además de aportar proteínas de alto valor biológico, ésta es una fuente valiosa de ácidos grasos ω -3 de cadena larga y aporta ácido linoleico conjugado (De Smet *et al.*, 2016; Keenan, 2016).

La carne es una buena fuente de vitaminas y minerales; aporta el 25% de la ingesta diaria de vitaminas del complejo B como riboflavina, niacina, B₆ y ácido pantoténico (Bohrer, 2017; Watanabe, 2007), además de minerales como hierro, zinc, selenio y fósforo (Bohrer, 2017; De Smet *et al.*, 2016). El hierro tiene un efecto fundamental en la salud humana, la deficiencia de este mineral provoca un deterioro de funciones biológicas del organismo como trastorno de crecimiento y desarrollo infantil deficiente (Grantham-McGregor *et al.*, 2001). Algunos estudios han

evidenciado los beneficios que proporciona el consumo adecuado de carne. Cox *et al.* (2016), estudiaron a 1043 niños sanos entre 12 a 36 meses de edad y evaluaron la asociación entre consumo de carne y la deficiencia de hierro, observando que el 73% de niños cumplieron con la ingesta diaria de carne recomendada, sin embargo, su consumo no se asoció significativamente con la ferritina sérica (0.13 µg/L), pero si se asoció con la disminución de deficiencia de hierro.

El consumo recomendable de carne varía dependiendo de la edad, sexo y enfermedades o factores de riesgo que posea el consumidor. La recomendación de ingesta para una buena calidad de vida en adultos varía entre 60-90 g/día (Pereira *et al.*, 2013). En México, el consumo de carne en hombres y mujeres es de 115 y 175 g respectivamente (Martínez Jasso *et al.*, 2005). Es importante mencionar que el consumo de carne está en transición e influenciado por cuestiones económicas, ambientales y de salud. Sin embargo, la producción y consumo de carne es una actividad cultural y ha evolucionado junto con el desarrollo humano (Leroy *et al.*, 2015).

2.2.2. Daños a la Salud Derivados del Consumo de Carne y sus Productos Cárnicos

En los últimos años, los consumidores han adquirido una mayor conciencia en aspectos de salud y seguridad de los alimentos y productos que adquieren. Ante esto, el consumidor es más estricto con la calidad y cantidad de nutrientes en la dieta (Bohrer, 2017; Strijbos *et al.*, 2016). Aun cuando consumir carne de cerdo tiene sus beneficios, también puede ser un vehículo de enfermedades no transmitibles (ENT) como enfermedades cardiovasculares y cáncer, así como de ácidos grasos saturados (AGS), colesterol y sodio; este último contenido en productos cárnicos con valores que oscilan entre 43 y 86 mg/100g, lo cual podrían representar un riesgo para la salud del consumidor, como lo han reportado algunos autores (Bohrer, 2017; Chan *et al.*, 2019; Ranucci *et al.*, 2018).

En los países desarrollados, la carne y los productos cárnicos son consumidos frecuentemente en sus dietas. En estos países, el porcentaje de individuos que eligen no consumir carne es relativamente bajo, del 2 al 10% (Bohrer, 2017; Ranucci *et al.*, 2018). Asimismo, existe un gran número de investigaciones que vinculan al consumo de carne con efectos negativos contra la salud (Bohrer, 2017). Lourenço *et al.* (2018) encontraron que una alta ingesta de carne y sus productos están asociados a un mayor riesgo de cáncer colorrectal (CCR). Estos autores estudiaron los registros del total de casos de CCR en Dinamarca durante un periodo de 30 años y mencionan que

el 19.8% pudieron evitarse si se hubiera eliminado el consumo de carne y productos cárnicos. Durante el mismo período, una reducción moderada del consumo de carne podría conducir a la prevención de 16,964 o 9.1% de los casos de CCR. En relación con otros tipos de cáncer, las evidencias indican que la relación entre el consumo de carne roja con cáncer de próstata, pulmón, vejiga, esófago o páncreas es limitado y no es convincente (McAfee *et al.*, 2010).

Por otra parte, la grasa saturada en la carne y sus productos es un elemento visto con cierto recelo por parte del consumidor debido a que representa un riesgo a la salud. Los productos cárnicos como salchichas o hamburguesas pueden contener más del 30% de grasa saturada en su formulación. Por ello, el alto contenido en grasa en estos productos puede generar un obstáculo para su consumo por su relación con las ENT (Celada *et al.*, 2016). La sal, colesterol y AGS se correlacionan a menudo con el riesgo de padecer dichos trastornos (de Carvalho *et al.*, 2014). La grasa en los productos cárnicos aporta AGS como ácido mirístico, palmítico y esteárico, además de ácidos grasos insaturados y poliinsaturados como ácido palmitoleico, oleico, linoleico, linolénico y araquidónico (Wood *et al.*, 2008). Los ácidos grasos específicos tienen efectos únicos sobre la función biológica. Por ejemplo, el ácido esteárico tiene un efecto neutral sobre el colesterol, lo que tiene un impacto más favorable para la salud que muchos otros ácidos grasos saturados (Roseland *et al.*, 2018).

2.3. Alimentos Cárnicos Funcionales

Ante el aumento global de las enfermedades no transmisibles (ENT) en los últimos años, los consumidores han mostrado un mayor interés en el consumo de alimentos formulados con ingredientes que tengan un beneficio para la salud. Por ello, la idea de usar los alimentos cárnicos funcionales con fines de mejorar la salud abre completamente un campo nuevo para la industria de la carne (Ranucci *et al.*, 2018; Siró *et al.*, 2008).

Los consumidores con frecuencia demandan productos cárnicos de alta calidad con bajos contenidos de sal, grasa, colesterol, nitritos y calorías. Además de componentes que promueven la salud, como ácidos grasos insaturados y fibras (Ranucci *et al.*, 2018).

Un alimento puede ser considerado funcional si logra demostrar científicamente que posee efectos beneficiosos para la salud sobre una o más funciones del organismo, más allá de sus propiedades nutricionales habituales, de modo tal que mejore el estado general de salud o reduzca el riesgo de

enfermedad o ambas (Siró *et al.*, 2008). Ante esto, la industria de alimentos se está adaptando a los nuevos cambios y empieza a ofertar alimentos con una connotación más saludable, buscando mejores estrategias para reformularlos o crearlos (Weiss *et al.*, 2010).

2.3.1. Estrategias para el Desarrollo de Alimentos Cárnicos Funcionales

Los alimentos cárnicos funcionales representan una área de investigación e innovación que aún no se ha explotado completamente (Bigliardi *et al.*, 2013).

Para el desarrollo de alimentos cárnicos funcionales se deben incorporar ingredientes con compuestos bioactivos reformulando los productos cárnicos tradicionales, lo cual puede disminuir los ingredientes considerados perjudiciales para la salud como la sal o los nitritos y/o sustituirlos por ingredientes con componentes bioactivos como ácidos grasos omega-3, fibra y antioxidantes, entre otros (Akhtar *et al.*, 2018; Arihara *et al.*, 2008, 2011). Si se incorporan nuevos ingredientes, se debe evaluar su impacto en la calidad del producto final tanto fisicoquímica como sensorialmente. Además, se debe estudiar la estabilidad del componente bioactivo ante los procesos tecnológicos y de producción sometido. Posteriormente, se debe evaluar su biodisponibilidad y bioaccesibilidad cuando el alimento es consumido, mediante la realización de pruebas *in vitro* e *in vivo*. Finalmente, se debe demostrar el impacto en la salud del consumidor. El Cuadro 1 presenta dos de las principales estrategias para el desarrollo de productos cárnicos funcionales (Arihara *et al.*, 2011).

Cuadro 1. Estrategias principales para el desarrollo de productos cárnicos funcionales

Reformulación		Alimentación animal
Adición	Control y reducción	Modificación
Aceites	Sal	Perfil de lípidos
Proteínas de origen vegetal	Colesterol	Vitaminas
Extractos naturales	Grasas saturadas	Minerales
Esteroles de plantas	Conservadores sintéticos	Ácido linoleico conjugado
Bacterias probióticas	Nitritos	
Fibra dietética		

Fuente: Arihara *et al.* (2011)

2.3.2. Ingredientes no Tradicionales Para la Elaboración de Productos Cárnicos

Los ingredientes funcionales más populares en la elaboración de alimentos funcionales son los probióticos, fibra dietética, ácidos grasos omega-3, fitoesteroles, fitoestrógenos y compuestos fenólicos. Algunos alimentos de origen vegetal como las legumbres, nueces o semillas y los alimentos menos convencionales, como los insectos comestibles también han sido utilizados en la elaboración de productos cárnicos, proporcionando nutrientes similares a los de la carne, o bien ser consumidos como sustitutos de la carne (Akhtar *et al.*, 2018; Craig *et al.*, 2009). Es importante que los profesionales de la salud y nutricionistas estén al tanto de los cambios en el consumo de carne por fuentes de proteínas alternativas y que los grupos poblacionales estén abiertos a realizar cambios en su alimentación (Malek *et al.*, 2019). [Estos estudios se han enfocado en evaluar la calidad del producto desarrollado reduciendo o sustituyendo ingredientes tradicionales y el impacto de los componentes bioactivos adicionados, sobre la salud de los consumidores. Un estudio relacionado puede ser el de Poyato *et al.* (2015), los cuales estudiaron una nueva emulsión de carragenina con aceite de girasol como sustituto de grasa en hamburguesas de cerdo. Se probó la emulsión en distintos porcentajes (25, 50, 75 y 100%), buscando mejorar su perfil de ácidos grasos. Se encontró una reducción del 41% del contenido de grasa total y un incremento del 74.5% de ácidos grasos poliinsaturados y una disminución significativa de colesterol del 47%. Estos productos presentaron TBARS y niveles de compuesto derivados de la oxidación del colesterol más bajos al compararlos con el control. El incorporar cantidades mayores de la emulsión gelificada en nuevas formulaciones tiene ventajas nutricionales y sin influencia negativa en las propiedades sensoriales del producto.

2.3.3. Aceite de Coco

El coco (*Cocos nucifera L.*) es cultivado y consumido ampliamente por el mundo. Éste es rico en aminoácidos y minerales como potasio, calcio, magnesio, hierro, sodio fosforo, ente otros. Asimismo, aporta antioxidantes como compuestos fenólicos y tocoferoles. La principal porción

comestible es la pulpa, de la cual se extrae el aceite, leche y crema. El aceite de coco se puede utilizar para aplicaciones comestibles e industriales. La pulpa contiene de 50 a 60% de grasa, teniendo como mayoría ácidos grasos saturados (90%) y en menor cantidad monoinsaturados y polinsaturados. Entre los ácidos grasos saturados, destacan los de cadena media, siendo el ácido láurico el de mayor proporción (49%), seguido del mirístico (21%) (Appaiah *et al.*, 2015; DebMandal *et al.*, 2011; Renjith *et al.*, 2013).

Pocos estudios han examinado la incorporación del aceite de coco en productos cárnicos. Tangkham *et al.* (2017) mencionan que el aceite de coco podría ser una buena alternativa para darle estabilidad a la emulsión cárnica. Por otra parte, Voung *et al.* (2015) usaron aceite de coco para remplazar la grasa de cerdo en salchichas frescas evaluando la composición química, microbiológica y propiedades sensoriales. Los resultados de este experimento indicaron que las salchichas frescas con aceite de coco al 20% inhibió el crecimiento de bacterias aeróbicas en comparación con tratamientos que contienen grasa de cerdo. Sin embargo, los valores de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) fueron más altos en la formulación del 20% de aceite de coco durante 14 días a 3 °C. Además, el 10% de aceite de coco combinado con el 10% de grasa de cerdo disminuyó la pérdida de peso por goteo y el valor de pH. Este experimento sugiere que el aceite de coco puede ser un sustituto viable de la grasa de cerdo.

2.3.4. Aceite de Maíz

El aceite de maíz representa aproximadamente el 5% del consumo de aceite comestible en EEUU, y se ha mantenido estable durante la última década. Este aceite es un subproducto de la industria de la molienda del maíz, en la cual se recupera el germen del grano que tiene un 40 a 50% de aceite (Dupont *et al.*, 1990; Moreau *et al.*, 2009). El aceite de maíz es rico en ácidos omegas 6, además la relación AGP/AGS de más de 4.5, considerada muy deseable. Asimismo, es rico en vitamina E, C y tocoferoles (List, 2016; Moreau *et al.*, 2009).

Pocos estudios han examinado la incorporación del aceite de maíz en productos cárnicos. Menegas *et al.* (2013) estudiaron el efecto de la reducción de aceite de maíz y la adición de inulina como sustituto parcial del aceite de maíz sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas, textura y aceptabilidad de una salchicha de pollo fermentada en seco, durante un almacenamiento por 45

días a 4 °C. Los resultados indicaron que la reducción del aceite no influyó en las características evaluadas y la adición de inulina alteró la textura, pero sin afectar los demás parámetros. Las salchichas mantuvieron los atributos evaluados durante el período de almacenamiento evaluado.

2.4. Potencial de la Mora Azul como Ingrediente en Productos Cárnicos

2.4.1. Composición Nutricional de la Mora Azul

La mora azul (*Vaccinium corymbosum*) es un arbusto perenne del género *Vaccinium* que pertenece a la familia *Ericácea*. Sus frutos son pequeñas bayas dulces y jugosas de color azul intenso con alto contenido de compuestos bioactivos (Martín-Gómez *et al.*, 2020; Mohideen *et al.*, 2015; Wu *et al.*, 2019) como antioxidantes (antocianinas y flavonoides), vitamina C, B, E y A (Castagnini *et al.*, 2015; Y. Zhang *et al.*, 2020). Las antocianinas son los principales polifenoles presentes en las moras azules, las cuales son responsables del color característico de la fruta. Las moras azules también son importantes fuentes de ácidos fenólicos y flavonoides, como ácido clorogénico, ácido elágico, quercetina y quercetina-3-galactósido (Barba *et al.*, 2013).

Las moras azules ocupan el segundo lugar en consumo y popularidad en los Estados Unidos de América. Estas se consumen frescas, en jugos, jaleas, mermeladas o vinos. Además, existen reportes de que estas bayas contienen las capacidades antioxidantes más altas entre todas las frutas, verduras, especias y condimentos (Barba *et al.*, 2013; Jin *et al.*, 2017; Olas, 2018; Shen *et al.*, 2014). Según la base de datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés), las moras azules tienen una actividad antioxidante de 6552 $\mu\text{mol TE}$ (equivalente a Trolox)/100 g), que es mayor que muchas frutas y verduras (USDA, 2011).

Estas bayas contienen compuestos fenólicos que son antioxidantes esenciales para la salud, teniendo propiedades protectoras pues eliminan radicales libres que pueden dañar estructuras celulares y el ADN (Jin *et al.*, 2017; Olas, 2018). Presentan actividad, anticancerígena, antiinflamatoria y antidiabética. Influyen en la pérdida de peso, aumento de la circulación, reducción del colesterol y enfermedades neurológicas (Martín-Gómez *et al.*, 2020; Shen *et al.*,

2014). También funcionan contra la diabetes tipo 2 y tienen otras propiedades dietéticas, reduciendo el riesgo de obesidad (Olas, 2018).

2.4.2. Uso de Mora Azul como Ingrediente en Productos Cárnicos

Los productos cárnicos son altamente susceptibles a la oxidación debido a las grandes proporciones de ácidos grasos insaturados y colesterol (Domínguez *et al.*, 2016). Además, el molido y la cocción facilitan el contacto entre los ácidos grasos libres y el oxígeno, promoviendo así la oxidación, resultando en la descomposición de la calidad fisicoquímica y valor nutricional (Lorenzo *et al.*, 2018).

Las moras azules tienen una gran cantidad de compuestos bioactivos como polifenoles y ácido ascórbico. Pueden funcionar como antioxidantes fuertes, capaces de disminuir la oxidación de grasa y proteínas (Skrovankova *et al.*, 2015). Por ejemplo, uno de los compuestos fenólicos más importantes en las moras azules es el ácido clorogénico y puede ser un potente aditivo antioxidante para salchichas tipo emulsión (Hur *et al.*, 2013).

Muzolf-Panek *et al.* (2016) examinaron la posibilidad de utilizar moras azules para proteger un pastel de carne de cerdo contra la oxidación durante el almacenamiento, realizando actividad antioxidante por el método de 2,2-difenil-1-picrylhidrazilo y el método de TBARS. En este experimento, se probó un pastel de carne con contenido normal de grasa y reducido en grasa (se reemplazó el 12.5% de la grasa con fibra) y 2% de moras azules. Los resultados mostraron que la actividad antioxidante es mayor en las muestras con la adición de moras azules que en las que no contienen. Además, se observó un menor grado de oxidación lipídica durante el almacenamiento. Por otro lado, la reducción de grasa mediante la adición de fibra aumentó ligeramente el estado antioxidante del pastel de carne con esta baya, pero no afectó los valores de TBARS.

Gök *et al.* (2012) estudiaron los efectos de extracto de hojas de olivo, extracto de mora azul y extracto de *Zizyphus jujuba* sobre el color, TBARS y calidad microbiológica y sensorial de albóndigas de carne. Los autores reportaron que la adición de estos extractos fue eficaz como agentes antioxidantes y antimicrobianos para mejorar la calidad de las albóndigas.

2.5. Tratamientos Térmicos para la Conservación de Productos Cárnicos

2.5.1. Esterilización

La esterilización se ha utilizado ampliamente en la industria desde hace 100 años. El propósito de este proceso es alcanzar una temperatura de esterilización objetivo, por ejemplo 121 °C, durante un tiempo determinado, donde la versatilidad se obtiene de una variedad de medios de calentamiento (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2014). Sin embargo, cualquier tratamiento con una temperatura superior a 100 °C tiene algunos efectos sobre los componentes sensibles al calor de los alimentos (Soni *et al.*, 2020). Este tratamiento térmico es una de las tecnologías de conservación de alimentos más efectivas para mantener la seguridad del producto alimenticio inactivando todo tipo de microorganismos (Silindir *et al.*, 2009; Soni *et al.*, 2020). Los alimentos una vez esterilizados permanecen seguros hasta por un año en condiciones adecuadas de envasado; una vez abierto el empaque debe consumirse dentro de los tres días siguientes (Petropoulos *et al.*, 2018; Shah *et al.*, 2017).

La conservación de la carne y sus productos siempre ha tenido un desafío para la industria cárnica. La naturaleza altamente perecedera de este alimento requiere técnicas apropiadas de conservación para detener la proliferación de los microorganismos o deterioro enzimático (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2014). Los productos cárnicos enlatados esterilizados generalmente se consideran estables en almacenamiento. Estos productos estériles son considerados como productos listos para el consumo y tienen una vida útil más prolongada, con menor pérdida de nutrientes, así como un valor comercial y de seguridad. En el Cuadro 2 se resumen ejemplos de alimentos cárnicos estériles comercialmente procesados.

Cuadro 2. Ejemplo de alimentos cárnicos esterilizados comercialmente

Tipo de proceso	Tipo de producto
Productos enlatados sin curar	Estofado, albóndigas en salsa, salsa para carne, productos para untar, sopas que tienen carne, alimentos para bebés y niños pequeños, atún en aceite, sardina, camarones, salmón, etc.

Tipo de proceso	Tipo de producto
Productos curados enlatados	Salchichas de viena, salchichas tipo Frankfurt, jamones.

Fuente: Barbosa-Cánovas *et al.* (2014)

2.5.2. Pasteurización

La pasteurización es un proceso térmico ligero que elimina a los organismos patógenos, pero tiene un efecto mínimo sobre el sabor o calidad de los alimentos. Este tratamiento térmico se define normalmente como un método para preservar los alimentos calentándolos a temperaturas inferiores a 100 °C, generalmente 66-77 °C (James G. Lyng *et al.*, 2019).

La pasteurización se está generalizando en los productos cárnicos procesados, pero aún presenta grandes costos unitarios, actualmente se cuenta con sistemas semi continuos que realizan fácilmente esta tarea (Kristensen *et al.*, 2014). Tradicionalmente, la pasteurización comercial de productos cárnicos se ha llevado a cabo colocando el producto en un recipiente adecuado (vidrio, metal o plástico), que luego se sumerge en agua caliente o se coloca en un horno de vapor (James G. Lyng *et al.*, 2019). El proceso de pasteurización puede preservar mejor la calidad del producto (sensorial, textura, oxidación de lípidos y estructura secundaria de proteínas) y los atributos nutricionales (Xu *et al.*, 2019).

2.5.3. Efectos de los Tratamientos Térmicos Sobre la Calidad de Productos Cárnicos

Los tratamientos térmicos se utilizan para aumentar la vida útil de los alimentos y eliminar microorganismos, particularmente patógenos que puedan ocasionar alguna enfermedad al consumidor (Bindu *et al.*, 2007; Luo *et al.*, 2019). Sin embargo, la aplicación de calor puede ocasionar la pérdida de nutrientes y afectar las características sensoriales de los productos alimenticios como sabor, color y textura (Luo *et al.*, 2019).

La carne al ser sometida a calor tiene cambios en sus macromoléculas; los cambios más importantes

ocurren en las proteínas de la carne y afectan la textura, el sabor, color y valor nutricional del producto (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2014; Buła *et al.*, 2019). En casos específicos el calentamiento térmico severo puede provocar una disminución de la capacidad de retener agua. Del mismo modo, un efecto de calentamiento alto causa la oxidación de proteínas que al reaccionar con los azúcares guían a la reacción de Maillard causando formación de compuestos cancerígenos y/o mutagénicos como aminas heterocíclicas, nitrosaminas o radicales libres (Buła *et al.*, 2019; Traore *et al.*, 2012). De modo similar, el calentamiento de la carne modifica su calidad alimenticia para mejorar la textura, el color y el sabor al ser consumida. También el calentamiento de la carne aumenta la digestibilidad (Dominguez-Hernandez *et al.*, 2018). Como resultado del tratamiento térmico de la carne, se producen reacciones de Maillard, lo que resulta en la producción de muchos compuestos que le dan a la carne su color y sabor característicos (Buła *et al.*, 2019).

3. HIPÓTESIS

La sustitución de grasa de cerdo por aceite de maíz o de coco en salchichas adicionadas con moras azules mejoran el perfil nutricional del producto sin detrimento en sus propiedades fisicoquímicas, aun cuando éste es sometido a un tratamiento térmico severo como la esterilización.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Estudiar los efectos e interacciones de tipo de grasa y tratamiento térmico sobre la calidad de salchichas en cerdo adicionadas con moras azules (*Vaccinium corymbosum*).

4.2. Objetivos Específicos

Caracterizar las materias primas (carne, mora azul, grasa de cerdo) mediante evaluaciones físicas, químicas y perfil de ácidos grasos (grasa de cerdo, aceite de maíz, aceite de coco).

Determinar los efectos e interacciones del tipo de grasa añadida (cerdo, maíz y coco) y tratamiento térmico (pasteurización y esterilización) sobre las características fisicoquímicas (rendimiento de cocción, pH, color APT y perfil de ácidos grasos) en salchichas de cerdo adicionadas con moras azules.

Determinar los efectos e interacciones del tipo de grasa añadida (cerdo, maíz y coco) y tratamiento térmico (pasteurización y esterilización) sobre la capacidad antioxidante, fenoles totales y perfil de antocianinas en salchichas de cerdo adicionadas con moras azules.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Diseño Experimental

Se estudiaron los efectos principales e interacciones del tipo de grasa (GC, cerdo; MZ, maíz; CC, coco) y tratamiento térmico (P, Pasteurizado; E, esterilizado) sobre la calidad nutricional, fisicoquímica y sensorial de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules. Los tratamientos evaluados fueron: 1) GC + P, 2) GC + E, 3) MZ + P, 4) MZ + E, 5) CC + P, 6) CC + E. Se realizaron evaluaciones de calidad en el producto que incluyeron: análisis proximal, color instrumental (CIE L^* , a^* , b^*), pH, APT, perfil de ácidos grasos, capacidad antioxidante (DPPH, ABTS, FRAP, ORAC) y perfil de compuestos fenólicos.

5.2. Obtención y Preparación de Materia Prima

La carne de cerdo (m. *Semimembranosus*), las moras azules, grasa de cerdo, aceite de maíz y aceite de coco que se utilizaron en el experimento se obtuvieron en el mercado local. Se retiró el exceso de grasa y tejido conectivo superficial de la carne y se cortó en trozos no mayores a 5 cm³, y se utilizó el mismo día de su adquisición. Las moras azules fueron seleccionadas frescas, maduras y sin presencia de daño físico. Se lavaron, desinfectaron y se almacenaron hasta su posterior uso. La grasa de cerdo se molió en un molino (modelo 4152, Hobart Dayton, Ohio USA) y se utilizó el mismo día de su adquisición.

5.2.1. Elaboración de Preemulsiones

Se elaboraron las preemulsiones de aceite de maíz y aceite de coco utilizando proteína aislada de

soya, agua y aceite, siendo una relación de preemulsión 1 (proteína aislada de soya): 5 (aceite): 5 (agua). La preemulsión se realizó en una cutter (Kilia CO., Kiel, Alemania) añadiendo primero el agua, la proteína y el aceite. Formada la preemulsión, se envasó y se almacenó para su posterior uso al día siguiente.

5.3. Elaboración y Formulación de los Tratamientos

Se elaboraron salchichas de acuerdo con las formulaciones establecidas en el Cuadro 3. Se formó una emulsión cárnica a base de pierna de cerdo, grasa de cerdo o preemulsión, sal, sal de cura, fosfatos, condimento comercial (Frank & Wiener seasoning), moras azules y eritorbato de sodio, añadidos en ese orden, respectivamente. La carne se redujo a un mínimo tamaño de partícula en una cutter (Kilia CO., Kiel, Alemania) y se incorporó los ingredientes ya mencionados, se mantuvo la temperatura de la emulsión menor a 10 °C. Después, se aplicó vacío al final del proceso y la emulsión cárnica que se obtuvo fue embutida en fundas de celulosa de 2 cm de diámetro con una embutidora (Omet ICS60-B, Siena, Italia). Las salchichas de cada formulación fueron sometidas a dos tratamientos térmicos: a) pasteurización donde fueron sometida a una etapa de temperatura 65-82 °C hasta una temperatura interna de 72 °C en un horno (Smoke Oven Enviro-Pak CHU-350, Oregón, EUA), y b) esterilizado (Autoclave Dixie Canner), hasta alcanzar un valor mínimo de $F_0 = 9$, mismo que se realizó en la planta piloto de ingeniería de alimentos de la Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal.

Cuadro 3. Formulación de tratamientos de salchicha de cerdo adicionadas con moras azules

<u>Ingredientes (g/100 g producto)</u>	<u>GC</u>	<u>MZ</u>	<u>CC</u>
Carne de cerdo	50.00	50.00	50.00
Grasa de cerdo	20	/	/
Preemulsión aceite de maíz	0	31	/
Preemulsión aceite de coco	0	/	31
Mora azul	15	15	15
Agua/hielo	11.00	0	0
Sal	1.30	1.30	1.30
Fosfatos	0.50	0.50	0.50
Sal cura	0.15	0.15	0.15

Eritorbato de sodio	0.05	0.05	0.05
Condimentos	1.00	1.00	1.00
Almidón de papa	1.00	1.00	1.00

GC: Adición de 20% de grasa de cerdo.
MZ: Adición de 20% de aceite de maíz
CC: Adición de 20% de aceite de coco

5.4. Análisis proximal

Se determinó el contenido de humedad, grasa, proteína y ceniza, mediante un triplicado de muestras, siguiendo los métodos establecidos por la AOAC (1990). La determinación de humedad se realizó utilizando una estufa de secado a una temperatura de 100 °C durante 16 h (Método 950.46). El contenido de ceniza se realizó en una mufla a 550 °C por 2 h (Método 945.38). La grasa se cuantificó por el método de extracción de Goldfish a partir de muestras deshidratadas (Método 920.39). Por último, el contenido de proteína fue determinado mediante método de microkjeldahl (Método 955.04) a partir de muestras deshidratadas y desgrasadas. Los resultados se reportaron en porcentaje.

5.5. Análisis Físicoquímicos

5.5.1. Potencial de Hidrógeno (pH)

La medición de pH se realizó directamente en las muestras de salchichas, utilizando un potenciómetro de punción modelo HI98140 (Hanna, Woonsocket, RI, USA). El análisis se realizó por triplicado.

5.5.2. Color Instrumental (CIE L^* , a^* y b^*)

El color fue evaluado en la superficie de cada muestra. 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. La medición de color abarcó la determinación de los valores L^* , a^* y b^* . Donde el parámetro L^* representa la luminosidad y tiene una escala que va desde 0 que es negro 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. Se realizaron 5 determinaciones por muestra y se reportó el promedio por tratamiento.

5.5.3. 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). De cada salchicha se tomó muestras de dimensiones uniformes (2 cm de diámetro x 3 cm de largo) de forma aleatoria. Para los análisis se utilizó un dispositivo de 75 mm de diámetro unido a una celda de carga de 50 kg, aplicando 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 (sin unidades) y masticabilidad (N x cm). La dureza está representada por el pico máximo alcanzado durante la primera compresión y expresada en N. La elasticidad se calculó 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 determinó dividiendo el área bajo la curva de la segunda compresión entre el área bajo la curva de la primera

compresión. La masticabilidad se calculó multiplicando los valores de dureza, elasticidad y cohesividad.

5.6. Perfil de Ácidos Grasos

La determinación del perfil lipídico se llevó a cabo de acuerdo con lo reportado por Bligh *et al.* (1959). Se tomaron aproximadamente 40 g de muestra, los cuales fueron triturados hasta ser homogenizados. Posteriormente, fueron añadidos 10 mL de metanol grado reactivo y homogenizados durante 1 min a 11,000 rpm (Ultraturrax IKA modelo T25). Se agregaron 20 mL de cloroformo grado espectrofotométrico, con una pureza del 98.5% y homogenizó durante 2 min a 13,520 g. Una vez homogenizado, las muestras se filtraron a través de un papel Whatman #1, realizándose un lavado de la muestra con 3 mL de cloroformo/metanol (en una proporción 2:1).

Posteriormente, se vertió la muestra filtrada en embudo de separación y se agregó cloruro de potasio al 0.88% en agua (3 mL aproximadamente de KCl) hasta obtener una fase superior de 1 cm. Se colectó en un segundo embudo de separación la fase inferior (cloroformo y lípidos), donde se realizó un lavado con 2 mL de agua destilada y 2 mL de metanol, tomándose la fase inferior (cloroformo y lípidos). Por último, mediante un flujo de nitrógeno se removió el aire presente en los viales.

La derivatización de los ácidos grasos se realizó según lo reportado por Park *et al.* (1994). Se identificaron y pesaron tubos con tapón de baquelita a los cuales se les vertió el extracto lipídico obtenido. Se introdujeron a un baño maría a 40 °C y se evaporó el solvente de los extractos por medio de un flujo de nitrógeno. Se obtuvo aproximadamente 150 mg de grasa libre de solventes, se les agregó 4 mL de NaOH (0.5 N en metanol). La mezcla fue agitada ligeramente hasta lograr una solución homogénea. El aire se evacuó mediante una inyección de flujo de nitrógeno y se cerró el tubo con el tapón de baquelita. Posteriormente, se calentó a 90 °C por 10 min en un baño maría. Transcurrido el tiempo, las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente y se adicionaron 5 mL de trifluoruro de boro al 14% en metanol. Se desplazó el aire con un flujo de nitrógeno y se cerró el vial.

Las muestras fueron calentadas nuevamente en un baño maría a 90 °C durante 7 min. Las muestras

fueron enfriadas a temperatura ambiente, se les agregó 4 mL de hexano y se calentaron durante 2 min bajo las condiciones anteriormente mencionadas. Posteriormente, dejaron enfriar a temperatura ambiente y se les agregó 1 mL de cloruro de sodio saturado (37 g de NaCl/100 mL de agua destilada). Por último, se tomó exclusivamente la fase cristalina superior por medio de una pipeta de transferencia y realizó una filtración a través de fibra de vidrio, colectándose en un vial para almacenar. Al momento de realizar la inyección, se vertieron 100 μ L de la muestra más 100 μ L de heptano en un microinserto contenido en un vial de 2 mL para cromatógrafo.

La composición de los ésteres de metil de ácidos grasos (FAMES) se realizó en un cromatógrafo de gases 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 \times 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 FID a 300 °C. Las muestras se corrieron utilizando hidrógeno a una presión de 17 psi como portador y nitrógeno como gas acarreador. Los cromatogramas se integraron utilizando el software ChemStation (ChemStation, Agilent Santa Clara, CA, EE. UU.). Los ácidos grasos se identificaron comparando los tiempos de retención con los de los estándares comerciales (Supelco 37 Component FAME Mix, Bellefonte, PA, USA). Los ácidos grasos se expresaron como porcentaje del total de ácidos grasos. A partir de estos datos se calcularon porcentajes totales de ácidos grasos saturados (AGS), ácidos grasos monoinsaturados (AGM), ácidos grasos poliinsaturados (AGP), además de la relación nutricional AGP/AGS.

5.7. Capacidad Antioxidante

5.7.1. Obtención de Extracto

Se utilizó la metodología descrita por de Ciriano *et al.* (2009) con modificaciones. Primero, se mezclaron 20 mL de metanol al 80% con 10 g de muestra y se homogenizaron durante 1 min a 11,000 rpm (Ultra Turrax X25, IKA Werke, USA). Posteriormente, la mezcla fue sonicada

(Branson, 2510R-DTH) durante 15 min y centrifugada a 14,000 rpm durante 15 min a 4 °C. El sobrenadante fue filtrado y el proceso fue repetido dos veces más, adicionando 10 mL del solvente. El sobrenadante fue aforado hasta 50 mL con metanol al 80%. Posteriormente, los extractos se almacenaron a -35 °C hasta su uso para la medición de capacidad antioxidante

5.7.2. Inhibición de Radical DPPH'

Se determinó la capacidad de los antioxidantes de inhibir el radical estable DPPH' de acuerdo con Brand-Williams *et al.* (1995). Se preparó una solución de 0.0634 mM de DPPH' en metanol y se mezcló 280 µL de la misma con 20 µL de cada extracto para llevar a cabo la reacción. Se dejó reposar la mezcla por 30 min, en oscuridad y se leyó la absorbancia a 518 nm en un lector de microplaca Flourstar Omega (BMG Labtech Inc., Durham, NC, EE. UU). Los resultados se calcularon utilizando una curva estándar de Trolox y fueron expresados como mg equivalentes Trolox (ET)/g peso seco.

5.7.3. Capacidad Antioxidante Equivalente de Trolox (TEAC)

La determinación de la habilidad de los antioxidantes de inhibir el radical ABTS'+ (ácido 2,2-azinobis- [3 etilbenzotiazolin-6-sulfónico) se realizó de acuerdo con la metodología de Re *et al.* (1999). Se formó el radical adicionando 88 µL de K₂S₂O₄ (0.139 mM) en 5 mL de ABTS'+ (7 mM) dejando reposar por 16 h en oscuridad a temperatura ambiente. Posteriormente, se ajustó la absorbancia a 0.7 ± 0.02 diluyendo en etanol y 295 µL del mismo fueron mezclados con 5 µL de muestra en una microplaca. Se monitoreó la absorbancia al minuto 1 y 6 después de mezclarlas a 734 nm en un lector de microplaca Flourstar Omega (BMG Labtech Inc., Durham, NC, EE. UU). Los resultados se calcularon utilizando una curva estándar de Trolox y se expresaron como mg ET/g peso seco.

5.7.4. Ensayo de Poder Antioxidante Reductor Férrico (FRAP)

El ensayo FRAP se realizó de la siguiente manera. Se mezcló una alícuota de 10 μL de muestra con 290 μL de reactivo FRAP en una microplaca de 96 pocillos. La mezcla de reacción se incubó a 37 °C durante 15 min. La absorbancia se evaluó en un lector de microplaca Flourstar Omega (BMG Labtech Inc., Durham, NC, EE. UU) a 595 y 630 nm frente a un blanco de agua destilada. El reactivo trolox se disolvió en etanol y luego se diluyó a la concentración adecuada para el establecimiento de la curva de calibración estándar.

5.7.5. Capacidad de Absorción de Radicales Oxígeno (ORAC')

La capacidad antioxidante por el método ORAC se determinó de acuerdo con lo descrito por Robles-Sánchez *et al.* (2009). El reactivo ORAC se utilizó como generador de radicales piróxilos, fluoresceína y Trolox como estándar. La mezcla de reacción contenía 25 μL de extracto, 25 μL de buffer de fosfatos 75 mM (pH 7.4), 75 μL del reactivo ORAC (0.8 M) y 200 μL de fluoresceína (0.106 μM). Se utilizó un buffer de fosfatos como muestra blanco. Después la muestra se pre-incubó 37 °C durante 15 min y se adicionó el reactivo ORAC para iniciar la reacción (generación de radicales piróxilos). Se monitoreó la fluorescencia durante intervalos de 2 min. La longitud de onda de excitación y de emisión fue de 484 nm y 515 nm, respectivamente, y cada extracto se analizó por duplicado. Los valores se calcularon utilizando una ecuación de regresión entre la concentración de Trolox y el área bajo la curva de cada fluorescencia. Los resultados se expresaron en $\mu\text{mol ET/g}$ de muestra.

5.8. Fenoles Totales

El contenido de fenoles totales se determinó por el método descrito por Singleton y Rossi (1965)

con algunas modificaciones. Se mezcló 15 μL del extracto con 75 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu diluido 1:10 con agua destilada. Se dejó reposar y se adicionó 60 μL de Na_2CO_3 (7.5%) y se dejó reposar en oscuridad por 30 min. Después se leyó la absorbancia a 765 nm en un lector de microplaca Flourstar Omega (BMG Labtech Inc., Durham, NC, EE. UU). La concentración de fenoles totales se calculó utilizando una curva estándar de ácido gálico y los resultados se expresó como mg EAG/g peso seco.

5.9. Perfil de Antocianinas

La identificación de compuestos fenólicos se realizó mediante cromatografía líquida de alta resolución usando un detector de arreglo de diodos HPLC-DAD (1220 Infinity Systems, Agilent Technologies). Se utilizó una columna Zorbax 19 Eclipse Plus C18 fase reversa de 150 x 4.6 mm con un tamaño de partícula de 5 μm . La identificación de compuestos se realizó utilizando un sistema bifásico de 2% de ácido acético en agua (A) y 0.5% de ácido acético en metanol-agua (90:10) (B). Se utilizó un gradiente de elución de 0-2% B (13 min), 2-5% B (5 min), 5-10% B (5 min), 10-25% B (20 min), 25-50% B (10 min), 50-100% B (5 min), 100% B (5 min), 100-0% B (3 min), 0% B (5 min). La lectura fue leída a 520 nm. El volumen de inyección y flujo fue de 15 μL y 0.4 mL/min, respectivamente.

5.10. Análisis Estadístico

Se realizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial 2 x 3, factor método de cocción (P y E) y factor grasa (GC, MZ y CC). El modelo incluyó el efecto de los factores principales y su interacción. Para las pruebas de comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey-Kramer. Todos los resultados fueron analizados a una $p < 0.05$ en el paquete estadístico NCSS 2021 (Number Cruncher Statistical System, Kayswille UTA, USA.)

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. Etapa I. Caracterización de la Materia Prima

En el Cuadro 4 se presenta la caracterización parcial de la carne y mora azul utilizados como ingredientes en la elaboración de los tratamientos del presente estudio. Las determinaciones realizadas a la materia prima incluyen un análisis proximal, mediciones de pH y color instrumental. Se incluye también, determinaciones de color a las preemulsiones de aceite de maíz y aceite de coco utilizadas en la formulación del producto. En relación con la carne de cerdo es de destacar un alto porcentaje de proteína, 18.30%, y un bajo porcentaje de grasa, 5.25%, debido principalmente a que se utilizó el músculo *Semimembranosus*, considerado un músculo magro. Estos valores difieren a los obtenidos por Delgado-Suárez *et al.* (2016), quienes reportan un contenido de proteína y grasa de 24% y 2.4%, respectivamente para el músculo *Semimembranosus* de cerdo. Es importante mencionar que la composición proximal del músculo varía en función de la raza, edad, alimentación, uso de promotores de crecimiento, entre otros factores (Cannon *et al.*, 1995).

Los valores de L^* , a^* y b^* obtenidos para la carne de cerdo fueron de 41.4, 13.14 y 6.28, respectivamente, y un pH de 5.98. Estos valores fueron muy similares a los obtenidos por Stufft *et al.* (2017) quienes reportan en músculo *Semimembranosus* de cerdo valores de L^* y a^* de 42 y 13, respectivamente; además de un pH de 5.9. Por otra parte, las moras azules presentan un contenido de humedad de 85%, sin aporte importante de proteínas y grasa. En este ingrediente destaca su valor de pH ácido (3.78), que al ser incorporado en la formulación cárnica pudiera tener impacto en el pH final del producto, modificando propiedades importantes como la capacidad de retención de agua. En el Cuadro 4 se presenta también el color instrumental de las preemulsiones de aceite de maíz y aceite de coco. Los valores de L^* , a^* y b^* para ambos ingredientes fueron similares y oscilaron entre 80 y 82, 0.6 y 0.9, 9.5 y 14.4, respectivamente.

En el Cuadro 5 se presentan el perfil de ácidos grasos de la carne de cerdo, grasa de cerdo, aceite de maíz y aceite de coco. El contenido de ácidos grasos saturados de la grasa y carne de cerdo fue de 28.2 y 30.7%, respectivamente, destacando el ácido palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0). En cuanto a los monoinsaturados, el contenido fue de 41.6 y 34.8% para la grasa y carne,

respectivamente, siendo el ácido oleico (C18:1 *cis*) el predominante. Entre los grasos poliinsaturados de la grasa y carne de cerdo destaca el ácido linoleico (C18:2 *cis*) con un contenido que osciló entre 20 y 27.5%. Respecto al aceite de maíz, éste presentó una predominancia de ácidos grasos poliinsaturados con un contenido del 53.3%, siendo el más importante el ácido linoleico (C18:2 *cis*) con 52.2%. Este ácido es precursor del ácido araquidónico y se ha comprobado que al momento de ser consumido como parte de la dieta disminuye el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Froyen *et al.*, 2020). En relación con el aceite de coco, las grasas saturadas son las que predominan con un 89.8%, destacando los ácidos grasos de cadena media como el ácido láurico (C12:0) y mirístico (C:14:0). En comparación con la grasa de origen animal, el consumo de aceite de coco tiene un beneficio a la salud cardiovascular al aumentar los niveles de HDL y disminuir los niveles de LDL (Teng *et al.*, 2020).

Es importante la caracterización de los ingredientes utilizados como materia prima cuando se desarrolla un nuevo producto pues además de conocer sus propiedades nutricionales, sirve de soporte para explicar posibles diferencias entre las formulaciones donde son incorporados.

Cuadro 4. Valores del análisis proximal, color instrumental y pH de la materia prima

Evaluación	Materia prima			
	Carne de cerdo	Moras azules	Preemulsión aceite de maíz	Preemulsión aceite de coco
Humedad (%)	67.73 ± 2.33	84.96 ± 0.8	/	/
Grasa (%)	5.25 ± 0.09	0.09 ± 0.00	/	/
Proteína (%)	18.30 ± 0.35	0.54 ± 0.07	/	/
Cenizas (%)	2.95 ± 0.29	0.09 ± 0.00	/	/
pH	5.98 ± 0.09	3.78 ± 0.05	/	/
Valor <i>L</i> *	41.40 ± 0.30	3.43 ± 0.26	81.99 ± 0.43	80.02 ± 0.51
Valor <i>a</i> *	13.14 ± 0.15	15.43 ± 0.50	0.59 ± 0.18	0.93 ± 0.46
Valor <i>b</i> *	6.28 ± 0.06	1.18 ± 0.08	9.5 ± 0.16	14.42 ± 0.42

promedio ± desviación estándar, n = 3

Cuadro 5. Perfil de ácidos grasos de carne de cerdo, grasa de cerdo, aceite de maíz y aceite de coco.

Ácido graso	Carne de cerdo	Grasa de cerdo	Aceite de maíz	Aceite de coco
C8:0	0.00	0.02	0.00	5.79
C10:0	0.00	0.07	0.00	5.02
C12:0	0.00	0.31	0.00	44.63

C14:0	0.57	0.94	0.04	20.09
C16:0	18.82	19.35	12.51	10.76
C18:0	11.33	7.02	1.39	3.39
Σ Saturados	30.72	28.24	14.51	89.76
C18:1 <i>cis</i>	24.31	38.91	31.54	8.08
C20:1 <i>n9</i>	1.32	0.72	0.34	0.06
C22:1	7.61	0.13	0.16	0.04
Σ Monoinsaturados	34.83	41.59	32.19	8.22
C18:2 <i>cis</i>	20.06	27.57	52.18	1.92
C18:3 <i>n3</i>	0.00	0.68	0.89	0.00
C20:2	2.24	0.46	0.07	0.00
C20:3 <i>n6</i>	10.13	0.23	0.00	0.00
Σ Poliinsaturados	34.45	30.17	53.31	2.02

^a Los valores son expresados en porcentajes respecto al total de ácidos grasos detectados

6.2. Etapa II. Efectos e Interacciones del Tipo de Grasa y Tratamiento Térmico sobre la Calidad de Salchichas de Cerdo

En esta parte de la investigación se evaluó el efecto del tipo de grasa y tratamiento térmico sobre la calidad de salchichas de cerdo. Las determinaciones de calidad evaluadas incluyeron análisis proximal, pH, color instrumental (L^* , a^* , b^*), esfuerzo al corte, análisis de perfil de textura y perfil de ácidos grasos. Los resultados se muestran a continuación.

6.2.1. Análisis Proximal

En el Cuadro 6 se muestran los resultados del análisis proximal para los tratamientos evaluados. Se observa que la interacción GR x TT fue significativa ($p < 0.05$) para el contenido de humedad, proteína y ceniza de las salchichas, mientras que para grasa y carbohidratos solo fueron afectados por los factores principales. Esta interacción significa que el efecto que imparte el tipo de grasa sobre estas mediciones depende del tratamiento térmico al que el producto fue sometido. Es importante precisar que los productos que se sometieron a esterilización se les añadió una salmuera

para evitar el calor directo de la lata con el producto y facilitar su calentamiento durante el proceso térmico, práctica que es comúnmente utilizada en forma comercial. Por esta razón, la humedad en los productos esterilizados fue mayor ($p < 0.05$) que los pasteurizados. En general, la humedad fue en promedio 2% más altos en los productos esterilizados. Esta diferencia en el contenido de humedad entre productos esterilizados y pasteurizados afectó de diferentes maneras los porcentajes del resto de las evaluaciones. La incorporación de una salmuera en los productos esterilizados provocó una absorción de humedad en las salchichas que dependió del tipo de grasa añadida en la formulación cárnica. La formulación que incluyó aceite de maíz fue la que presentó mayor incremento que el resto de las formulaciones. Respecto a los valores de proteína y ceniza, se observa que los productos esterilizados presentaron valores más bajos ($p < 0.05$) que los pasteurizados, debido principalmente a un efecto de dilución derivado de la adición de la salmuera. La formulación con aceite de maíz disminuyó en su contenido proteico desde un valor de 14.3% en pasteurizado a 12.2% en esterilizado, siendo éste el mayor diferencial entre los tratamientos. Por otro lado, el contenido de grasa de las salchichas fue afectado por el tipo de tratamiento térmico y el tipo de grasa utilizada ($p < 0.05$). en relación al tratamiento térmico, se observó un mayor ($p < 0.05$) porcentaje de grasa en las salchichas esterilizadas, respecto a las que fueron pasteurizadas. En cuanto al tipo de grasa, las salchichas adicionadas con aceite de coco presentaron mayor ($p < 0.05$) porcentaje de grasa que las salchichas con grasa de cerdo, pero similar a las elaboradas con aceite de maíz ($p > 0.05$). Es de destacar los valores de proteína con un promedio entre todos los tratamientos de 12.5%, superior al mínimo de 9.5% indicado por la norma mexicana NMX-F-065-1984 para este tipo de productos, y mayor a algunas de las principales marcas comercializadas en México (Profeco, 2020). El contenido de grasa promedio fue de 19%, valor que no sobrepasa al máximo de 30% indicado en la norma mexicana NMX-F-065. El valor de grasa promedio en los productos desarrollados en la presente investigación es superior a valores reportados para salchichas comercializadas en territorio mexicano, las cuales cuentan con un máximo de 12% según un estudio publicado por la Procuraduría Federal del Consumidor (Profeco, 2020). A pesar del alto contenido de grasa en los productos desarrollados, el contenido de ácidos grasos poliinsaturados y de ácidos grasos saturados de cadena media de los productos a los que se les sustituyó la grasa de cerdo por aceite de maíz o de coco, respectivamente fue mayor, según se discute más adelante.

Cuadro 6. Análisis proximal ^a de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules evaluando el efecto de tipo de grasa (GR) y tratamiento térmico (TT).

Evaluación	Pasteurizado			Esterilizado			Valor <i>p</i>		
	CG	MZ	CC	GC	MZ	CC	TT	GR	TT x GR
Humedad	62.8 ± 0.2 ^c	59.1 ± 0.4 ^a	59.8 ± 0.1 ^a	64.7 ± 0.3 ^d	61.9 ± 0.5 ^b	61.3 ± 0.2 ^b	0.0000	0.0000	0.0103
Grasa	17.9 ± 0.5 ^a	18.2 ± 1.4 ^a	18.5 ± 0.1 ^{ab}	18.1 ± 0.8 ^a	19.8 ± 0.2 ^{ab}	20.4 ± 0.6 ^b	0.0027	0.0127	0.1330
Proteína	11.6 ± 0.3 ^{ab}	14.3 ± 0.4 ^d	13.3 ± 0.2 ^c	11.3 ± 0.3 ^a	12.2 ± 0.1 ^b	12.3 ± 0.2 ^b	0.0000	0.0000	0.0001
Ceniza	2.2 ± 0.1 ^{bc}	2.3 ± 0.1 ^c	2.1 ± 0.1 ^b	1.3 ± 0.1 ^a	1.5 ± 0.1 ^a	1.5 ± 0.1 ^a	0.0000	0.0055	0.0178
Carbohidratos	5.5 ± 0.6 ^a	6.1 ± 1.2 ^a	6.3 ± 0.2 ^a	4.5 ± 1.0 ^a	4.6 ± 0.6 ^a	4.5 ± 0.8 ^a	0.0029	0.6464	0.6327

Tratamientos con GC: grasa de cerdo, MZ: aceite de maíz, CC: aceite de coco. Valores con distinta letra dentro de cada renglón, indican diferencias significativas ($p < 0.05$). ^aLos valores son el promedio de tres determinaciones ± desviación estándar

6.2.2. Potencial de Hidrógeno (pH)

En la Figura 1 se presenta los resultados de pH para los productos evaluados. Existe un efecto de interacción ($p < 0.05$) entre el tipo de grasa utilizado y el tratamiento térmico al que los productos fueron sometidos. El efecto de interacción indica que el efecto del tipo de grasa sobre el pH fue en función del tratamiento térmico al que fue sometido. Por ejemplo, observando la Figura 1, en los productos pasteurizados el mayor valor de pH fue en el tratamiento con aceite de maíz, pero cuando el producto fue esterilizado, el valor de pH mayor fue en el tratamiento con grasa de cerdo. En general, adicionar aceite de maíz en la formulación cárnica, incrementó ($p < 0.05$) el pH del producto. Si se toma en cuenta el efecto del tratamiento térmico, se observó que los tratamientos sometidos a esterilización presentaron un pH promedio menor ($p < 0.05$) a aquellos que fueron pasteurizados. Una posible explicación a este comportamiento es que el incremento de temperatura alcanzado en la esterilización acelera la oxidación lipídica, generando compuestos muy reactivos e inestables como los hidroperóxidos que rápidamente se descomponen a productos secundarios que incluyen hidrocarburos, aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres y ácidos (Domínguez *et al.*, 2019). En el tratamiento con aceite de maíz es más marcado el descenso de pH cuando el producto es esterilizado probablemente debido al mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Cuadro 5) más propensos a la oxidación lipídica. El efecto del incremento de la temperatura sobre el descenso del pH fue también reportado por S.-H. Choi *et al.* (2013) en un producto típico coreano (short rib patty), se reporta una caída del valor de pH en el producto desde 6.0 a 5.67 cuando el valor de esterilización F_0 se incrementó de 0.78 a 7.64.

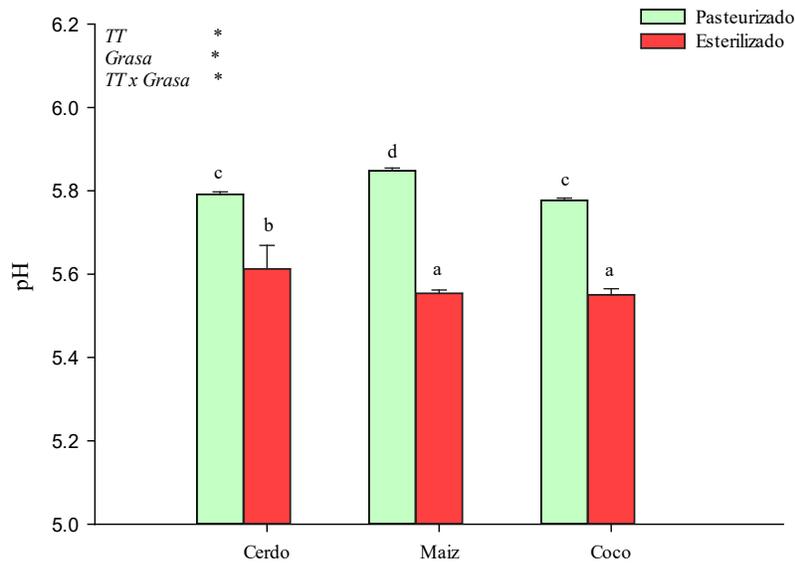


Figura 1. Efecto del tipo de grasa y tratamiento térmico sobre el pH de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules. Barras con diferente letra, indican diferencias ($p < 0.05$).

6.2.3. Color Instrumental CIE L^* , a^* y b^*

En la Figura 2 se presentan los resultados del color instrumental L^* , a^* y b^* para los diferentes tratamientos evaluados. Hubo un efecto ($p < 0.05$) del tratamiento térmico, el tipo de grasa añadida y de la interacción entre ambos factores para los valores L^* y b^* , mientras que para los valores a^* , solo se presentó un efecto por el tratamiento térmico ($p < 0.05$). Los valores L^* fueron diferentes entre los productos sin pasteurizar, siendo más alto ($p < 0.05$) para el aquel con aceite de maíz y más bajo ($p < 0.05$) para el que incluyó aceite de coco. Debido al efecto de interacción, este comportamiento no fue el mismo cuando los productos fueron esterilizados. Se observó que, entre los esterilizados, el valor mayor ($p < 0.05$) de L^* se obtuvo para el producto con grasa de cerdo y el más bajo ($p < 0.05$) para el que incluyó aceite de coco. En relación con el valor b^* , donde también se observó un efecto de interacción, no existieron diferencias ($p < 0.05$) entre los productos sometidos a pasteurización, pero se presenta un aumento significativo ($p < 0.05$) cuando se esterilizan, observándose diferencias entre ellos, siendo más alto para aquel que contiene aceite de maíz.

En general, los productos que contienen aceite de maíz presentaron valores de L^* y b^* más altos

que aquellos que contienen grasa de cerdo o aceite de coco. La razón a esto es que la preemulsión de maíz (Cuadro 4) presentó valores altos de L y b^* , afectando directamente al producto. De forma general, se observó también una disminución del valor L^* y un aumento de los valores a^* y b^* cuando los productos son esterilizados, comportamiento que indica la pérdida del color del producto por efecto del calor. Estas diferencias en el color entre los tratamientos son evidentes en la Figura 3. El color marrón observado entre los productos sometidos al proceso de esterilización puede deberse a las reacciones de Maillard que se llevan a cabo entre los azúcares reductores provenientes de la mora azul y aminoácidos básicos como lisina presente en la carne. Choi *et al.* (2013), reportaron un comportamiento similar en el color cuando esterilizaron un producto típico coreano (short rib patty), se generaron modelos de regresión para predecir los valores L^* , a^* y b^* en función de la temperatura y tiempo de esterilización del producto y encontraron que a medida que la temperatura se incrementó, dichos valores disminuyeron. Por otro lado, los productos pasteurizados muestran un color morado (Figura 3), esto debido a la incorporación de la mora azul en las formulaciones cárnicas, color que se pierde casi en su totalidad cuando los productos son esterilizados. Las antocianinas presentes en la mora azul son las responsables del color característico en esta fruta (Zhang *et al.*, 2019) y del color morado en los productos aquí desarrollados. En la Figura 4 se presenta el efecto del tratamiento térmico sobre el perfil de antocianinas en los productos. Se observa una pérdida del 98% en la señal de identificación de las antocianinas cuando los productos fueron esterilizados. Nie *et al.* (2017), obtuvieron un comportamiento similar en un puré de moras azules fermentadas sometido a un proceso de esterilización; estos autores reportaron una pérdida de hasta el 86% de las antocianinas totales cuando el producto fue sometido a una temperatura de 120 °C por 20 min.

En el presente trabajo, las variaciones del color entre los tratamientos evaluados se deben al tipo de grasa utilizada en la formulación y al tratamiento térmico al que se sometieron los diferentes productos. La evaluación del color es importante en los productos cárnicos pues éste tiene influencia en la decisión de compra del consumidor. Es recomendable realizar en futuras investigaciones un análisis sensorial sobre este parámetro para determinar la aceptabilidad del producto por parte de los consumidores potenciales.

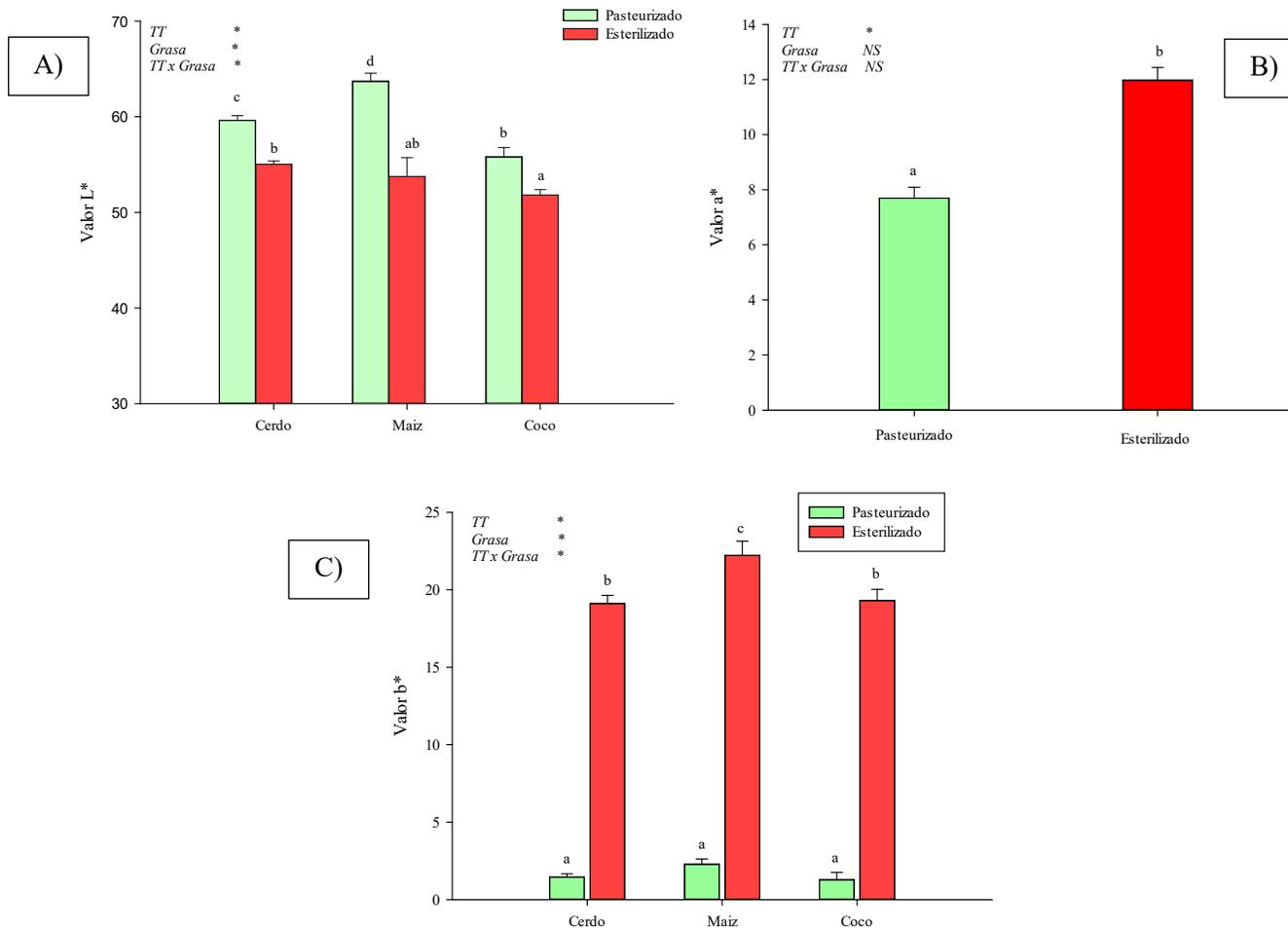


Figura 2. Color instrumental de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules y sometidas a pasteurización o esterilización, donde A) Valor L^* , B) Valor a^* y C) Valor b^* . Barras con diferente letra, indican diferencias ($p < 0.05$).

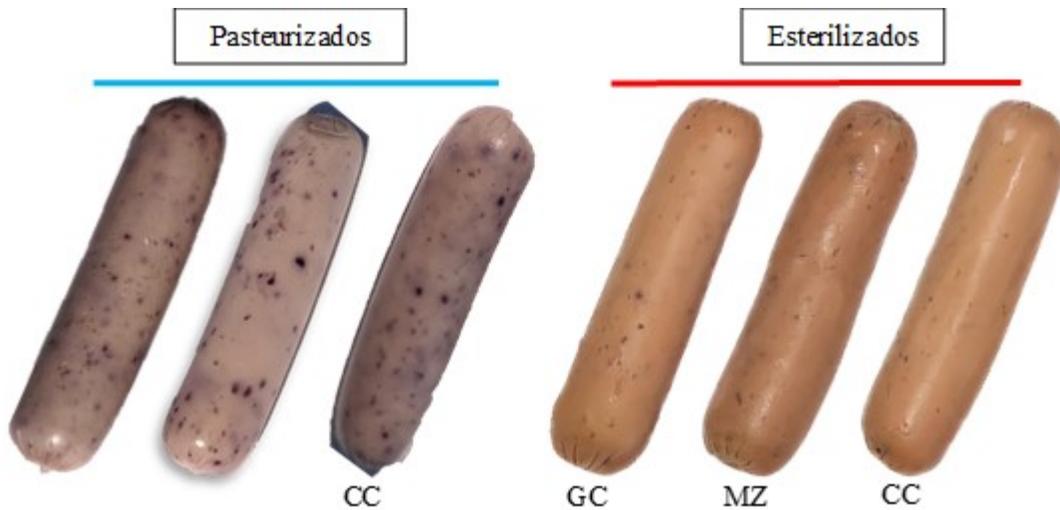


Figura 3. Color de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules, formuladas con grasa de cerdo (GC), aceite de maíz (MZ) y aceite de coco (CC), sometidas a pasteurización y esterilización.

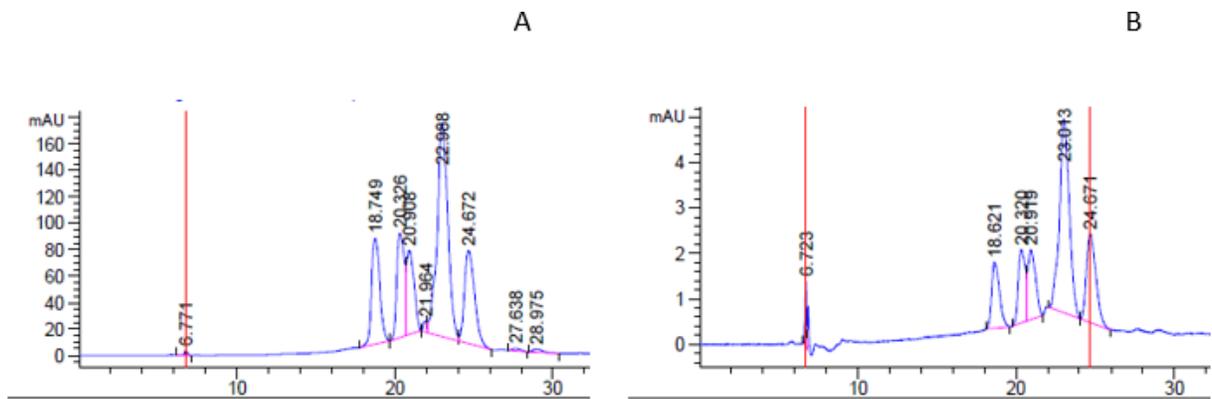


Figura 4. Perfil de antocianinas en salchichas de cerdo con moras azules sometidas a A) pasteurización y B) esterilización.

6.2.4. Análisis de Perfil de Textura (APT)

El análisis de perfil de textura es una prueba utilizada para determinar las propiedades físicas y reológicas de los alimentos, la cual consiste en una prueba de doble compresión de la muestra simulando el comportamiento de masticado e ingerido de dicho alimento. En la Figura 5 se muestran los resultados del análisis de perfil de textura en términos de dureza (N), elasticidad (cm),

cohesividad (adimensional) y masticabilidad (N x cm). En ninguno de los parámetros evaluados hubo efecto de interacción ($p > 0.05$) entre el tipo de grasa y el tratamiento térmico, razón por la cual solo se explican los efectos principales. En esta figura se observa un efecto significativo ($p < 0.05$) del tratamiento térmico sobre todos los parámetros de textura de los productos. La disminución de los valores de textura en los productos por efecto de un aumento en la temperatura debido al proceso de esterilización puede deberse al debilitamiento de la matriz cárnica resultante de la conversión del colágeno a gelatina y de la disociación de proteínas miofibrilares. De acuerdo con Tintchev *et al.* (2013), el grado de solubilización de las proteínas cárnicas, en particular de la miosina, es un proceso clave que tiene un efecto significativo en las propiedades estructurales de salchichas sometidas al calor y presión.

Respecto al efecto de la grasa sobre la textura del producto, se observa en la Figura 5 que la adición de aceite de coco incrementó la dureza, elasticidad y masticabilidad ($p < 0.05$), mientras que la adición de aceite de maíz solo la elasticidad y masticabilidad. El aumento en algunos parámetros de textura en los tratamientos con aceite puede ser debido a la presencia de glóbulos de aceite más pequeños resultante de la emulsificación y que son incorporados en la matriz cárnica. Cuanto menor sea el tamaño del glóbulo de aceite, mayor es el área superficial y por lo tanto mayor cantidad de proteína para envolverlo. Este aumento en el área superficial incrementa la resistencia del producto a la compresión y afecta los parámetros de textura (Shao *et al.*, 2020). Resultados similares al del presente estudio fueron reportados por Sisik *et al.* (2012) en salchichas de carne de oveja a la que se le sustituyó el 50% de la grasa por aceite de maíz. Estos autores reportaron un aumento en la masticabilidad, elasticidad y cohesividad del producto. La adición de aceites diferentes al de maíz o coco resulta también en un aumento en la textura del producto. Kim *et al.* (2020), demostraron que las salchichas preemulsionadas con aceite de oliva y alginato exhibieron una textura más dura que la muestra de control.

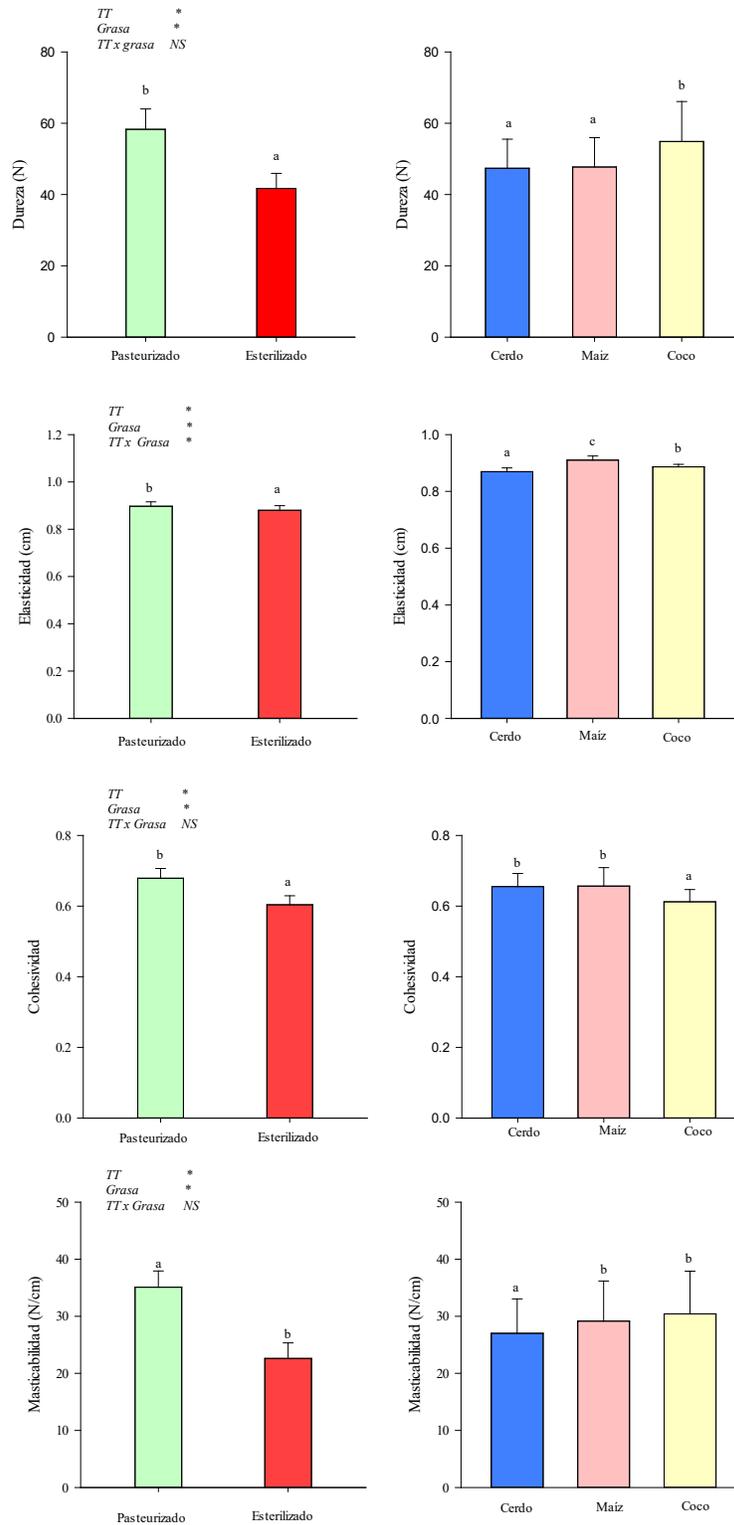


Figura 5. Análisis de perfil de textura de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules formuladas con grasa de cerdo, aceite de maíz y aceite de coco sometidas a pasteurización y esterilización. Barras con diferente letra, indican diferencias ($p < 0.05$).

6.2.5. Perfil de Ácidos Grasos

No hubo efecto del tratamiento térmico aplicado en los productos sobre el perfil de ácidos grasos ni tampoco efecto de la interacción con el tipo de grasa añadida ($p > 0.05$). En el Cuadro 7 solo se presentan los resultados del perfil de ácidos grasos de los productos evaluados por efecto del tipo de grasa añadida. En cuanto a la suma total de AGS, se observó un mayor ($p < 0.05$) contenido en las salchichas elaboradas con aceite de coco, con una concentración 2 veces mayor que la observada en las salchichas con grasa de cerdo y aceite de maíz. Particularmente, la proporción de los ácidos láurico (C12:0), mirístico (C14:0), fue mayor ($p < 0.05$) en salchichas con aceite de coco, comparadas con las que contenían grasa de cerdo o aceite de maíz. Por su parte, los ácidos grasos palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) se encontraron en mayor proporción ($p < 0.05$) en salchichas con grasa de cerdo, respecto a las que contenían aceite de coco.

Destaca la alta proporción del ácido láurico (29.3% del total de ácidos grasos) en el producto elaborado con aceite de coco; la razón es que este ingrediente es naturalmente alto en ácido láurico con cerca del 45% del total de ácidos grasos, según se especifica en el Cuadro 5 correspondiente a la caracterización de la materia prima. El ácido láurico es un ácido graso de cadena media que al ser consumido como parte de la dieta muestran una alta digestibilidad; debido a ello, el cuerpo lo utiliza como fuente de energía inmediata y por consiguiente no se almacena en forma de tejido adiposo (Dayrit, 2015). En general, se ha evidenciado que el consumo de aceite de coco mejora la actividad antioxidante y el perfil de lípidos; además, disminuye la presión arterial, el azúcar en sangre y la grasa corporal abdominal (Ma *et al.*, 2016).

El contenido de ácidos grasos monoinsaturados en las formulaciones con grasa de cerdo y aceite de maíz fue de 47.5 y 36.9%, respectivamente, significativamente mayor ($p > 0.05$) a la formulación con aceite de coco (21.4%). El ácido oleico (C18:1 *cis*) fue el ácido graso predominante entre los monoinsaturados con contenidos mayores ($p < 0.05$) en salchichas con grasa de cerdo y aceite de maíz, respecto a las salchichas con aceite de coco. Algunos autores han destacado los beneficios a la salud derivado del consumo de ácido oleico. Rehman *et al.* (2020), reportaron que el ácido oleico regula factores importantes causantes de la resistencia a la insulina y de diabetes mellitus tipo 2, y su consumo regular es una buena estrategia para prevenir y tratar estas enfermedades. Ducheix *et al.* (2017), reportaron que el ácido oleico dietario en ratones de prueba reduce el colesterol y promueve la lipogénesis hepática sin efecto alguno en el hígado.

Cuadro 7. Perfil de ácidos grasos de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules evaluando el efecto de tipo de grasa.

Ácido graso	Cerdo	Maíz	Coco
C8:0	0.06 ± 0.04 ^a	0.04 ± 0.01 ^a	3.63 ± 0.76 ^b
C10:0	0.08 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.03 ^a	3.38 ± 0.61 ^b
C12:0	0.23 ± 0.13 ^a	0.78 ± 0.32 ^a	29.26 ± 5.50 ^b
C14:0	1.33 ± 0.06 ^a	1.01 ± 0.24 ^a	13.72 ± 2.13 ^b
C15:0	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.01	0.00 ± 0.00
C16:0	22.39 ± 0.19 ^b	16.81 ± 2.16 ^{ab}	14.70 ± 1.46 ^a
C17:0	0.32 ± 0.00 ^b	0.15 ± 0.06 ^{ab}	0.08 ± 0.04 ^a
C18:0	11.83 ± 0.10 ^b	5.91 ± 1.34 ^a	6.29 ± 1.06 ^a
C20:0	0.21 ± 0.06	0.24 ± 0.07	0.11 ± 0.04
C21:0	0.25 ± 0.13 ^b	0.15 ± 0.04 ^{ab}	0.00 ± 0.00 ^a
C22:0	0.20 ± 0.11	0.18 ± 0.10	0.00 ± 0.00
Σ Saturados	36.92 ± 0.45 ^a	25.40 ± 3.43 ^a	71.16 ± 6.46 ^b
C14:1	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.01	0.00 ± 0.00
C15:1	0.04 ± 0.03	0.08 ± 0.08	0.15 ± 0.15
C16:1	1.68 ± 0.47	1.14 ± 0.71	0.66 ± 0.23
C17:1	0.29 ± 0.01 ^b	0.10 ± 0.08 ^{ab}	0.07 ± 0.04 ^a
C18:1 <i>cis</i>	44.18 ± 0.37 ^b	34.95 ± 2.98 ^b	19.84 ± 4.10 ^a
C20:1 <i>n9</i>	0.99 ± 0.05 ^b	0.54 ± 0.06 ^a	0.31 ± 0.09 ^a
C22:1	0.35 ± 0.23	0.05 ± 0.05	0.32 ± 0.18
Σ Monoinsaturados	47.54 ± 0.70 ^b	36.89 ± 3.79 ^b	21.36 ± 4.57 ^a
C18:2 <i>trans</i>	0.01 ± 0.01	0.11 ± 0.06	0.24 ± 0.23
C18:2 <i>cis</i>	12.75 ± 0.20 ^a	35.88 ± 7.09 ^b	6.70 ± 1.66 ^a
C18:3 <i>n3</i>	0.68 ± 0.01 ^b	0.78 ± 0.06 ^b	0.19 ± 0.11 ^a
C20:2	0.81 ± 0.12 ^c	0.47 ± 0.07 ^b	0.17 ± 0.10 ^a
C20:3 <i>n6</i>	0.55 ± 0.11 ^b	0.31 ± 0.06 ^a	0.15 ± 0.09 ^a
C20:4 <i>n6</i>	0.19 ± 0.11	0.17 ± 0.13	0.00 ± 0.00
C20:3 <i>n3</i>	0.10 ± 0.02 ^c	0.00 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.02 ^b
C20:5	0.44 ± 0.21 ^b	0.00 ± 0.00 ^a	0.00 ± 0.00 ^a
Σ Poliinsaturados	15.55 ± 0.41 ^a	37.71 ± 7.20 ^b	7.48 ± 1.90 ^a
Relación AGP/AGS	0.42 ± 0.02 ^b	1.48 ± 0.80 ^c	0.10 ± 0.06 ^a

Valores con distinta letra dentro de cada renglón, indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

En relación con el contenido de ácidos grasos poliinsaturados, el tratamiento con aceite de maíz tuvo la mayor ($p < 0.05$) cantidad con 37.7%, seguido del tratamiento con grasa de cerdo con 15.5% y del tratamiento con aceite de coco con 7.5%. El ácido linoleico (C18:2 *cis*) fue el de mayor

predominancia entre los poliinsaturados y fue diferente entre tipo de grasa adicionada ($p < 0.05$). El aceite de maíz es una excelente fuente de este importante ácido graso; de acuerdo con los resultados presentados en el Cuadro 5 sobre la caracterización de la materia prima, del total de ácidos grasos en el aceite de maíz, el 52.2% corresponden al ácido linoleico. Se ha comprobado que el consumo regular de dietas con alto contenido de ácido linoleico reduce el colesterol total y la concentración de LDL al compararse con dietas bajas en ácidos grasos poliinsaturados o altas en ácidos grasos saturados (Froyen *et al.*, 2020).

Las tendencias en el desarrollo de nuevos productos cárnicos más saludables es reducir el contenido de ácidos grasos saturados, principalmente aquellos de cadena larga como el palmítico y esteárico. La sustitución de grasa saturada por aceite de maíz o aceite de coco resulta en un producto con mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados en caso del primero o de ácidos grasos saturados de cadena media en caso del segundo. Glisic *et al.* (2019) sustituyeron el 16% de la grasa saturada en una salchicha de res y cerdo, por una emulsión de aceite de maíz gelificada con inulina. De acuerdo a sus resultados, hubo un incremento en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados de 12.7 a 23.2% y una disminución de los ácidos grasos saturados de 36.8 a 28.7% en el producto final. Baer *et al.* (2014) crearon una salchicha tipo Frankfurt para determinar el efecto de la adición de aceite de maíz en la formulación sobre el perfil de ácidos grasos, reemplazando la grasa de cerdo hasta en un 14%. Los resultados de este estudio muestran una disminución de ácidos grasos saturados de 35.5 a 32.8% y un aumento en los ácidos grasos poliinsaturados de 13.1 a 17.6%. En cuanto al uso de aceite de coco en productos cárnicos, los estudios son muy limitados.

Uno de los índices para medir la calidad nutricional de los ácidos grasos y de utilidad por su relación con la probabilidad de prevalencia de enfermedades cardiovasculares, es la relación AGP/AGS. Se recomienda que esta relación sea superior a 0.45, ya que proporciones más bajas en la dieta pueden aumentar la incidencia de enfermedades del corazón (Rios-Mera *et al.*, 2021; Selani *et al.*, 2016). La relación AGP/AGS fue diferente ($p < 0.05$) entre los tratamientos evaluados, siendo mayor en salchichas con aceite de maíz y menor en salchichas con aceite de coco. Las salchichas con grasa de cerdo presentaron una relación AGP/AGS de 0.42, ligeramente menor al valor de 0.45 recomendado. La incorporación de aceites vegetales, principalmente aquellos con alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, mejora el índice AGP/AGS en formulaciones cárnicas, tal como lo evidencian Choi *et al.* (2010) en salchichas de cerdo a las que se les incorporó aceite de oliva, maíz, canola y soya. De acuerdo a los autores, la incorporación de estos aceites en

el producto aumentó la relación AGP/AGS a valores superiores a 0.45.

6.3. Etapa III. Capacidad Antioxidante y Perfil de Antocianinas

Adicionar antioxidantes a las matrices cárnicas ayuda a la calidad del producto evitando la oxidación de las grasas, por ende, extender su vida útil. Investigaciones relacionadas al uso de antioxidantes naturales en productos cárnicos es cada vez más frecuente y es derivado de una preocupación de los consumidores por productos naturales y con una connotación de salud. A continuación, se presentan los resultados de los efectos e interacciones del tipo de grasa y tratamiento térmico sobre la capacidad antioxidante de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules.

6.3.1. Capacidad Antioxidante

En la Figura 6 se muestran los resultados de la capacidad antioxidantes de los diferentes tratamientos medida por las pruebas de DPPH, ABTS, FRAP y ORAC. Los resultados muestran un efecto de interacción ($p < 0.05$) entre el tipo de grasa y tratamiento térmico para todas las pruebas evaluadas. Es decir, el efecto del tipo de grasa sobre la capacidad antioxidante del producto fue en función del tratamiento térmico aplicado. A pesar de que todos los tratamientos fueron formulados con 15% de moras azules, buscando equilibrar el contenido de antioxidantes en todos los productos, los resultados muestran que las salchichas con aceite de maíz que fueron pasteurizadas registraron los valores más altos ($p < 0.05$) en las pruebas de DPPH, ABTS y FRAP, seguido del tratamiento con grasa de cerdo y del tratamiento con aceite de coco. Las salchichas con aceite de maíz fueron también las que presentaron la mayor disminución ($p < 0.05$) en la capacidad antioxidante cuando fueron esterilizadas, probablemente debido a la mayor proporción de ácidos grasos insaturados que son más propensos a la oxidación ante las altas temperaturas. La alta capacidad antioxidante observada en los tratamientos con aceite de maíz pudo deberse a que en la presente investigación

se utilizó un aceite comercial, el cual contiene antioxidantes sintéticos como el BHA y BHT, según su etiqueta. El aceite de maíz es también fuente de vitamina E (Grilo *et al.*, 2014) y cuando es incorporado en los productos cárnicos, éstos muestran una alta capacidad antioxidante (Sisik *et al.*, 2012).

Por otro lado, se observa un efecto importante del tratamiento térmico aplicado al producto sobre su capacidad antioxidante. En los productos pasteurizados, la capacidad antioxidante fue mayor ($p < 0.05$) que los esterilizados. La mora azul utilizada en todos los tratamientos en igual cantidad es un ingrediente con alto contenido de compuestos antioxidantes, entre ellos, las antocianinas. De acuerdo a los resultados obtenidos, la señal de identificación de las antocianinas se redujo en un 98% en los productos esterilizados comparados con los pasteurizados. Se presentó, además, una pérdida de color en el producto al pasar del morado al marrón, evidenciando con ello una pérdida significativa de antocianinas por efecto del calor aplicado. Esta pérdida pudo ser una de las causas por las cuales se observa menor capacidad antioxidante en los productos esterilizados. Por otro lado, las condiciones de calor extremas durante la esterilización aceleran los procesos de oxidación, generando radicales libres que pueden interactuar con los compuestos antioxidantes presentes en el alimento, disminuyendo su cuantificación por los métodos utilizados. El efecto de la temperatura sobre la oxidación lipídica fue observado por Beltrán *et al.* (2004). Los autores compararon muestras de pollo frescas y cocinadas (condiciones de 100 °C por 60 min), almacenadas durante 9 días a 4 °C y evaluaron la oxidación lipídica. Sus resultados indican una mayor oxidación en las muestras sobre cocinadas, comparadas con las frescas.

La incorporación de moras azules en los productos pasteurizados es una buena estrategia para dotarlas de compuestos antioxidantes. Muzolf-Panek *et al.* (2016) evaluaron el efecto de la incorporación de moras azules sobre la capacidad oxidativa (DPPH) y la oxidación lipídica (TBA) en un pastel de carne. Sus resultados indican una mayor actividad antioxidante en las muestras adicionadas con moras azules comparadas a la muestra sin este ingrediente. Además, las muestras con moras azules presentaron un menor grado de oxidación lipídica que la muestra control, lo que indica un efecto protector del ingrediente sobre los lípidos del producto. Resultados similares fueron reportados por Zhou *et al.* (2020) en salchichas de cerdo adicionadas con moras azules fermentadas. Los autores concluyen que la adición de este ingrediente reduce significativamente la oxidación de lípidos y mejorar la estabilidad oxidativa del producto durante el almacenamiento en refrigeración.

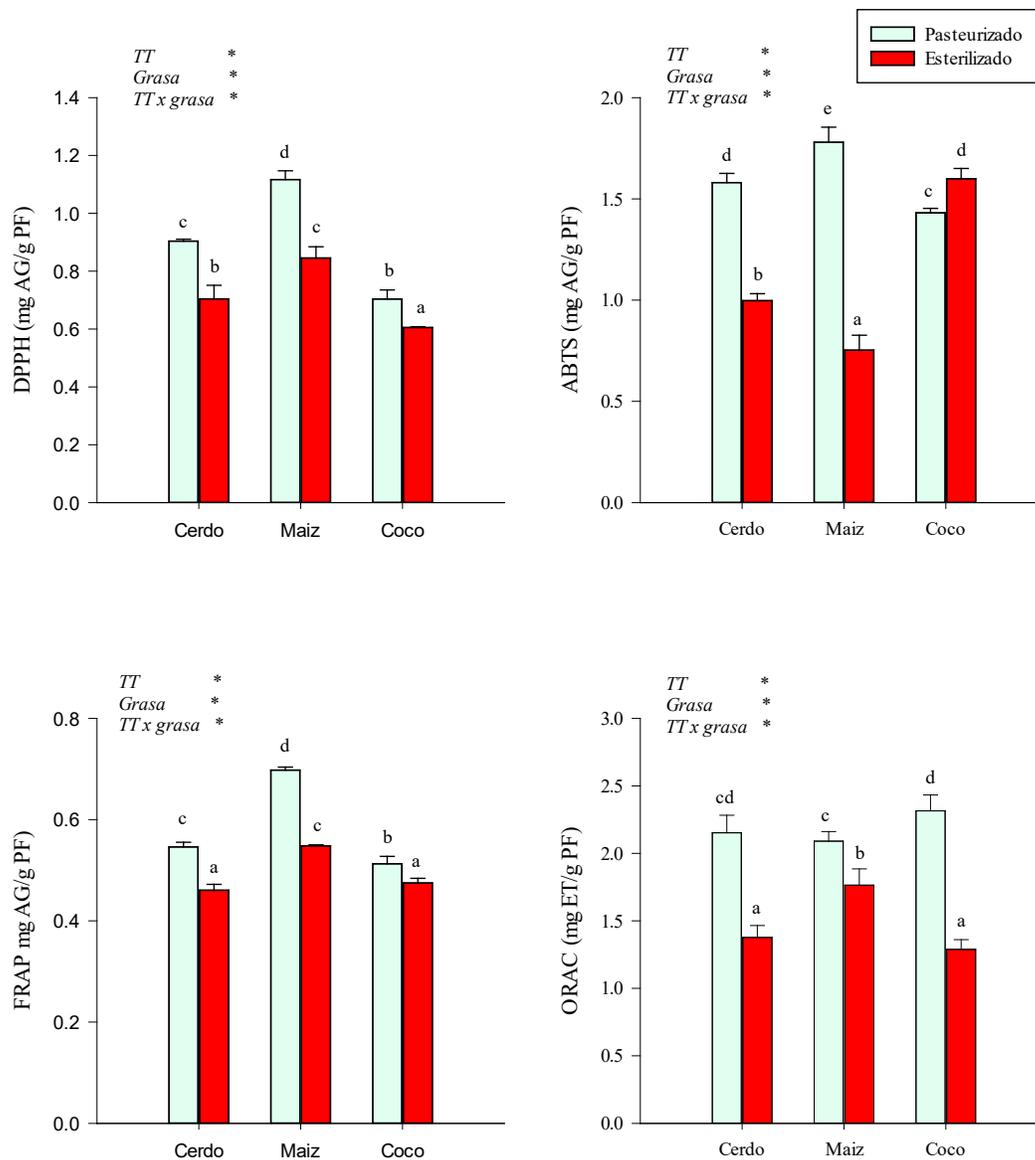


Figura 6. Capacidad antioxidante de salchichas de cerdo adicionadas con moras azules formuladas con grasa de cerdo, aceite de maíz y aceite de coco sometidas a pasteurización y esterilización. Barras con diferente letra, indican diferencias ($p < 0.05$).

6.3.2. Perfil de Antocianinas

Todos los tratamientos fueron formulados con igual cantidad de moras azules (15%) como fuente de antioxidantes naturales con el fin de observar los efectos del tipo de grasa y tratamiento térmico aplicado sobre el perfil de antocianinas. De acuerdo a los resultados obtenidos, solo hubo efecto (p

< 0.05) del tratamiento térmico sobre el perfil de antocianinas detectados. Se aclara que no ha sido posible identificar las antocianinas separadas debido a la falta de estándares comerciales. Los picos detectados corresponden a las lecturas cromatográficas a una longitud de onda de 520 nm en los extractos, longitud de onda a la cual absorben las antocianinas, donde las principales para las moras azules son la delfinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina (Cesa *et al.*, 2017; Olaya, 2018).

En la Figura 7 se muestran los cromatogramas correspondientes a los productos sometidos a pasteurización y esterilización, además de los porcentajes relativos de las áreas de cada pico separado. Se observan 7 picos entre los tiempos de retención de 18.7 a 28.9 min. Los picos fueron identificados con números continuos del 1 al 7. El pico mayoritario corresponde al identificado con el número 5 con poco más del 40% del total detectado, seguido de los picos 1, 2, 3 y 6, con proporciones similares entre ellos de alrededor de 13% del total. Se observa que después del proceso de esterilizado, el patrón de los compuestos separados permanece prácticamente igual; sin embargo, la señal de identificación se reduce hasta un 98%, indicativo de una pérdida sustancial de dichos compuestos. Las antocianinas son componentes lábiles al calor y fácilmente se degradan siguiendo una cinética de primer orden (Zhang *et al.*, 2012). El efecto del calor sobre la pérdida de antocianinas ha sido reportado también por Zhang *et al.* (2019). Estos autores realizaron un estudio sobre la estabilidad al calor de antocianinas en moras azules. Sus resultados muestran que una exposición de 2 h a 60 °C y pH de 6.0, se conserva aproximadamente el 65% del contenido original de antocianinas. Este porcentaje disminuye hasta un 15% si se incrementa la temperatura a 80 °C bajo las mismas condiciones de tiempo y pH. La pérdida de antocianinas detectada en nuestra investigación, derivada del proceso de esterilización, tuvo un impacto en el color del producto y en la capacidad antioxidante medida por las pruebas DPPH, ABTS, FRAP y ORAC

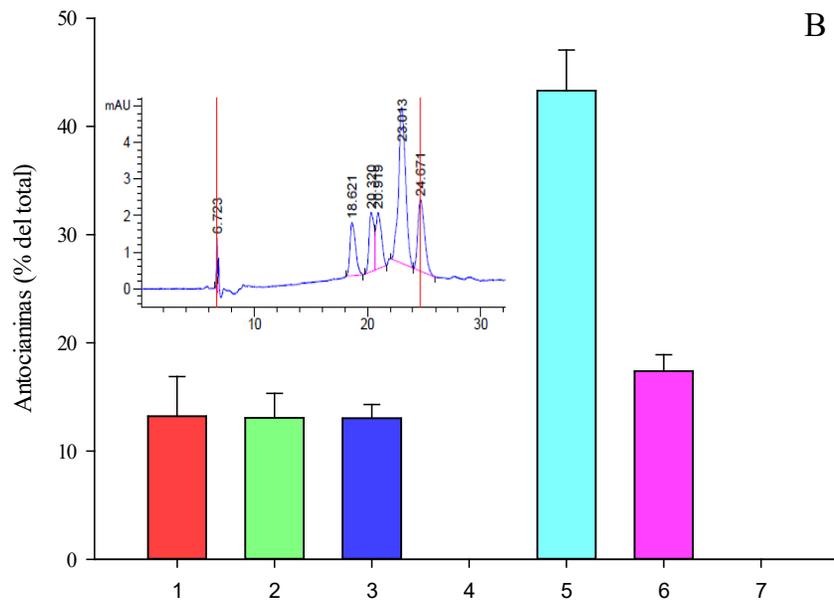
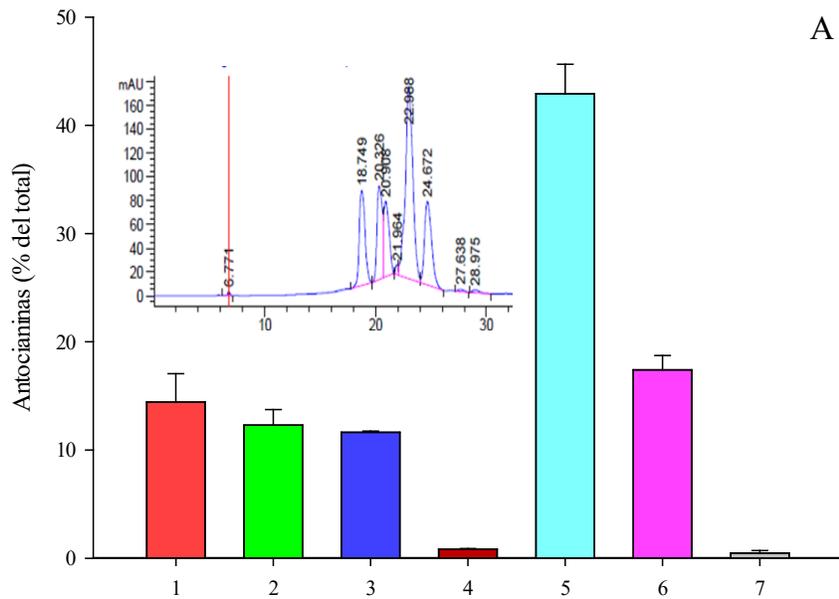


Figura 7. Antocianinas identificadas con números del 1 al 7 en salchichas de cerdo adicionadas con moras azules sometidas a A) pasteurización y B) esterilización.

7. CONCLUSIONES

El aceite de maíz o de coco, además de la mora azul, son ingredientes con gran potencial para desarrollar nuevos productos cárnicos con una connotación más saludable, debido al aporte nutricional de cada uno de ellos. La incorporación de estos ingredientes no tradicionales en formulaciones de salchichas, así como los tratamientos térmicos a los que son sometidos afectan la calidad del producto de diferentes maneras. La incorporación de aceite de maíz provoca un cambio en el color instrumental hacia tonos más claros y amarillos. La textura se incrementa cuando se incorpora aceite de coco en la formulación. Todos los productos muestran una pérdida de textura cuando son sometidos a un proceso de esterilización.

La sustitución de grasa de cerdo por aceite de maíz o aceite de coco en la formulación de salchichas de cerdo mejora el perfil de ácidos grasos, independientemente si el producto es pasteurizado o esterilizado.

Las salchichas de cerdo formuladas con moras azules dan lugar a un producto con alta capacidad antioxidante cuando éste es pasteurizado; sin embargo, se tiene una pérdida importante de la capacidad antioxidante cuando el producto se somete a un proceso de esterilización.

Los resultados del presente estudio pueden ser de utilidad para aquellos procesadores interesados en formular nuevos alimentos con perfil nutricional mejorado, pues aquí se evidencia los efectos de la adición de grasas alternativas y del proceso térmico de conservación sobre la calidad fisicoquímica y nutricional del producto. Esta es una de las primeras etapas en el desarrollo de productos cárnicos funcionales.

8. RECOMENDACIONES

Es necesario realizar investigación que permita el desarrollo de salchichas con ingredientes no tradicionales que no afecten la calidad del producto. Se recomienda evaluar la oxidación de lípidos para tener mejor idea de cómo se comportan los antioxidantes naturales. Es necesario realizar estudios de las propiedades sensoriales sobre el impacto de la adición de moras azules, grasas vegetales y tratamientos térmicos. Son necesarios también estudios que evalúen la bioaccesibilidad y biodisponibilidad *in vitro* de compuestos bioactivos provenientes de los nuevos ingredientes.

9. REFERENCIAS

- Akhtar, Y., y Isman, M. B. (2018). 10 - Insects as an Alternative Protein Source. In R. Y. Yada (Ed.), *Proteins in Food Processing (Second Edition)* (pp. 263-288): Woodhead Publishing.
- Appaiah, P., Sunil, L., Kumar, P. P., y Krishna, A. G. (2015). Physico-chemical characteristics and stability aspects of coconut water and kernel at different stages of maturity. *Journal of food science and technology*, 52(8), 5196-5203
- Arihara, K., y Ohata, M. (2008). Bioactive compounds in meat. In F. Toldra (Ed.), *Meat biotechnology* (pp. 231-249). New York: Springer.
- Arihara, K., y Ohata, M. (2011). Functional meat products *Functional Foods* (pp. 512-533): Elsevier.
- Baer, A. A., y Dilger, A. C. (2014). Effect of fat quality on sausage processing, texture, and sensory characteristics. *Meat Science*, 96(3), 1242-1249
- Barba, F. J., Esteve, M. J., y Frigola, A. (2013). Physicochemical and nutritional characteristics of blueberry juice after high pressure processing. *Food Research International*, 50(2), 545-549
- Barbosa-Cánovas, G. V., Medina-Meza, I., Candoğan, K., y Bermúdez-Aguirre, D. (2014). Advanced retorting, microwave assisted thermal sterilization (MATS), and pressure assisted thermal sterilization (PATS) to process meat products. *Meat Science*, 98(3), 420-434
- Bigliardi, B., y Galati, F. (2013). Innovation trends in the food industry: The case of functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 31(2), 118-129
- Bindu, J., Ravishankar, C., y Gopal, T. S. (2007). Shelf life evaluation of a ready-to-eat black clam (*Villorita cyprinoides*) product in indigenous retort pouches. *Journal of food engineering*, 78(3), 995-1000
- 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*: Elsevier.
- Buła, M., Przybylski, W., Jaworska, D., y Kajak-Siemaszko, K. (2019). Formation of heterocyclic aromatic amines in relation to pork quality and heat treatment parameters. *Food Chemistry*, 276, 511-519
- Cannon, J., Morgan, J., Heavner, J., McKeith, F., Smith, G., y Meeker, D. (1995). Pork quality audit: a review of the factors influencing pork quality 1. *Journal of Muscle Foods*, 6(4), 369-402
- Carreño, M. Á. D., Reyes, P. M., y del Moral Barrera, L. E. (2007). El mercado de la carne de cerdo en canal en México. *Análisis económico*, 22(51), 273-287
- Castagnini, J. M., Betoret, N., Betoret, E., y Fito, P. (2015). Vacuum impregnation and air drying temperature effect on individual anthocyanins and antiradical capacity of blueberry juice

included into an apple matrix. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 1289-1296

- Celada, P., Sánchez-Muniz, F. J., Delgado-Pando, G., Bastida, S., Rodilla, M. E., Jiménez-Colmenero, F., y Olmedilla-Alonso, B. (2016). Effects of improved fat meat products consumption on emergent cardiovascular disease markers of male volunteers at cardiovascular risk. *Journal of Physiology and Biochemistry*, 72(4), 669-678
- Cesa, S., Carradori, S., Bellagamba, G., Locatelli, M., Casadei, M. A., Masci, A., y Paolicelli, P. (2017). Evaluation of processing effects on anthocyanin content and colour modifications of blueberry (*Vaccinium* spp.) extracts: Comparison between HPLC-DAD and CIELAB analyses. *Food Chemistry*, 232, 114-123
- Cox, K. A., Parkin, P. C., Anderson, L. N., Chen, Y., Birken, C. S., Maguire, J. L., Macarthur, C., Borkhoff, C. M., Abdullah, K., Anderson, L. N., Bayoumi, I., Birken, C. S., Borkhoff, C. M., Carsley, S., Chen, Y., Katz-Lavigne, M., Kavikondala, K., Koroshegyi, C., Kowal, C., Lee, G. J., Maguire, J. L., Mason, D., Omand, J., Parkin, P. C., Persaud, N., van den Heuvel, M., Wong, P., Zabih, W., Baker, J., Barozzino, T., Bonifacio, J., Campbell, D., Cheema, S., Chisamore, B., Danayan, K., Das, P., Derocher, M. B., Do, A., Dorey, M., Freeman, S., Fung, K., Guiang, C., Handford, C., Hatch, H., Jacobson, S., Kiran, T., Knowles, H., Kwok, B., Lakhoo, S., Lam-Antoniades, M., Lau, E., Leung, F.-H., Loo, J., Mahmoud, S., Moodie, R., Morinis, J., Naymark, S., Neelands, P., Owen, J., Peer, M., Perlmutter, M., Persaud, N., Pinto, A., Porepa, M., Ramji, N., Ramji, N., Rosenthal, A., Saunderson, J., Saxena, R., Sgro, M., Shepherd, S., Smiltnieks, B., Taylor, C., Weisdors, T., Wijayasinghe, S., Wong, P., Ying, E., Young, E., Barozzino, T., Chisamore, B., Feldman, M., Ipp, M., Abreo, K., Dalwadi, D., Malhi, T., Pugliese, A., Smith, M., y Thompson, L. (2016). Association Between Meat and Meat-Alternative Consumption and Iron Stores in Early Childhood. *Academic Pediatrics*, 16(8), 783-791
- Craig, W. J., Mangels, A. R., y American Dietetic, A. (2009). Position of the American Dietetic Association: vegetarian diets. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(7), 1266-1282
- Cruxen, C. E. d. S., Funck, G. D., Haubert, L., Dannenberg, G. d. S., Marques, J. d. L., Chaves, F. C., da Silva, W. P., y Fiorentini, Â. M. (2019). Selection of native bacterial starter culture in the production of fermented meat sausages: Application potential, safety aspects, and emerging technologies. *Food Research International*, 122, 371-382
- Chan, E. Y., y Zlatevska, N. (2019). Is meat sexy? Meat preference as a function of the sexual motivation system. *Food Quality and Preference*, 74, 78-87
- Choi, Choi, J.-H., Han, D.-J., Kim, H.-Y., Lee, M.-A., Jeong, J.-Y., Chung, H.-J., y Kim, C.-J. (2010). Effects of replacing pork back fat with vegetable oils and rice bran fiber on the quality of reduced-fat frankfurters. *Meat Science*, 84(3), 557-563
- Choi, S.-H., Cheigh, C.-I., y Chung, M.-S. (2013). Optimization of processing conditions for the sterilization of retorted short-rib patties using the response surface methodology. *Meat Science*, 94(1), 95-104
- Dayrit, F. M. (2015). The properties of lauric acid and their significance in coconut oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(1), 1-15
- de Carvalho, A. M., César, C. L. G., Fisberg, R. M., y Marchioni, D. M. (2014). Meat consumption

in Sao Paulo–Brazil: trend in the last decade. *PloS one*, 9(5), e96667

- De Smet, S., y Vossen, E. (2016). Meat: The balance between nutrition and health. A review. *Meat Science*, 120, 145-156
- DebMandal, M., y Mandal, S. (2011). Coconut (*Cocos nucifera* L.: Arecaceae): In health promotion and disease prevention. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 4(3), 241-247
- Delgado-Suárez, E., Rubio-Lozano, M., Toledo-López, V., Torrescano-Urrutia, G., Ponce-Alquicira, E., y Huerta-Leidenz, N. (2016). Quality traits of pork semimembranosus and triceps brachii muscles sourced from the United States and Mexico. *Meat Science*, 122, 125-131
- Dominguez-Hernandez, E., Salaseviciene, A., y Ertbjerg, P. (2018). Low-temperature long-time cooking of meat: Eating quality and underlying mechanisms. *Meat Science*, 143, 104-113
- Domínguez, R., Agregán, R., Gonçalves, A. A., y Lorenzo, J. M. (2016). Effect of fat replacement by olive oil on the physico-chemical properties, fatty acids, cholesterol and tocopherol content of pâté. *Grasas y Aceites*, 67(2), e133
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., y Lorenzo, J. M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8(10), 429
- Ducheix, S., Montagner, A., Polizzi, A., Lasserre, F., Régnier, M., Marmugi, A., Benhamed, F., Bertrand-Michel, J., Mselli-Lakhal, L., y Loiseau, N. (2017). Dietary oleic acid regulates hepatic lipogenesis through a liver X receptor-dependent signaling. *PloS one*, 12(7), e0181393
- Dupont, J., White, P. J., Carpenter, M. P., Schaefer, E. J., Meydani, S. N., Elson, C. E., Woods, M., y Gorbach, S. L. (1990). Food uses and health effects of corn oil. *Journal of the American College of Nutrition*, 9(5), 438-470
- FAO. (2020). Pigs and Animal Production. Retrieved from <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/pigs/production.html>
- Froyen, E., y Burns-Whitmore, B. (2020). The effects of linoleic acid consumption on lipid risk markers for cardiovascular disease in healthy individuals: a review of human intervention trials. *Nutrients*, 12(8), 2329
- Glisic, M., Boskovic, M., Baltic, M., Trbovic, D., Suvajdzic, B., y Vasilev, D. (2019). *Fat replacement and PUFA enrichment challenges in fermented sausage production*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Gök, V., y Bor, Y. (2012). Effect of olive leaf, blueberry and *Zizyphus jujuba* extracts on the quality and shelf life of meatball during storage. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10(2), 190-195
- Grantham-McGregor, S., y Ani, C. (2001). A review of studies on the effect of iron deficiency on cognitive development in children. *The Journal of nutrition*, 131(2), 649S-668S
- Grilo, E. C., Costa, P. N., Gurgel, C. S. S., Beserra, A. F. d. L., Almeida, F. N. d. S., y Dimenstein, R. (2014). Alpha-tocopherol and gamma-tocopherol concentration in vegetable oils. *Food Science and Technology*, 34, 379-385
- Hur, S.-J., Kim, D.-H., Chun, S.-C., y Lee, S.-K. (2013). Antioxidative changes of blueberry leaf

extracts in emulsion-type sausage during in vitro digestion. *Food Science of Animal Resources*, 33(6), 689-695

Jin, T. Z., Yu, Y., y Gurtler, J. B. (2017). Effects of pulsed electric field processing on microbial survival, quality change and nutritional characteristics of blueberries. *LWT Food Science and Technology*, 77, 517-524

Keenan, D. (2016). Pork meat quality, production and processing on.

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

Kouki, R., Schwab, U., Hassinen, M., Komulainen, P., Heikkilä, H., Lakka, T., y Rauramaa, R. (2011). Food consumption, nutrient intake and the risk of having metabolic syndrome: the DR's EXTRA Study. *European Journal of Clinical Nutrition*, 65(3), 368-377

Kristensen, L., Støier, S., Würtz, J., y Hinrichsen, L. (2014). Trends in meat science and technology: The future looks bright, but the journey will be long. *Meat Science*, 98(3), 322-329

Leroy, F., y Praet, I. (2015). Meat traditions. The co-evolution of humans and meat. *Appetite*, 90, 200-211

List, G. R. (2016). 2 - Oilseed Composition and Modification for Health and Nutrition. In T. A. B. Sanders (Ed.), *Functional Dietary Lipids* (pp. 23-46): Woodhead Publishing.

Lorenzo, Pateiro, M., Domínguez, R., Barba, F. J., Putnik, P., Kovačević, D. B., Shpigelman, A., Granato, D., y Franco, D. (2018). Berries extracts as natural antioxidants in meat products: A review. *Food Research International*, 106, 1095-1104

Lorenzo, Sarriés, M. V., Tateo, A., Polidori, P., Franco, D., y Lanza, M. (2014). Carcass characteristics, meat quality and nutritional value of horsemeat: A review. *Meat Science*, 96(4), 1478-1488

Lourenço, S., Gunge, V. B., Andersson, T. M. L., Andersen, C. L. E., Lund, A.-S. Q., Køster, B., y Hansen, G. L. (2018). Avoidable colorectal cancer cases in Denmark – The impact of red and processed meat. *Cancer Epidemiology*, 55, 1-7

Luo, Q., Hamid, N., Oey, I., Leong, S. Y., Kantono, K., Alfaro, A., y Lu, J. (2019). Physicochemical changes in New Zealand abalone (*Haliotis iris*) with pulsed electric field (PEF) processing and heat treatments. *LWT*, 115, 108438

Lyng, J. G., Clemente, I., y McKenna, B. M. (2019). Chapter 23 - Ohmic Pasteurization of Meat and Meat Products. In M. Kutz (Ed.), *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering (Third Edition)* (pp. 593-622): Academic Press.

Lyng, J. G., Clemente, I., y McKenna, B. M. (2019). Ohmic pasteurization of meat and meat products *Handbook of farm, dairy and food machinery engineering* (pp. 593-622): Elsevier.

Ma, Z. F., y Lee, Y. Y. (2016). Virgin coconut oil and its cardiovascular health benefits. *Natural Product Communications*, 11(8), 1934578X1601100829

Malek, L., Umberger, W. J., y Goddard, E. (2019). Committed vs. uncommitted meat eaters: Understanding willingness to change protein consumption. *Appetite*, 138, 115-126

Martín-Gómez, J., Varo, M. Á., Mérida, J., y Serratosa, M. P. (2020). Influence of drying processes

on anthocyanin profiles, total phenolic compounds and antioxidant activities of blueberry (*Vaccinium corymbosum*). *LWT*, 120, 108931

- Martínez Jasso, I., y Villezca Becerra, P. A. (2005). La alimentación en México: un estudio a partir de la encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares y de las hojas de balance alimenticio de la FAO. *Ciencia UANL*, 8(2)
- McAfee, A. J., McSorley, E. M., Cuskelly, G. J., Moss, B. W., Wallace, J. M. W., Bonham, M. P., y Fearon, A. M. (2010). Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. *Meat Science*, 84(1), 1-13
- Menegas, L. Z., Pimentel, T. C., Garcia, S., y Prudencio, S. H. (2013). Dry-fermented chicken sausage produced with inulin and corn oil: Physicochemical, microbiological, and textural characteristics and acceptability during storage. *Meat Science*, 93(3), 501-506
- Mohideen, F. W., Solval, K. M., Li, J., Zhang, J., Chouljenko, A., Chotiko, A., Prudente, A. D., Bankston, J. D., y Sathivel, S. (2015). Effect of continuous ultra-sonication on microbial counts and physico-chemical properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) juice. *LWT - Food Science and Technology*, 60(1), 563-570
- Moreau, R. A., Singh, V., Powell, M. J., y Hicks, K. B. (2009). 15 - Corn Kernel Oil and Corn Fiber Oil. In R. A. Moreau y A. Kamal-Eldin (Eds.), *Gourmet and Health-Promoting Specialty Oils* (pp. 409-431): AOCS Press.
- Muzolf-Panek, M., Waśkiewicz, A., Kowalski, R., y Konieczny, P. (2016). The effect of blueberries on the oxidative stability of pork meatloaf during chilled storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(5), 899-909
- Nie, Q., Feng, L., Hu, J., Wang, S., Chen, H., Huang, X., Nie, S., Xiong, T., y Xie, M. (2017). Effect of fermentation and sterilization on anthocyanins in blueberry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(5), 1459-1466
- NMX-F-065-1984. NMX-F-065-1984. ALIMENTOS. SALCHICHAS. ESPECIFICACIONES. NORMAS MEXICANAS. . *DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS*
- OCDE. (2019). Exámenes de mercado en México: Estudio de caso del mercado de la carne de cerdo. Retrieved from <https://www.oecd.org/daf/competition/market-examinations-mexico-pork-meat-market-web-esp.pdf>
- Olas, B. (2018). Berry phenolic antioxidants—implications for human health? *Frontiers in pharmacology*, 9, 78
- Park, P., y Goins, R. (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
- Pereira, P. M. d. C. C., y Vicente, A. F. d. R. B. (2013). Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Science*, 93(3), 586-592
- Petropoulos, G., Raptopoulou, K., Pasiadis, I., Thomaidis, N., y Proestos, C. (2018). Chemometric determination of the shelf life of opened cans using the migration of specific metals as quality indicators. *Food Chemistry*, 267, 313-318
- Poyato, C., Astiasarán, I., Barriuso, B., y Ansorena, D. (2015). A new polyunsaturated gelled emulsion as replacer of pork back-fat in burger patties: Effect on lipid composition, oxidative stability and sensory acceptability. *LWT - Food Science and Technology*, 62(2), 1069-1075

- Ranucci, D., Miraglia, D., Branciari, R., Morganti, G., Roila, R., Zhou, K., Jiang, H., y 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
- Rehman, K., Haider, K., Jabeen, K., y Akash, M. S. H. (2020). Current perspectives of oleic acid: Regulation of molecular pathways in mitochondrial and endothelial functioning against insulin resistance and diabetes. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*, *21*(4), 631-643
- Renjith, R., Chikku, A., y Rajamohan, T. (2013). Cytoprotective, antihyperglycemic and phytochemical properties of *Cocos nucifera* (L.) inflorescence. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, *6*(10), 804-810
- Rios-Mera, J. D., Saldaña, E., Patinho, I., Selani, M. M., y Contreras-Castillo, C. J. (2021). Enrichment of NaCl-reduced burger with long-chain polyunsaturated fatty acids: Effects on physicochemical, technological, nutritional, and sensory characteristics. *Meat Science*, *177*, 108497
- Roseland, J. M., Nguyen, Q. V., Douglass, L. W., Patterson, K. Y., Howe, J. C., Williams, J. R., Thompson, L. D., Brooks, J. C., Woerner, D. R., y Engle, T. E. (2018). Fatty acid, cholesterol, vitamin, and mineral content of cooked beef cuts from a national study. *Journal of Food Composition and Analysis*, *66*, 55-64
- Selani, Shirado, G. A. N., Margiotta, G. B., Saldaña, E., Spada, F. P., Piedade, S. M. S., Contreras-Castillo, C. J., y Canniatti-Brazaca, S. G. (2016). Effects of pineapple byproduct and canola oil as fat replacers on physicochemical and sensory qualities of low-fat beef burger. *Meat Science*, *112*, 69-76
- SENASICA. (2020). Meat products production at TIF establishments grew by 9.5% in 2019. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/527282/1._Meat_products_production_at_TIF_establishments_grew_by_9.5_in_2019.pdf
- Shah, M. A., Bosco, S. J. D., Mir, S. A., y Sunooj, K. V. (2017). Evaluation of shelf life of retort pouch packaged Rogan josh, a traditional meat curry of Kashmir, India. *Food packaging and shelf life*, *12*, 76-82
- Shao, L., Bi, J., Dai, R., y Li, X. (2020). Effects of fat/oil type and ethylcellulose on the gel characteristic of pork batter. *Food Research International*, *138*, 109788
- Shen, X., Sun, X., Xie, Q., Liu, H., Zhao, Y., Pan, Y., Hwang, C.-A., y Wu, V. C. H. (2014). Antimicrobial effect of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) extracts against the growth of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella Enteritidis*. *Food Control*, *35*(1), 159-165
- Silindir, M., y Özer, A. Y. (2009). Sterilization methods and the comparison of e-beam sterilization with gamma radiation sterilization. *Fabad Journal of Pharmaceutical Sciences*, *34*(1), 43
- Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., y Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. *Appetite*, *51*(3), 456-467
- Sisik, S., Kaban, G., Karaoglu, M. M., y Kaya, M. (2012). Effects of corn oil and broccoli on instrumental texture and color properties of bologna-type sausage. *International Journal of*

Food Properties, 15(5), 1161-1169

- Skrovankova, S., Sumczynski, D., Mlcek, J., Jurikova, T., y Sochor, J. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. *International journal of molecular sciences*, 16(10), 24673-24706
- Soni, A., Smith, J., Thompson, A., y Brightwell, G. (2020). Microwave-induced thermal sterilization- A review on history, technical progress, advantages and challenges as compared to the conventional methods. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 433-442
- Strijbos, C., Schluck, M., Bisschop, J., Bui, T., de Jong, I., van Leeuwen, M., von Tottleben, M., y van Breda, S. G. (2016). Consumer awareness and credibility factors of health claims on innovative meat products in a cross-sectional population study in the Netherlands. *Food Quality and Preference*, 54, 13-22
- Stuft, K., Elgin, J., Patterson, B., Matarneh, S. K., Preisser, R., Shi, H., England, E. M., Scheffler, T. L., Mills, E. W., y Gerrard, D. E. (2017). Muscle characteristics only partially explain color variations in fresh hams. *Meat Science*, 128, 88-96
- Suurs, P., y Barbut, S. (2020). Collagen use for co-extruded sausage casings – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 91-101
- Tangkham, W., y LeMieux, F. (2017). The effects of replacing pork fat with cold-pressed coconut oil on the properties of fresh sausage. *Journal of Food Research*, 6(6), 83-91
- Tesarova, S., Jezek, F., Hulankova, R., Plhal, R., Drimaj, J., Steinhäuserova, I., y Borilova, G. (2018). The individual effect of different production systems, age and sex on the chemical composition of wild boar meat. *Acta Veterinaria Brno*, 87(4), 395-402
- Tintchev, F., Bindrich, U., Toepfl, S., Strijowski, U., Heinz, V., y Knorr, D. (2013). High hydrostatic pressure/temperature modeling of frankfurter batters. *Meat Science*, 94(3), 376-387
- Traore, S., Aubry, L., Gatellier, P., Przybylski, W., Jaworska, D., Kajak-Siemaszko, K., y Santé-Lhoutellier, V. (2012). Effect of heat treatment on protein oxidation in pig meat. *Meat Science*, 91(1), 14-21
- USDA, U. (2011). USDA national nutrient database for standard reference.
- Yong, H., Tangkham, W., y LeMieux, F. (2015). The effects of replacing pork fat with coconut oil on the properties of fresh sausage. *Meat Science*, 101, 111-112
- Watanabe, F. (2007). Vitamin B12 sources and bioavailability. *Experimental biology and medicine*, 232(10), 1266-1274
- Weiss, J., Gibis, M., Schuh, V., y Salminen, H. (2010). Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. *Meat Science*, 86(1), 196-213
- Wood. (2017). Chapter 20 - Meat Composition and Nutritional Value. In F. Toldra' (Ed.), *Lawrie's Meat Science (Eighth Edition)* (pp. 635-659): Woodhead Publishing.
- Wood, Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Hughes, S. I., y Whittington, F. M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78(4), 343-358
- Wu, H., Chai, Z., Hutabarat, R. P., Zeng, Q., Niu, L., Li, D., Yu, H., y Huang, W. (2019). Blueberry

leaves from 73 different cultivars in southeastern China as nutraceutical supplements rich in antioxidants. *Food Research International*, 122, 548-560

Xu, J., Zhang, M., Cao, P., Adhikari, B., y Yang, C. (2019). Microorganisms control and quality improvement of stewed pork with carrots using ZnO nanoparticles combined with radio frequency pasteurization. *Food Bioscience*, 32, 100487

Zeng, L., Ruan, M., Liu, J., Wilde, P., Naumova, E. N., Mozaffarian, D., y Zhang, F. F. (2019). Trends in Processed Meat, Unprocessed Red Meat, Poultry, and Fish Consumption in the United States, 1999-2016. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 119(7), 1085-1098.e1012

Zhang, Guo, Q., y Ma, Y. (2012). Stability of anthocyanin in wild blueberry fruit and its degradation kinetics *Information Technology and Agricultural Engineering* (pp. 539-546): Springer.

Zhang, Wu, G., Wang, W., Yue, J., Yue, P., y Gao, X. (2019). Anthocyanin profile, color and antioxidant activity of blueberry (*Vaccinium ashei*) juice as affected by thermal pretreatment. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1035-1046

Zhang, Y., Wang, X., Liu, B., Liu, Q., Zheng, H., You, X., Sun, K., Luo, X., y Li, F. (2020). Comparative study of individual and Co-Application of biochar and wood vinegar on blueberry fruit yield and nutritional quality. *Chemosphere*, 246, 125699

Zhou, H., Zhuang, X., Zhou, C., Ding, D., Li, C., Bai, Y., y Zhou, G. (2020). Effect of fermented blueberry on the oxidative stability and volatile molecule profiles of emulsion-type sausage during refrigerated storage. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 33(5), 812