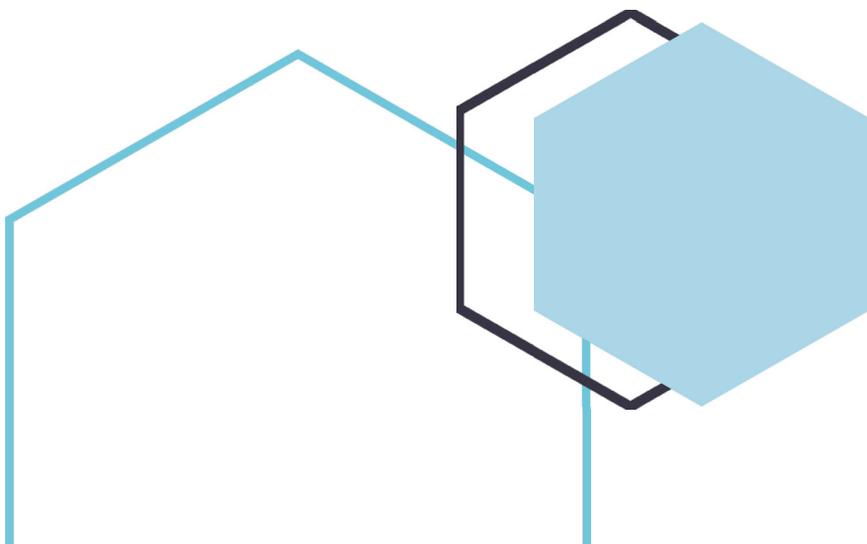




UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
PROGRAMA DE DOCTORADO EN RECURSOS Y
TECNOLOGÍAS AGRARIAS, AGROAMBIENTALES Y
ALIMENTARIAS



**CARACTERIZACIÓN Y USO DE COPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA
AVÍCOLA COMO INGREDIENTES POTENCIALMENTE FUNCIONALES EN
LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS CÁRNICOS MÁS SALUDABLES**



TESIS DOCTORAL
Presentada por
Lina Maria Peña Saldarriaga
Director
Dr. José Ángel Pérez Álvarez
Codirectora
Dra. Juana Fernández López

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN RECURSOS Y TECNOLOGÍAS AGRARIAS,
AGROAMBIENTALES Y ALIMENTARIAS



**CARACTERIZACIÓN Y USO DE COPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA
COMO INGREDIENTES POTENCIALMENTE FUNCIONALES EN LA
PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS CÁRNICOS MÁS SALUDABLES**

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

Lina Maria Peña Saldarriaga

Director:

Dr. José Ángel Pérez Álvarez

Codirectora:

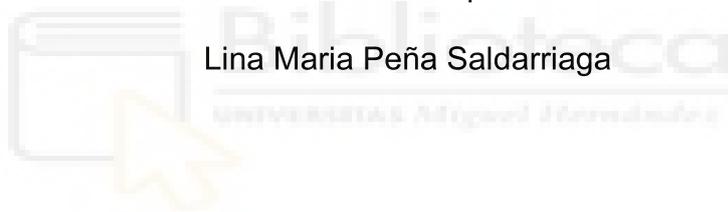
Dra. Juana Fernández López



**CARACTERIZACIÓN Y USO DE COPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA
COMO INGREDIENTES POTENCIALMENTE FUNCIONALES EN LA
PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS CÁRNICOS MÁS SALUDABLES**

Memoria realizada para optar al grado de Doctor,
Presentada por:

Lina María Peña Saldarriaga



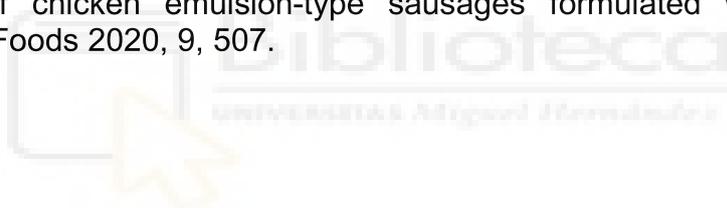
Orihuela, 2020

**CARACTERIZACIÓN Y USO DE COPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA
COMO INGREDIENTES POTENCIALMENTE FUNCIONALES EN LA
PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS CÁRNICOS MÁS SALUDABLES**

Esta Tesis se presenta como compendio de las siguientes publicaciones:

Peña-Saldarriaga, L.M., Fernández-López, J., Pérez-Alvarez, J.A. (2020). Quality of chicken fat by-products: lipid profile and colour properties. *Foods* 2020, 9, 1046.

Peña-Saldarriaga, L.M., Pérez-Alvarez, J.A., Fernández-López, J. (2020). Quality properties of chicken emulsion-type sausages formulated with chicken fatty byproducts. *Foods* 2020, 9, 507.



QUALITY OF CHICKEN FAT BY-PRODUCTS: LIPID PROFILE AND COLOUR PROPERTIES

Autores : Lina María Peña-Saldarriaga, José Angel Pérez-Alvarez, Juana Fernández-López

Revista: Foods

doi: <https://doi.org/10.3390/foods9081046>

Editorial: MDPI (Basel, Switzerland)

ISSN: 2304-815

Ambito de la publicacion: Food Science & Technology

Categoría JCR	Categoría de cuartil	Rango	Factor de impacto
Food Science and Technology	Q1	27/139	4,092

QUALITY PROPERTIES OF CHICKEN EMULSION-TYPE SAUSAGES FORMULATED WITH CHICKEN FATTY BYPRODUCTS

Autores: Lina María Peña-Saldarriaga, José Angel Pérez-Alvarez, Juana Fernández-López

Revista: Foods

doi : <https://doi.org/10.3390/foods9040507>

Editorial: MDPI (Basel, Switzerland)

ISSN: 2304-815

Ambito de la publicacion: Food Science and Technology

Categoría JCR	Categoría de cuartil	Rango	Factor de impacto
Food Science and Technology	Q1	27/139	4,092



Dña. Juana Fernández López, Dra. en Veterinaria y Catedrática de Universidad del Departamento de Tecnología Agroalimentaria, adscrita a la Escuela Politécnica Superior de Orihuela de la Universidad Miguel Hernández,

D. José Ángel Pérez Álvarez, Dr. Ingeniero Agrónomo y Catedrático de Universidad del Departamento de Tecnología Agroalimentaria, adscrito a la Escuela Politécnica Superior de Orihuela de la Universidad Miguel Hernández,

CERTIFICAN:

Que la Tesis Doctoral Titulada “**CARACTERIZACIÓN Y USO DE COPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA COMO INGREDIENTES POTENCIALMENTE FUNCIONALES EN LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS CÁRNICOS MÁS SALUDABLES**” de la que es autora la Microbióloga con énfasis en alimentos, Dña. Lina Maria Peña Saldarriaga, ha sido realizada bajo nuestra dirección y autorizamos a que sea presentada para optar a la obtención del grado de Doctor por la Universidad Miguel Hernández.

Y para que conste a los efectos oportunos se firma el presente certificado en Orihuela a veinticinco de septiembre de dos mil veinte.

**JUANA|
FERNANDEZ|
LOPEZ**

Firmado digitalmente
por JUANA|
FERNANDEZ|LOPEZ
Fecha: 2020.09.25
21:05:29 +02'00'

Fdo.: Dra. Juana Fernández López

**JOSE ANGEL|
PEREZ|
ALVAREZ**

Firmado digitalmente
por JOSE ANGEL|PEREZ|
ALVAREZ
Fecha: 2020.09.25
21:06:07 +02'00'

Fdo.: Dr. José Ángel Pérez Álvarez



Dr. Dña. Juana Fernández López, Catedrática de Universidad y Coordinadora del Programa de Doctorado en Recursos y Tecnologías Agrarias, Agroambientales y Alimentarias (ReTos-AAA) de la Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH),

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral titulada “**Caracterización y uso de coproductos de la industria avícola como ingredientes potencialmente funcionales en la producción de productos cárnicos más saludables** “ de la que es autora la microbióloga con énfasis en alimentos **Dña. Lina Maria Peña Saldarriaga**, ha sido realizada bajo la dirección del **Dr. José Ángel Pérez Álvarez** y la codirección de la **Dra. Juana Fernández López**, actuando como tutora de la misma la Dra. M^a Estrella Sayas Barberá. Considero que la Tesis es conforme, en cuanto a forma y contenido, a los requerimientos del Programa de Doctorado ReTos-AAA, siendo por tanto apta para su exposición y defensa pública.

Y para que conste a los efectos oportunos firmo el presente certificado en Orihuela a veintiseis de septiembre de dos mil veinte.

**JUANA|
FERNANDEZ
|LOPEZ**

Firmado digitalmente
por JUANA|
FERNANDEZ|LOPEZ
Fecha: 2020.09.26
12:31:12 +02'00'

Dra. Dña. Juana Fernández López

Coordinadora del Programa Doctorado ReTos-AAA

AGRADECIMIENTOS

Quiero hacer mención de todas aquellas personas que me brindaron su acompañamiento y a los esfuerzos realizados para completar este proyecto, son ellos:

Juana Fernández López y José Ángel Pérez Alvarez, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su experiencia y conocimiento científico, contar con ellos como guías y por su paciencia en todo el desarrollo de este proyecto.

Y principalmente a Dios y a mi familia: a mi madre Luz Marina Saldarriaga, a mi hermana Adriana María y a mi hijo Sebastian, quienes me apoyaron y compartieron gran parte del tiempo que les pertenecía para desarrollar este proyecto.

INDICE

ESTRUCTURA DE LA TESIS	23
RESUMEN	25
ABSTRACT	29
1. INTRODUCCIÓN	33
1.1. El sector avícola colombiano	33
1.2. Subproductos del sacrificio del pollo	35
1.3. La grasa de pollo	38
1.4. Estrategia en la cadena de valor de los alimentos funcionales y el aprovechamiento de los subproductos	42
1.5. Productos cárnicos	45
2. OBJETIVOS	49
2.1. Objetivo general	49
2.2. Objetivos técnicos específicos	49
3. MATERIALES Y MÉTODOS	51
3.1. Diseño experimental en granja	51
3.1.1. Animales y dietas	51
3.1.2. Parámetros de productividad	52
3.2. Sacrificio y toma de muestras	52
3.3. Determinación del perfil lipídico de los subproductos grasos de pollo	53
3.4. Evaluación de las propiedades colorimétricas de los subproductos grasos del pollo	54
3.5. Proceso de elaboración del salchichón de pollo	55
3.6. Composición proximal del producto cárnico	57

3.7. Evaluación de los parámetros de color del producto cárnico	57
3.8. Análisis del perfil de textura del producto cárnico	57
3.9. Análisis microbiológico del producto cárnico	58
3.10. Evaluación sensorial del producto cárnico	59
3.11. Análisis estadístico	59
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.1. Parámetros productivos de los pollos “Parrilleros”	61
4.2. Perfil lipídico de las dietas y de los subproductos grasos	61
4.3. Propiedades de color de los subproductos grasos	66
4.4. Caracterización del producto cárnico	70
4.4.1. Composición proximal	70
4.4.2. Propiedades de color	71
4.4.3. Propiedades de textura	74
4.4.4. Análisis microbiológico	74
4.4.5. Evaluación sensorial	75
5. CONCLUSIONES	77
5. CONCLUSIONS	79
6. REFERENCIAS	81
ANEXO 1. PUBLICACIONES	94

Lista de tablas

Tabla 1. Principales países latinoamericanos productores de carne de ave.	34
Tabla 2. Subproductos generados durante el sacrificio de pollo.	37
Tabla 3. Aporte de diferentes áreas de depósito de grasa al peso vivo y la grasa corporal de pollo Parrillero.	40
Tabla 4. Requisitos de composición y formulación para productos cárnicos cocidos según la Norma Técnica Colombiana.	47
Tabla 5. Formulación, contenido en nutrientes y ácidos grasos de las 9 dietas de finalización utilizadas en la alimentación de los pollos parrilleros.	53
Tabla 6. Formulación de salchichón de pollo (40SPS: 40% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos; 50SPS: 50% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos).	56
Tabla 7. Parámetros de productividad de pollos Parrilleros en las tres granjas en estudio (n=75 por granja).	61
Tabla 8. Perfil de lípidos (% de lípidos totales) de subproductos de grasa de pollo de las tres granjas en estudio.	63
Tabla 9. Perfil lipídico (%) de diferentes fuentes tradicionales de grasas utilizadas en la industria cárnica.	65
Tabla 10. Parámetros de color [luminosidad (L*), coordenada roja/verde (a*), coordenada amarilla/azul (b*), croma (C*) y tono (H*)] de los subproductos de grasa de pollo (grasa sólida y grasa fundida y re solidificada).	68
Tabla 11. Composición proximal de los salchichones de pollo con diferente nivel de sustitución (%) de piel de pollo por subproductos grasos de pollo (40SPS: 40% de sustitución de piel de pollo por	71

subproductos grasos; 50SPS: 50% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos).

Tabla 12. Parámetros de color de los salchichones de pollo control y con diferente nivel de sustitución (%) de piel de pollo por subproductos grasos de pollo (40SFB: 40% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos; 50SFB: 50% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos). 73

Tabla 13. Recuentos microbianos en salchichón de pollo. 75



Lista de Figuras

Figura 1. Subproductos de grasa de pollo:	41
A) Grasa abdominal,	
B) Grasa de molleja.	
Figura 2. Cadena de los alimentos balanceados.	43
Figura 3. Estrategia en la cadena de valor de alimentos balanceados con base en el aprovechamiento de residuos.	43
Figura 4. Espectros de reflectancia (400-700 nm) de los subproductos de grasa de pollo (grasa sólida y grasa fundida y resolidificada).	69
Figura 5. Espectros de reflectancia (360-740 nm) de salchichones de pollo [control, 40SPS (40% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos y 50SPS (50% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos)].	73
Figura 6. Evaluación sensorial de salchichones de pollo [control, 40SFB (40% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos y 50SFB (50% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos)].	76

ESTRUCTURA DE LA TESIS

Esta investigación es parte de un Proyecto de Operadora Avícola Colombia S.A.S., empresa del Grupo BIOS, compañía colombiana dedicada al procesamiento de pollo y elaboración de productos cárnicos procesados, titulado “*aprovechamiento de la grasa de pollo como ingrediente funcional en la elaboración de productos cárnicos cocidos*”, cuyo objetivo es generar una estrategia de valor en la cadena agroindustrial avícola nacional, para la aplicación de la grasa de pollo como ingrediente funcional en las formulaciones de embutidos cárnicos que permitan potencializar su consumo.

Se ha seguido una metodología basada en la publicación de artículos de investigación.

La estructura de esta Tesis consta de: una introducción en el *capítulo uno*, en la que se incluye una revisión bibliográfica de la industria avícola colombiana, la caracterización de la grasa, sus criterios nutricionales y tecnológicos y su uso en la elaboración de productos cárnicos procesados; en el *capítulo dos* se describen los objetivos (general y específicos) planteados para el desarrollo de esta tesis doctoral; se presenta un compendio de los materiales y métodos empleados en esta investigación en el *capítulo tercero*; en el *capítulo cuarto* se recogen los principales resultados obtenidos y la discusión de los mismos; en el *capítulo quinto* se presentan las conclusiones de todos los estudios que forman parte de la presente tesis; el *capítulo sexto* recopila todas las fuentes bibliográficas consultadas y por último, el *capítulo séptimo* corresponde al anexo donde se adjuntan las publicaciones y otra información relevante asociada al desarrollo de esta Tesis.

La primera publicación lleva por título “*Quality of chicken fat by-products: lipid profile and colour properties*” y ha sido publicada en la revista Foods, en donde se caracteriza la grasa abdominal, por medio de su perfil lipídico, procedente de tres granjas, que a pesar de factores asociados a sus diferentes ubicaciones geográficas y climáticas, fueron alimentadas con dietas similares, presentaron un comportamiento homogéneo, que hace viable esta aplicación por la disponibilidad del producto. Los ácidos grasos predominantes fueron los ácidos oleico, palmítico y linoleico, mostrando una mayor cantidad de ácidos grasos insaturados que los registrados para las fuentes tradicionales de grasa utilizadas para fabricar productos cárnicos.

La segunda publicación corresponde al artículo titulado “*Quality properties of chicken emulsion-type sausages formulated with chicken fatty byproducts*” publicado en la revista Foods, en donde se proponen dos fórmulas para el uso de los subproductos de pollo en salchichas tipo emulsión, reemplazando la piel de pollo, y se pudo determinar que las salchichas con subproductos grasos añadidos mostraron el cumplimiento de los requisitos nutricionales de la normativa colombiana para este tipo de productos cárnicos.

RESUMEN

Cada día los colombianos consumen más huevo y más carne de pollo, convirtiendo estas dos proteínas en la base fundamental de su dieta. Así lo demuestran las cifras de la Federación Nacional de Avicultores de Colombia, que indican que para 2019 el sector avícola tuvo un crecimiento del 4% con respecto a 2018. Para 2019 se alcanzó la cifra récord de 1.693.178 toneladas. El consumo *per cápita* de pollo fue de 36,47 kilogramos en 2019 y se espera que en 2020 esta cifra siga aumentando.

En Colombia todavía hay un gran margen de crecimiento en el consumo de pollo porque en países como Chile o Brasil el consumo *per cápita* supera los 40 kg. El consumo de carne de pollo consolida a esta proteína como la preferida entre las carnes consumidas por los colombianos. En Colombia existe una diversidad de empresas procesadoras de subproductos avícolas que realizan múltiples mezclas de los mismos para obtener un producto que satisfaga los rangos nutricionales para la elaboración de alimentos funcionales.

Los subproductos generados en los procesos de sacrificio en la industria avícola están compuestos por proteínas, grasas, carbohidratos, agua, sales, minerales, vitaminas, etc., de alto valor biológico y tecno-propiedades interesantes para la industria alimentaria en general y la industria cárnica en especial. A medida que la industria avícola en Colombia se expande, la cantidad de subproductos/coproductos generados aumenta y se hace necesario pensar en nuevos e innovadores sistemas de procesamiento de residuos que no afecten el medio ambiente, lo que resulta en el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos para manejar subproductos avícolas que preserven la calidad del agua y promover un ambiente sustentable considerando tanto el bienestar animal, la higiene y seguridad alimentaria como el ambiente social y el bienestar de la población colombiana.

Esta investigación evalúa la influencia de la dieta en el perfil lipídico de la grasa abdominal y de molleja de pollos "parrilleros" de gran consumo en Colombia. Todo ello para generar una estrategia de valor en la cadena agroindustrial avícola nacional, para la aplicación de la grasa de pollo como ingrediente funcional en formulaciones de embutidos cárnicos que permitan potenciar su consumo, logrando así la obtención de productos que aporten un alto valor nutricional. Los trabajos se realizaron de acuerdo a la normativa colombiana de bienestar animal, utilizando procedimientos industriales de sacrificio, manejo de canales y obtención de vísceras, todo ello siguiendo las normas técnicas e higiénicas estipuladas en las normativas sanitarias colombianas que regulan el sacrificio de aves.

Los análisis bromatológicos y de composición de ácidos grasos de los subproductos grasos del pollo, así como del producto elaborado, se realizaron siguiendo los lineamientos de las normas técnicas colombianas. Los parámetros fisicoquímicos de los subproductos grasos del pollo y de los embutidos se realizaron siguiendo los protocolos de normas internacionalmente aceptadas. Los análisis microbiológicos y sensoriales de los productos elaborados se realizaron siguiendo las directrices de las normas técnicas colombianas.

Para el perfil lipídico de los subproductos grasos de pollo, no se encontraron diferencias estadísticas entre granjas a pesar de los factores asociados a las diferentes ubicaciones geográficas, las aves siempre fueron alimentadas con una dieta similar.

Se elaboraron embutidos emulsionados y cocidos de pollo (típicos colombianos) en los que la materia grasa tradicional (piel de pollo) se sustituyó por los subproductos grasos del pollo a diferentes porcentajes (40 y 50%). En cuanto a la caracterización de los embutidos de pollo, no hubo diferencias significativas en los parámetros de textura (TPA) entre embutidos. Los embutidos con 50% de grasa mostraron

diferencias significativas en luminosidad (L^*), coordenada rojo/verde (a^*) y amarillo/azul (b^*) respecto a los embutidos control. Estas diferencias también se detectaron mediante análisis sensorial. Los panelistas detectaron diferencias entre ambos embutidos en otros atributos importantes como olor / olor y sabor a carne. Los embutidos con 40% de grasa mostraron diferencias de color, respecto a las salchichas control, solo para la coordenada b^* , pero estas diferencias no se apreciaron sensorialmente.

En vista de estos resultados, los subproductos de grasa de pollo podrían usarse como ingrediente graso en formulaciones de salchichas para sustituir parcial o totalmente las fuentes de grasas sólidas usadas tradicionalmente por sus concentraciones más altas de ácidos grasos saturados. Los resultados de este estudio muestran que los subproductos grasos de pollo podrían usarse como sustitutos de la piel de pollo en salchichas tipo emulsión de pollo.

El uso de subproductos obtenidos de mataderos es una ventaja competitiva de mercado para las empresas de alimentos que utilizan grasa de pollo como materia prima en las formulaciones de embutidos cárnicos, generando así un ciclo productivo sustentable que permita fortalecer cada uno de los eslabones de la cadena agroindustrial avícola en Colombia, aprovechando los residuos producidos y apostando por la producción de alimentos de alto valor nutricional, más limpios y organizados en el país.

ABSTRACT

Every day Colombians consume more eggs and more chicken meat, making these two proteins the fundamental basis of their diet. This is shown by the figures from the National Federation of Poultry Farmers of Colombia, which indicate that for 2019 the poultry sector had a growth of 4% compared to 2018. For 2019 the record figure of 1,693,178 tons was reached. Per capita chicken consumption was 36.47 kilograms in 2019 and this figure is expected to continue increasing in 2020.

In Colombia there is still a great margin of growth in chicken consumption because in countries like Chile or Brazil, per capita consumption exceeds 40 kg. The consumption of chicken meat consolidates this protein as the preferred among the meats consumed by Colombians. In Colombia there is a diversity of poultry by-product processing companies that make multiple mixtures of them to obtain a product that meets the nutritional ranges for the production of functional foods

The by-products generated in the slaughter processes in the poultry industry are composed of proteins, fats, carbohydrates, water, salts, minerals, vitamins, etc., of high biological value and interesting techno-properties for the food industry in general and industry. meat especially. As the poultry industry in Colombia expands, the amount of by-products / co-products generated increases and it is necessary to think about new and innovative waste processing systems that do not affect the environment, resulting in the development of new technologies and processes to handle poultry by-products that preserve water quality and promote a sustainable environment considering both animal welfare, hygiene and food safety as well as the social environment and well-being of the Colombian population.

This research assesses the influence of diet on the lipid profile of abdominal fat and gizzard fat in "parrilleros" chickens for mass consumption in Colombia. All this to generate a value strategy in the national poultry agroindustrial chain, for the application of chicken fat as a functional ingredient in formulations of meat sausages that allow to enhance their consumption, thus achieving the obtaining of products that provide high nutritional value. The work was carried out in accordance with Colombian animal welfare regulations, using industrial procedures for slaughter, carcass management and viscera obtaining, all following the technical and hygienic standards stipulated in the Colombian sanitary regulations that regulate the slaughter of birds.

The bromatological and fatty acid composition analyses of the fatty by-products of the chicken, as well as of the processed product, were carried out following the guidelines of the Colombian technical standards. The physico-chemical parameters of the fatty by-products of the chicken and sausages were carried out following the protocols of internationally accepted standards. Microbiological and sensory analyses of the products produced were carried out following the guidelines of the Colombian technical standards

For the lipid profile of the fatty by-products of chicken, no statistical differences were found between farms despite the factors associated with the ten different geographical locations, the birds were always fed with a similar diet

Emulsified and cooked chicken sausages (typical Colombian) were produced in which the traditional fat (chicken skin) was replaced by the fatty by-products of the chicken at different percentages (40 and 50%). Regarding the characterization of chicken sausages, there were no significant differences in texture parameters (TPA) between sausages. Sausages with 50% fat showed significant differences in lightness (L^*), red/green coordinate (a^*) and yellow/blue (b^*) with respect to control

sausages. These differences were also detected by sensory analysis. The panelists detected differences between both sausages in other important attributes such as smell / smell and taste of meat. Sausages with 40% fat showed color differences, compared to the control sausages, only for the b^* coordinate, but these differences were not detected sensorially.

In view of these results, chicken fat by-products could be used as a fatty ingredient in sausage formulations to partially or totally replace the solid fat sources traditionally used for their higher concentrations of saturated fatty acids. The results of this study show that fatty by-products from chicken could be used as substitutes for chicken skin in chicken emulsion type sausages

The use of by-products obtained from slaughterhouses is a competitive market advantage for food companies that use chicken fat as a raw material in the formulation of sausage meat products. Thus generating a sustainable productive cycle that allows to strengthen each of the links of the poultry agro-industrial chain in Colombia, taking advantage of the waste produced and betting on the production of food of high nutritional value, cleanest and most organized in the country.

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se contextualiza la investigación, a través de una detallada búsqueda bibliográfica, en su mayoría soportada en artículos científicos y de divulgación de revistas de circulación internacional. Se presentan generalidades sobre la industria avícola colombiana, los subproductos que se generan durante el sacrificio de pollos, en particular los subproductos grasos, los productos cárnicos cocidos, como son los salchichones y la legislación colombiana. Además, se explica cómo este subproducto de la industria avícola (grasa de pollo) que genera actualmente un problema de índole medioambiental podría llegar a considerarse como un ingrediente funcional en el proceso de elaboración de un producto cárnico tradicional colombiano más saludable.

1.1. El sector avícola colombiano

El sector avícola es la piedra angular en el desarrollo agrícola del país, su aporte es fundamental en la economía nacional a través de la generación de mejores condiciones de calidad para el campo, ofrecer oportunidades laborales y entregar a los colombianos dos productos como son la carne de pollo y el huevo, de excelente calidad y a precios muy accesibles. Durante 2018 la avicultura fue uno de los grandes protagonistas del crecimiento agropecuario de Colombia, el crecimiento de la producción avícola ha sido sostenido y permanente en los últimos cinco años. Eso significa que los colombianos cada vez consumen más carne de pollo y más huevo por su aporte nutritivo, su excelente calidad y bajo precio (Anónimo, 2019).

La producción y consumo de carne de aves ha aumentado considerablemente a nivel mundial, sobre todo, debido a su bajo costo y ser una de las más económicas entre las proteínas de origen animal. Colombia se encuentra en cuarto lugar en producción avícola a nivel de América Latina (Tabla 1).

Tabla 1. Principales países latinoamericanos productores de carne de ave.

No	Países	2014	2015	2016	2017	2018	2019	CAGR ¹	2018	2019	CAGR ¹	2018	2019	Crecimiento %
		Toneladas Métricas												
1	Argentina	2.110.032	2.085.007	2.119.500	2.150.612	2.175.325	2.180.459	0,8	1,1	0,2				
2	Brasil	12.946.438	13.547.202	13.523.495	13.612.352	13.550.785	13.718.244	1,1	-0,5	1,2				
3	Chile	567.004	607.182	627.455	637.697	689.988	728.627	5,0	8,2	5,6				
4	Colombia	1.413.153	1.481.388	1.538.923	1.627.569	1.678.312	1.750.667	4,4	3,1	4,3				
5	México	3.025.148	3.175.562	3.275.337	3.401.231	3.502.234	3.642.818	3,7	3,0	4,0				
6	Perú	1.317.426	1.329.855	1.405.473	1.464.548	1.581.699	1.687.989	4,7	8,0	6,7				
Sub-Total		21.379.201	22.226.196	22.490.483	22.892.009	23.178.344	23.708.806	2,0	1,2	2,3				
Resto/Región		3.642.360	3.671.691	3.323.239	3.224.241	3.235.250	3.303.254	-2,9	0,3	2,1				
Región		25.021.561	25.897.887	25.813.722	26.118.250	26.413.684	27.012.060	1,4	1,1	2,3				

¹CAGR: La tasa de crecimiento anual compuesto (*Compound Annual Growth Rate*)

Fuente: Elaborado por el Instituto Latinoamericano del Pollo para 40 países con base a datos oficiales, FAO y datos de gremiales afiliadas a Asociación Latinoamericana de Avicultura (ILP, 2019).

De acuerdo con la Federación Nacional de Avicultores (FENAVI), el consumo per cápita de pollo (kg/año) ha tenido un incremento importante pasando de 14 kg en el año 2000 a 36,47 kg en el año 2019, esta tendencia muestra la importancia de esta industria en Colombia y su constante crecimiento (FENAVI, 2020). Por otra parte, según el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF), el pollo juega un papel muy importante en la alimentación de los colombianos, ya que actualmente existe una amplia demanda por el consumo de este producto por su fuente importante de proteínas, grasas, minerales y vitaminas, además por su precio más económico respecto de la carne de bovino (Angarita, 2018).

1.2. Subproductos del sacrificio de pollo

A medida que la industria avícola en Colombia crece y se expande, la cantidad de subproductos generados aumenta y se hace necesario pensar en su valorización a través de nuevos e innovadores sistemas de procesamiento que no afecten el medio ambiente (sostenibilidad), traduciéndose en el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos más ecoeficientes con la finalidad de “manejar” los subproductos avícolas de forma que se preserve la calidad del agua y que promuevan un medio ambiente más “limpio”, sin que tenga un impacto importante sobre el suelo y considerando los aspectos de bienestar animal y sanidad humana.

Estos subproductos avícolas, generados fundamentalmente en los procesos de matanza, están formados por huesos, vísceras, grasa abdominal, de molleja, patas, cabezas, sangre y plumas. Hasta ahora, estos subproductos se han utilizado para alimentación animal y para la elaboración de alimentos para mascotas (El Boushy y Van der Poel, 1994; Barbut, 2015; Vikman et al., 2017; Felix et al., 2020) y recientemente para la producción de biocombustibles (Abid y Touzani, 2017; Riazi et al., 2020). No obstante, teniendo en cuenta que estos subproductos son ricos en proteínas, grasas, hidratos de carbono, agua, sales, minerales, vitaminas, etc. (Madrid, 1979), no sería descabellado pensar en su reincorporación a la

alimentación humana, tras un adecuado procesamiento adaptado a las características particulares de cada uno de ellos, contribuyendo al desarrollo de una industria alimentaria sostenible e incrementando el valor asociado a la producción avícola. Con todo ello, este aprovechamiento de los subproductos no sería solo un tema nutricional, sino económico y de desarrollo sostenible, prioritario, en la cadena de valor en la industria alimentaria.

Aunque en Colombia existe una diversidad de empresas procesadoras de subproductos avícolas que realizan múltiples mezclas de los mismos para obtener un producto que satisfaga los rangos nutricionales para la elaboración de alimentos balanceados (piensos), hasta ahora no hay empresas que valoricen estos subproductos para su aplicación en la mejora nutritiva de los productos cárnicos colombianos.

Como se ha comentado anteriormente, tras el sacrificio del pollo se generan una gran cantidad de subproductos, cuyo porcentaje respecto al peso del pollo vivo se recogen en la Tabla 2.

Sin embargo, esta distribución del peso que cada uno de los distintos subproductos representa sobre el peso del animal vivo (Tabla 2) puede variar dependiendo de muchos factores como sexo, edad, raza y alimentación, entre otros (Belloir et al., 2019; Okrathok y Khempaka, 2020).

Tabla 2. Subproductos generados durante el sacrificio de pollo.

Animal	Hembra	Macho	Macho	Macho	Promedio
Peso Promedio de Pollo vivo (kg)	1,910	1,933	2,204	2,691	2,448
% Sangre	3,6%	4,2%	4,1%	3,8%	3,92%
% Plumas	6,2%	4,4%	4,5%	4,6%	4,92%
% Intestinos	5,3%	5,2%	5,8%	5,0%	5,35%
% Corazón	0,5%	0,6%	0,6%	0,6%	0,57%
% Hígado	1,9%	2,2%	2,2%	1,8%	2,01%
% Molleja	1,4%	1,5%	1,3%	1,2%	1,34%
% Grasa Molleja	0,7%	0,8%	0,9%	0,8%	0,82%
% Cutícula + Desecho	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,39%
% Cabeza Completa	6,2%	6,4%	6,2%	6,0%	6,22%
% Cocorota	2,2%	2,3%	2,4%	2,2%	2,27%
% Pescuezo	4,0%	4,1%	3,9%	3,7%	3,91%
% Piel Pescuezo	2,2%	2,1%	2,0%	2,0%	2,07%
% Tráquea	0,2%	0,3%	0,1%	0,3%	0,23%
% Pescuezo Sin Piel	1,6%	1,6%	1,8%	1,4%	1,60%
% Patas	3,6%	4,2%	4,0%	4,1%	4,01%
% Pie	2,3%	2,7%	2,5%	2,6%	2,51%
% Tarso	1,4%	1,6%	1,5%	1,6%	1,50%
% Grasa abdominal	0,6%	0,6%	0,7%	0,8%	0,68%
% Canal	68,6%	67,8%	68,4%	70 %	6,7%
Total Pollo	99,0%	98,3%	99,2%	99,0%	98,87%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la empresa Operadora Avícola Colombia S.A.S (2018).

El pollo parrillero o asadero es una de las formas de consumo de ave más importante en Colombia y su consumo se ha incrementado, ya que cientos de

restaurantes se han especializado en preparaciones como pollo asado, pollo broaster y pollo frito. Los asaderos de pollo cada vez demandan más producto, siendo el principal nicho de las marcas de pollo fresco en Colombia.

El pollo asado a domicilio, es uno de los productos destacados, seguido de las comidas rápidas; este tipo de pollo se ha convertido en el plato más popular de las familias colombianas, en todas las regiones del país está presente, por sus ventajas nutritivas y su precio asequible.

Una de las plataformas más importantes de servicio a domicilio en el país, Rappi, dio a conocer cifras, de los productos más vendidos y buscados en esa plataforma durante el 2019; en el listado los productos más importantes se encuentran las hamburguesas, el bowl hecho a la medida, el pollo asado, el sushi, los helados con galleta, las malteadas, las pizzas, el pop con de pollo y las ensaladas personalizadas (Anónimo, 2020).

1.3. La grasa de pollo

La composición y el contenido lipídico de la carne de pollo presentan variaciones debidas a la genética, edad, sexo, condiciones ambientales y factores nutricionales, entre otros. Dentro de los factores nutricionales se destacan el contenido energético y la composición lipídica y proteica de la dieta (Kanakri et al., 2018; Carmona et al., 2019; Okrathok y Khempaka, 2020; Paszkiewicz et al., 2020).

Es por ello que, en las últimas décadas, una parte importante de las investigaciones relacionadas con la nutrición animal se han dirigido a mejorar el valor nutritivo de la carne y grasa, para ofrecer a los consumidores, productos de acuerdo a sus demandas y necesidades, con valor añadido y una mayor vida útil. En concreto, la

carne de animales monogástricos, especialmente la de las aves, tiene una composición lipídica rica en ácidos grasos poliinsaturados y, además, es fácilmente modificable a través de diversas estrategias nutricionales (Chiu et al., 2002; Kanakri et al., 2018; Carmona et al., 2019; Okrathok y Khempaka, 2020). Concretamente en Colombia, el Centro Colombiano de Nutrición Integral realizó un estudio para conocer el contenido de grasas presente en la carne de pollo con piel, demostrando que las grasas que se encuentra en mayor proporción son los ácidos grasos insaturados, conocidos como las más beneficiosos para el organismo, siendo los monoinsaturados los mayoritarios. Estos ácidos llegan a ser hasta cinco veces más altos que los poliinsaturados, y su distribución depende de la pieza anatómica. En orden de mayor a menor, dicha distribución seguiría el siguiente orden: alas, contramuslo, muslo y pechuga (Angarita, 2018).

Esta composición en ácidos grasos de la grasa de pollo la hace atractiva para el consumidor, cada vez más preocupado por la relación entre la dieta y la salud. Esto se ha reflejado en un cambio en los hábitos alimentarios, sobre todo en lo referente a la cantidad y composición de la grasa de la dieta, lo cual se ha visto potenciado por la pandemia del COVID-19 (Interempresas, 2020). Así, las recomendaciones dietéticas van dirigidas a reducir el consumo de grasas saturadas y paralelamente a aumentar el de grasas insaturadas, ya que los ácidos grasos insaturados han demostrado tener efectos positivos en la prevención de la aparición y desarrollo de patologías cardiovasculares y carcinogénicas (Cabezas et al, 2016; Sacks et al., 2017; Kwon et al., 2020). En este sentido, la American Heart Association de EE.UU. recomienda dietas en las que los ácidos grasos insaturados (poliinsaturados y monoinsaturados) aporten más de un 30% de la energía total de la dieta, mientras que los ácidos grasos saturados aporten, como máximo, un 10 % (Cortinas, 2004). Según estudios realizados por Cahaner et al. (1986), en donde se determinaron los principales factores que intervienen en el metabolismo de las grasas y sus implicaciones en el posterior procesamiento, se demostró la tendencia del animal

por acumular grasa que ya no utiliza en su metabolismo, que se ve reflejado en pérdidas para los productores al convertirse en un desorden alimentario.

La grasa de la canal del pollo está constituida no solo por aquella contenida en los músculos, sino también por la acumulada en intestinos, riñones, pulmones, tejido conjuntivo y otros depósitos lipídicos, como se puede observar en la Tabla 3. Esta fracción constituye el 40% de la grasa total, seguida de la grasa contenida en los 5 depósitos lipídicos diseccionados (abdominal, molleja, sartorial, cuello y mesenterio) y la piel, que representan el 20% del total de la grasa presente en el pollo (Tabla 3) (Cahaner et al., 1986).

Tabla 3. Aporte de diferentes áreas de depósito de grasa al peso vivo y la grasa corporal de pollo Parrillero

Tejido*	Aporte al peso vivo (%)	Aporte a la grasa corporal total (%)
TA abdominal	1,67	-
TA mollejas	0,52	-
TA sartorial	0,32	20
TA cuello	0,7	-
TA mesenterio	0,25	-
Hígado	2,5	2,5
Plumas	4,5	2,5
Piel	6,5	18
Huesos	20	15
Resto de carcasa	50	40

*TA. Tejido adiposo Fuente: Cahaner et al. (1986).

De todos los depósitos lipídicos diseccionados, la grasa abdominal y de molleja (Figura 1), a partir de ahora denominados subproductos grasos de pollo, son los únicos de interés industrial para su posible valorización y utilización en la elaboración de productos cárnicos, porque son de fácil extracción y con procesos

de desinfección comunes, utilizados en la industria avícola se les puede dar una calidad microbiológica apta para su uso.

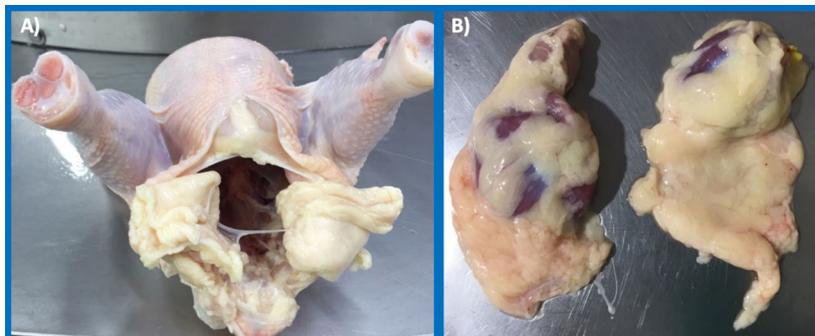


Figura 1. Subproductos de grasa de pollo: A) Grasa abdominal, B) Grasa de molleja.

La grasa abdominal es considerada el revestimiento lipídico más importante del animal, por sus implicaciones en el procesamiento industrial, su magnitud y su fácil identificación y aislamiento. Además de estas características anatómicas, la grasa abdominal está muy relacionada al resto de la grasa corporal (Austic y Pfaff, 1976; Whitehead y Griffin, 1984). Esta grasa es acumulada a partir del exceso de ingesta como reserva de energía, representando una importante cantidad de calorías (900 kcal/100g), en contraste de las 629 kcal/100g de la carne de pollo a la cual se le ha removido la grasa (Restrepo, 2001). La grasa abdominal representa entre el 2 y 2,5 % de la masa total de la canal de pollo (Buchalla, 1999). En la mayoría de los casos los pequeños productores la descartan, junto a las vísceras, plumas y sangre, generando un problema medioambiental.

Las mollejas hacen parte de las vísceras comestibles del pollo, las cuales tienden a ser desechadas, pero que antiguamente eran clave en la alimentación popular en la cocina tradicional. Esta víscera está cubierta por una capa de grasa la cual es retirada antes de abrir y procesarla para su comercialización. En Colombia, las

mollejas tiene un mercado importante y toda la producción es aprovechada para su comercialización, por lo tanto retirar y desechar la grasa es una práctica normal en las plantas de sacrificio en el país.

1.4. Estrategia en la cadena de valor de los alimentos funcionales y el aprovechamiento de los subproductos

En la cadena de los alimentos balanceados, la producción de materia prima juega un papel importante en el primer eslabón. La producción de materia prima, con base en los residuos originados desde el último eslabón, conformado principalmente por el consumo de la avicultura y la porcicultura, llega a convertirse en la estrategia de base económica y autosostenible que mantiene la cadena de valor. En la Figura 2 se describe la cadena de los alimentos balanceados en un estudio realizado por los investigadores Martínez y Mojica (2005).

La presente investigación presenta una estrategia de aprovechamiento desde los residuos generados de su último eslabón que alimenta la producción de materias primas para la elaboración de productos cárnicos. La estrategia propuesta se observa en la Figura 3.

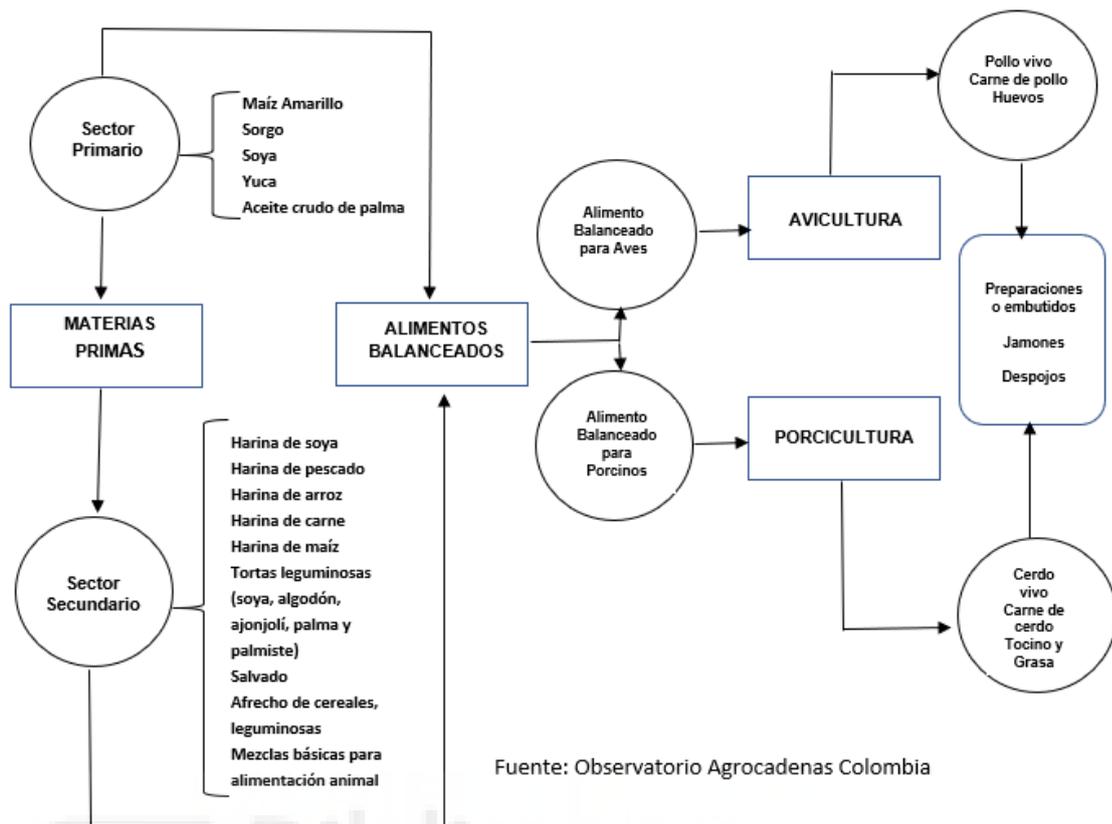


Figura 2. Cadena de los alimentos balanceados (Martínez y Mojica, 2005).

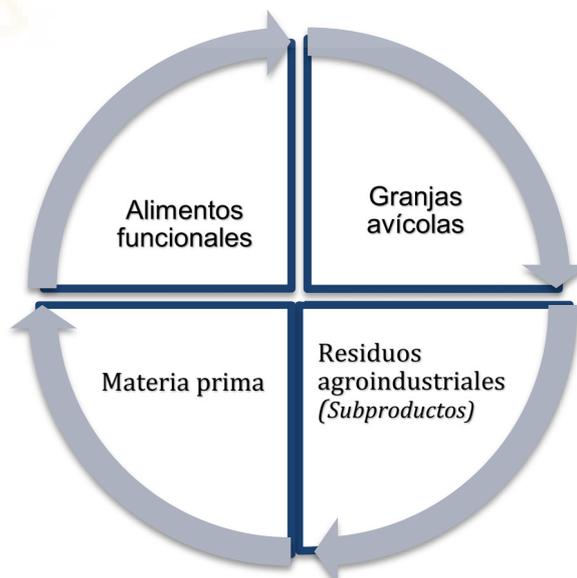


Figura 3. Estrategia en la cadena de valor de alimentos balanceados con base en el aprovechamiento de residuos.

El aprovechamiento integral de los residuos generados en las granjas avícolas se valora nutricional y ambientalmente, brindando para las industrias de alimentos un desarrollo sostenible que soporta la cadena de valor en este sector (Herrera, 2008).

La alta actividad de oleínas de la grasa abdominal del pollo sugiere que esta fracción pueda ser utilizada como aceite de frituras y también se mezcla con las grasas sólidas para aumentar su plasticidad, y debido a su alto contenido en ácido oleico puede ser utilizado como suplemento dietario de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) o en la producción de estructuras lipídicas (Lee y Foglia, 2000).

Debido a este aumento de la producción avícola, muchas industrias alimentarias han centrado su estrategia en la innovación y el desarrollo de nuevos productos cárnicos de aves de corral (Le Guerhier, 2012). Las salchichas son una de las formas más antiguas de procesamiento de carne. Las salchichas, como productos cárnicos procesados, se utilizan en diferentes y diversas culturas de todo el mundo (Savadkoohi, 2014). La salchicha ha evolucionado como un producto cárnico muy diverso. Se han desarrollado muchas variedades, influenciadas por el clima, la región y la disponibilidad de ingredientes. Sobre eso, los productos avícolas tienen un mercado creciente, no solo por sus propiedades más saludables (por la composición de la carne y la grasa, principalmente en lo que respecta a los ácidos grasos), sino también porque su consumo no está prohibido por ninguna religión.

La posible utilización por parte de la industria cárnica de los subproductos grasos del pollo como materia prima para la elaboración de productos cárnicos más saludables contribuiría a mejorar la salud y bienestar de los consumidores, el retorno económico de la empresa y a disminuir el impacto medioambiental de la industria avícola.

1.5. Productos cárnicos

Las tendencias actuales hacia el desarrollo de productos precocidos y listos para su consumo refrigerados, han convertido a los productos cárnicos embutidos como una alternativa popular para la alimentación humana.

El embutido es un producto elaborado a base de carne picada, sal, especias y otros condimentos embutidos en intestino o estuche artificial que ha tenido un aumento significativo en el consumo en todo el mundo por su conveniencia y practicidad (Savadkoochi et al., 2014). Dentro de los embutidos, la salchicha y similares son actualmente el producto cárnico más producido, debido a su bajo costo y a no requerir tecnología sofisticada (Choe et al., 2013).

En Colombia los embutidos escaldados como las salchichas tienen una variedad de producto muy típico del país llamados salchichones, los cuales tienen como característica diferencial, su diámetro de embutido el cual está entre 45 a 80 mm.

Ahora, casi todas las culturas tienen su propia versión de salchicha dependiendo no solo de los ingredientes, sino también de los métodos de procesamiento y conservación. Las salchichas son productos cárnicos emulsionados (de pasta fina), en la que la grasa se dispersa de manera más o menos uniforme en una matriz proteica continua altamente hidratada. Las propiedades deseables de este tipo de productos están determinadas en gran medida por la estabilidad de la humedad y la unión de la grasa en la matriz proteica gelificable altamente hidratada. Además, la desnaturalización moderada de las proteínas musculares durante el proceso térmico confiere una textura y un sabor finos al embutido tipo emulsión. En este tipo de embutidos, la grasa es un componente esencial porque mejora la ternura, la jugosidad y la palatabilidad general (Giese, 1996; Ospina-E et al., 2010, 2012). Tradicionalmente, en la mayoría de las salchichas de pollo, la fuente de grasa utilizada no proviene del pollo sino principalmente del cerdo (tocino y panceta) o, en algunos casos, de la carne vacuna (sebo) (Araujo et al., 2019; Glorieux et al., 2019;

Utama et al., 2019) debido principalmente a sus características tecnológicas superiores (Ospina-E et al., 2010, 2012) y también a su mayor disponibilidad. Sin embargo, la calidad nutricional de estas fuentes grasas (en cuanto a su alta composición en ácidos grasos) y también algunas exigencias religiosas son los principales inconvenientes en la actualidad. Por esta razón, la piel de pollo se utiliza como principal fuente de grasa en las salchichas de pollo.

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 1325 (Quinta actualización, 2008) los productos cárnicos procesados son aquellos elaborados a base de carne, grasa, víscera u otros subproductos comestibles de animales de abasto y sometido a procesos tecnológicos adecuados algunos pueden ser embutidos dentro de tripas naturales o artificiales. Estos productos pueden ser crudos, ahumados, curados, fermentados o sometidos a tratamiento calórico; y que generalmente, incluyen dentro de su composición aditivos y condimentos que contribuyen junto con los diversos tratamientos a la obtención de distintas variedades de productos cárnicos.

Dentro de la clasificación de la NTC citada se encuentran los productos cárnicos procesados escaldados, dentro de los cuales está el salchichón, y que comprenden las emulsiones cárnicas elaboradas con carnes, tejido graso y sazónantes; son productos embutidos que pueden ser ahumados y se escaldan a una temperatura entre 72 y 76°C con el fin de lograr su pasteurización. Este tipo de producto es categorizado dependiendo la composición principal de sus ingredientes, según se especifica en la Tabla 4.

Tabla 4. Requisitos de composición y formulación para productos cárnicos cocidos según la Norma Técnica Colombiana

Parámetro/Categoría	Premium		Seleccionada		Estándar	
	%	% máx	% mín	% máx	% mín	máx
Proteína (N x 6,25), en fracción de masa	14		12		10	
Grasa, en fracción de masa		28		28		28
Humedad más grasa, en fracción de masa		86		88		90
Almidón, en fracción de masa		3		6		10
Proteína no cárnica, en fracción de masa		3		3		6

Fuente: NTC 1325 (Quinta Actualización, 2008).

En Colombia, el salchichón de pollo es uno de los productos cárnicos más demandados, el valor de producción en términos reales del grupo de *Derivados* pasó de 1,1 billones de pesos colombianos en 2001 a 2,3 billones en 2014, con un crecimiento promedio anual de 5,4%. El eslabón con mayor participación en este grupo es el de *Embutidos* con un porcentaje promedio anual de 62,9% y una tasa de crecimiento de 5,0%. Dentro de este eslabón, la producción de salchichas tiene el mayor peso, con una participación promedio anual de 44,9% seguida del salchichón (23,8%), chorizos y longanizas (17,8%) y carnes frías preparadas embutidas (5,7%). A su vez, el eslabón de *Carnes Frías* tuvo una participación promedio de 37,1% dentro del grupo y los productos en este eslabón con mayor participación fueron el jamón cocido (34,9%), mortadela (20,9%), carnes frías preparadas no embutidas (20,8%) y carnes en conserva envasadas n.c.p. (no clasificado previamente) (10,6%) (Nieto et al., 2018).

2. OBJETIVOS

Los objetivos de esta tesis doctoral se presentan a continuación.

2.1. Objetivo general

Generar una estrategia de valor en la cadena agroindustrial avícola colombiana para la aplicación de subproductos grasos de pollo (grasa abdominal y de molleja) como ingrediente funcional en las formulaciones de embutidos, que permitan potenciar su consumo, obteniendo así productos que aporten un alto valor nutricional.

2.2. Objetivos técnicos específicos

- Determinar el efecto de las condiciones geográficas, climáticas y de la alimentación (a nivel comercial) en la composición de los subproductos grasos del pollo
- Evaluar el perfil lipídico de los subproductos grasos del pollo
- Analizar las propiedades espectrofotocolorimétricas de los subproductos grasos del pollo y el efecto del tratamiento térmico sobre las mismas
- Evaluar el valor nutricional de los subproductos grasos del pollo y compararlo con otras fuentes tradicionales de grasa utilizadas en la elaboración de productos cárnicos emulsionados y cocidos típicos colombianos
- Plantear estrategias tecnológicas para el desarrollo de un producto cárnico viable utilizando los subproductos grasos de pollo.

- Desarrollar una fórmula óptima a nivel industrial que permita el máximo porcentaje de sustitución de la materia prima grasa tradicional por los subproductos grasos del pollo, con la mínima modificación en los atributos característicos del producto.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la fórmula final implementada a nivel industrial.
- Validar la vida útil del producto al hacer uso de esta nueva materia prima.



3. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada en el desarrollo de esta investigación recoge en primer lugar todos los aspectos relacionados con la procedencia, condiciones de cría, engorde y sacrificio de los pollos. A partir de estas canales se obtuvieron los subproductos grasos (grasa abdominal y de molleja) que son la materia prima principal sobre la que versa el presente trabajo de investigación. Estos subproductos grasos se caracterizaron y se utilizaron como materia prima para el desarrollo e innovación de un producto cárnico típico colombiano con características más saludables.

3.1. Diseño experimental en granja

3.1.1. Animales y dietas

Se realizó seguimiento a Pollos Parrilleros Colombianos de un día, provenientes de tres granjas (La Nirvana, La Goleta y Villa Rita) ubicadas en diversas zonas geográficas de la región de Antioquia en Colombia (Barbosa, Yolombó y Caldas, respectivamente), caracterizadas por sus diferentes condiciones climáticas. Los pollos fueron criados en pisos de virutas de madera con alimento y agua *ad libitum*.

El número promedio de aves criadas y la densidad promedio (ave/m²) en cada granja fueron: Villa Rita, 78.432 y 12,9, respectivamente; La Nirvana, 314.200 y 13,0, respectivamente; y La Goleta 1.132.002 y 12,4, respectivamente. En todas las granjas el fotoperiodo fue de 12 h (\pm 30 min) (12L/12D). En cada granja se seleccionaron 75 aves para el experimento.

Todos los pollos fueron alimentados inicialmente con la misma dieta balanceada: una dieta “pre-iniciación” hasta alcanzar los 150 g de peso y una dieta de “iniciación” hasta 900 g (aprox. 16 días); A esto le siguió una dieta de “finalización” basada en formulaciones estándar utilizadas en diferentes períodos de engorde, hasta el sacrificio a los 45 días de edad.

Se evaluaron nueve dietas de "finalización" diferentes (Tabla 5) según la disponibilidad de materias primas y precios, práctica común para mantener los costos de acuerdo con la disponibilidad de materias primas manteniendo los niveles nutricionales requeridos.

3.1.2. Parámetros de productividad

Los parámetros de productividad de cada granja en estudio fueron: peso corporal final (FBW), ganancia diaria de peso corporal (BWG), ingesta de alimento (FI) y la tasa de conversión alimenticia (FCR). Todos ellos se monitorearon y registraron para toda la parvada (75 aves) por granja.

3.2. Sacrificio y toma de muestras

A los 45 días, trece pollos por granja, con un peso vivo cercano a la media de todo el grupo, fueron trasladados a matadero y sacrificados (aturdimiento eléctrico previo) con licencia del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos de Colombia. Una vez realizado el faenado, se separó de las canales la grasa abdominal y de molleja (subproductos grasos).

Las muestras de grasa se refrigeraron y se enviaron al laboratorio del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (Medellín, Colombia) para su análisis y caracterización.

Tabla 5. Formulación, contenido en nutrientes y ácidos grasos de las 9 dietas de finalización utilizadas en la alimentación de los pollos parrilleros.

Ingredientes (%)	Dietas de finalización								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sorgo	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Aceite de soja	2,95	2,92	3,24	3,20	4,00	4,00	4,00	4,00	3,50
Maíz amarillo	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Maíz blanco	43,68	43,79	44,45	44,30	45,00	44,95	45,03	34,84	32,84
Gluten de maíz	4,16	4,26	4,38	4,85	4,72	4,09	4,11	-	-
Trigo	-	-	-	-	-	-	-	10,00	10,00
Harina de huesos	3,18	3,00	3,06	2,87	2,89	3,23	3,19	4,50	3,45
Harina de soja	7,61	7,61	11,17	11,01	14,94	14,68	14,77	11,77	11,51
Soja entera	1,50	12,50	10,00	10,00	4,49	5,6	5,03	10,00	14,99
Harina de girasol	2,00	2,00	-	-	-	-	-	-	-
Nutrientes (% de la dieta)									
Proteína	18,56	18,51	18,54	18,57	18,58	18,70	18,59	18,46	18,45
Lípidos	8,46	8,97	8,41	8,97	8,30	8,24	8,16	8,28	8,25
Fibra	3,90	3,88	3,90	3,89	3,63	3,62	3,57	3,58	3,58
Minerales	3,32	3,37	3,26	3,26	3,26	3,20	3,22	3,34	3,33
Ácidos grasos (% grasa total)									
C14:0	0,19	0,19	0,18	0,17	0,15	0,16	0,16	0,22	0,20
C16:0	11,51	11,48	11,45	11,41	11,27	11,35	11,34	11,70	1,54
C16:1	0,86	0,84	0,91	0,89	1,04	1,05	1,05	1,06	0,90
C18:0	4,04	4,00	4,01	3,97	3,97	4,04	4,03	4,32	4,15
C18:1	24,90	24,86	24,93	24,88	24,97	25,03	25,03	24,85	24,36
C18:2	52,29	52,42	52,34	52,48	52,47	52,22	52,24	51,36	52,12
C18:3	5,62	5,62	5,57	5,57	5,43	5,46	5,45	5,81	6,09
C>19	0,59	0,59	0,63	0,62	0,71	0,70	0,70	0,69	0,64

3.3. Determinación del perfil lipídico de los subproductos grasos de pollo.

Muestras de grasa (200 g; 65% de grasa abdominal y 35% de grasa de molleja, las proporciones normales de grasa de canal) se secaron y extrajeron siguiendo el procedimiento de Soxhlet y utilizando éter dietílico como disolvente de extracción (AOAC, 2005). Los ésteres metílicos de los ácidos grasos (AGEM) se prepararon utilizando BF_3 en metanol y se almacenaron a $-80\text{ }^\circ\text{C}$ hasta su análisis cromatográfico.

Los AGEM se analizaron mediante un cromatógrafo de gases (cromatógrafo de gases GC-2014, Shimadzu, Chiyoda-ku, Tokio, Japón) equipado con un detector de ionización de llama, un inyector split/splitless, y una columna capilar de sílice fundida que contiene polietilenglicol como fase estacionaria (db-wax, 60 m × 0,25 mm, J&W Scientific, Santa Clara, CA, EE. UU). La temperatura del inyector se fijó en 230 °C. La temperatura inicial de la columna fue de 80 °C durante 2 min a una velocidad de 3 °C por minuto, se elevó a 180 °C a 30 °C por minuto y se mantuvo a esta temperatura durante 30 min. Pasado este tiempo, la temperatura se aumentó a 200 °C a una velocidad de 3 °C por minuto y permaneció a esta temperatura durante 108 min.

Los ácidos grasos se cuantificaron utilizando el éster metílico del ácido graso C11:0 como patrón interno. La identificación de los ácidos grasos se realizó comparando los tiempos de retención con los de ácidos grasos conocidos, y los resultados se expresan como porcentaje del área de cada ácido graso sobre el área total de ácidos grasos (%).

3.4. Evaluación de las propiedades colorimétricas de los subproductos grasos del pollo

Para la determinación del color se seleccionó el espacio de color CIELAB siguiendo las recomendaciones de la American Meat Science Association (AMSA, 2012). Se determinaron las siguientes coordenadas de color: luminosidad (L^*), coordenada rojo/verde (a^*) y coordenada amarillo/azul (b^*), a partir de las cuales se calcularon el croma [$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$] y el tono ($H^* = \tan^{-1} b^* / a^*$). También se obtuvieron los espectros de reflectancia entre 400 y 700 nm, en intervalos de 20 nm. Estos parámetros de color se determinaron con un espectrofotómetro SP62 X-RITE (X-RITE, Grand Rapids, MI, EEUU). Para las mediciones se seleccionaron el iluminante D₆₅, y el observador 10°, con un área de medición de 64 mm. Estas medidas de color se realizaron sobre muestras (con 9 repeticiones sobre cada una de ellas) de

subproductos de grasa de pollo en su forma sólida original y también después de calentarlos a 78 °C durante 3 min y resolidificarlos a temperatura ambiente (grasa fundida y resolidificada), simulando el tratamiento térmico aplicado durante el procesamiento de productos cárnicos cocidos.

3.5. Proceso de elaboración del salchichón de pollo

Los salchichones de pollo se prepararon en una planta de producción (Operadora Avícola, Copacabana, Antioquia, Colombia) siguiendo prácticas de producción industrial. Las formulaciones de los salchichones de pollo se muestran en la Tabla 6. Como se puede ver en esta tabla, los embutidos fueron elaborados con las siguientes materias cárnicas: pechuga de pollo (35,8%), carne de pollo mecánicamente deshuesada (15%) y grasa de pollo (piel de pollo; 22,5%). Se realizaron tres formulaciones dependiendo del porcentaje de sustitución de la piel de pollo por los subproductos grasos del pollo: control (100% piel de pollo), 40SFB (el 40% de la piel de pollo fue sustituida por los subproductos grasos del pollo) y 50SFB (el 50% de la piel del pollo se sustituyó por subproductos grasos del pollo).

La pechuga y la piel de pollo se molieron previamente en un molino JIMO JR 12 (Torrey, San Nicolas de los Garza, NL, México) con una placa con orificios de 5 mm de diámetro antes de su incorporación a una picadora cutter con capacidad de 120 kg (Cruells, Girona, España). Todos los ingredientes se fueron incorporando a la cutter siguiendo el orden y tiempos de mezcla indicados en la Tabla 6.

La temperatura de la emulsión se controló y mantuvo por debajo de 10 °C mediante el seguimiento con un sonda de temperatura digital durante el proceso. Una vez formada la emulsión se procedió al embutido de la masa cárnica en tripas artificiales (45 mm de diámetro, tripas de coextrucción ALIFLEX en poliamida y poliolefinas, Alico S.A., Medellín, Colombia) mediante una embutidora hidráulica (AK Ramón, Barcelona, España) y se fueron formando (manualmente) piezas de aprox. 500 g.

Se sometieron a un tratamiento térmico de cocción en un horno (CI Talsa, Medellín, Colombia) hasta alcanzar los 75 °C en el centro del embutido (30 min aprox.). Posteriormente se enfriaron inmediatamente en un baño de hielo y se almacenaron a 4 °C hasta su análisis. El procesamiento se repitió tres veces con cada formulación.

Tabla 6. Formulación de salchichón de pollo (40SPS: 40% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos; 50SPS: 50% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos).

INGREDIENTES	Tiempo de mezcla (min)	Control	40SPS	50SPS
		kg	kg	kg
Pechuga de pollo	10 min	43	43	43
CDM ¹ (pollo)		18	18	18
Lactato de sodio		2,3	2,3	2,3
Agua		3	3	3
Sal		0,25	0,25	0,25
Sal curante (12% nitrato de potasio)		0,2	0,2	0,2
Accord o fosfatos		0,54	0,54	0,54
Mezcla de sabor para salchichón (Friko)		1,51	1,51	1,51
Proteína aislada de soya	2 min	2,5	2,5	2,5
Ligador XT 202 (Friko)		4,8	4,8	4,8
Agua	4 min	4	4	4
Color Rojo Ponceu adicionar en el agua para diluir)		30 ml	30 ml	30 ml
Agua	4 min	4	4	4
Harina de trigo		4,5	4,5	4,5
Ascorbato de sodio		0,40	0,40	0,40
Almidón de trigo		4	4	4
Piel de pollo (molida)		27	16,2	13,5
Grasa de subproductos de pollo			10,8	13,5
TOTAL	20 min	120	120	120

CDM¹: carne mecánicamente deshuesada

3.6. Composición proximal del producto cárnico

La composición proximal del salchichón de pollo se determinó siguiendo los métodos oficiales de la AOAC (AOAC, 2005) para contenido de humedad (No. 950.46.41), cenizas (No. 920.153), proteínas (No. 928.08) y grasas (No. 991.36).

3.7. Evaluación de los parámetros de color del producto cárnico

Para las medidas de color del salchichón se siguió el mismo procedimiento descrito para los subproductos grasos del pollo (apartado 3.4). Para las medidas de color se procedió a cortar los salchichones en lonchas de aprox. 2,5 cm de espesor (sólido infinito) y las medidas se realizaron directamente en la parte interna del embutido. Para evaluar qué efecto tiene el porcentaje de sustitución de la piel de pollo sobre el color, se calcularon las diferencias de color ($\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$) con respecto a los salchichones control.

3.8. Análisis del perfil de textura del producto cárnico

Se aplicó un Análisis del Perfil de Textura (TPA) para evaluar las propiedades texturales del embutido. Las muestras se cortaron en secciones cúbicas de 25 mm (altura x longitud x grosor). Las propiedades texturales de cada muestra se midieron utilizando una sonda cilíndrica (35 mm de diámetro) unida a un analizador de textura (TA-XT2i, Stable Micro System Ltd., Surrey, Reino Unido). Se aplicaron las siguientes condiciones de ensayo: velocidad de ensayo, 4 mm/s; distancia, 10 mm (40% de compresión). Aunque del TPA se obtienen los valores de 7 parámetros, los más comúnmente discutidos en referencia a la gelificación de proteína cárnica son los siguientes: dureza [fuerza máxima en la primera compresión (N)], cohesividad [relación entre el trabajo activo realizado bajo la segunda curva fuerza-desplazamiento y el realizado bajo la primera curva de compresión], elasticidad [relación entre la muestra recuperada después de la primera compresión], gomosidad [cohesión x dureza], y masticabilidad [dureza x cohesividad x elasticidad (N)]. Los análisis se realizaron por triplicado.

3.9. Análisis microbiológico del producto cárnico

Se procedió a la evaluación microbiológica de los productos cárnicos elaborados según las directrices establecidas en la Norma Técnica Colombiana para la industria alimentaria: productos cárnicos procesados no enlatados (NTC 1325, 2008). Según esta Norma, se deben determinar los siguientes grupos microbianos: mesófilos, coliformes totales, *E. coli*, *Stafilococos* coagulasa positivo, *Salmonela* spp, *Listeria monocytogenes* y *Clostridium* sulfito reductores.

Se tomó asépticamente una muestra de 25 g de cada pieza mediante escisión con bisturí y se colocó en una bolsa estéril que contenía 225 ml de agua de peptona (PW, Oxoid Ltd., Hampshire, Inglaterra) y se procedió a su homogeneización en un Stomacher (Stomacher 400, A.J. Seward, Londres, Inglaterra) durante 2 min. Se llevaron a cabo diluciones decimales utilizando el mismo diluyente. Todos los medios microbiológicos deshidratados, excepto el agar sulfito polimixina sulfadiazina (SPS Agar) y el chromID® Coli (Coli ID) fueron de Oxoid (Basingstoke, Reino Unido), mientras que el SPS Agar procedía de Merck (Darmstadt, Alemania) y el Coli ID de Biomeriux (Lyon, Francia). Los mesófilos se determinaron usando placas de agar Plate Count incubadas a 30°C durante 72 h (ICMSF, 1983). *Salmonella*, con Brilliance™ *Salmonella* agar durante 24 h a 37 °C (ISO 6579, 2003). *Listeria monocytogenes* utilizando *Listeria* Oxford agar durante 48 h a 30 °C (ISO 11290-2, 2000). *Clostridium* sulfito reductores con agar SPS incubadas a 35°C en atmósfera anaeróbica durante 72 h (ISO 7937, 2004). Coliformes totales y *E. coli* utilizando medio cromogénico Coli ID incubados a 37 °C durante 22 h (ISO 4832, 2006). El agar Baird Parker se utilizó para la detección y enumeración de estafilococos coagulasa positivos (incubados a 35 °C durante 48 h) (ISO 6888, 2018); las cepas positivas fueron confirmadas por la prueba de coagulasa. Todos los ensayos se realizaron de acuerdo con el Manual Analítico Bacteriológico de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (Bennett y Lancette, 2001). Los recuentos microbianos se expresan como UFC/g.

3.10. Evaluación sensorial de los productos cárnicos

Para el análisis sensorial de los embutidos, se aplicaron ensayos descriptivos y cuantitativos siguiendo la norma ISO 4121 (ISO 4121, 2003). Los análisis sensoriales fueron realizados por 7 panelistas entrenados del Laboratorio de Análisis Sensorial del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (INTAL, Colombia). Cada salchichón se calentó (17 ± 2 °C), se cortó en lonchas de 10 mm de grosor (25 g aprox.), se codificó al azar y se sirvió a los panelistas. Se seleccionaron los siguientes descriptores: color, sabor, sabor típico de la carne, salado, mal gusto, sabor condimentado, dureza, masticabilidad y sensación de grasa en la boca. Se utilizó una escala de 7 puntos para evaluar los atributos con los siguientes grados de intensidad: 1 = ninguno, 2 = leve, 3 = leve-medio, 4 = medio, 5 = medio-alto, 6 = alto y 7 = intenso. Al final, se preguntó a cada panelista sobre la calidad general del producto (baja, media o alta). Los panelistas limpiaron su paladar con agua entre muestras.

3.11. Análisis estadístico

Para el cálculo de los resultados de producción se consideró la totalidad de la parvada, es decir, 75 aves en cada granja.

Para determinar el muestreo de grasa de pollo, considerando el peso vivo del pollo y la granja de origen, se usó el intervalo de confianza para una proporción -intervalo de confianza Ross Lenth's Piface-. El número de muestras a analizar para evaluar el perfil lipídico según el análisis estadístico aplicado sobre el muestreo de grasa en la planta fue de trece, para una varianza de 6,6, obtenido de la suma de los dos tipos de subproductos de grasa de pollo.

Para el análisis estadístico de los datos de los salchichones se aplicó un análisis de varianza unidireccional (One Way ANOVA) para verificar el efecto de la formulación

sobre las propiedades químicas, fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales. Se analizaron por triplicado tres muestras de cada una de las tres réplicas del experimento. La prueba de Tukey se realizó cuando el ANOVA reveló diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos.

Los datos se analizaron estadísticamente utilizando el software IBM SPSS Statistics para Windows, versión 26 (IBM Corp., Armonk, NY, EEUU).



4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Parámetros productivos de los pollos “Parrilleros”

Los resultados del rendimiento productivo de los pollos (peso corporal final, promedio diario de ganancia de peso, consumo de alimento e índice de conversión alimenticia) en las tres granjas sometidas a estudio, se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros de productividad de pollos Parrilleros en las tres granjas en estudio (n=75 por granja)

Parámetro ¹ /Granja	La Goleta	Villa Rita	La Nirvana
PCF (kg)	2,31±0,02a	2,37±0,05a	2,32±0,04a
PAD (g/día)	57,4±1,23a	57,3±1, 20a	57,8±1, 68a
CA (kg)	3,66±0,07a	3,80±0,09a	3,78±0,08a
ICA (kg/kg)	1,58±0,03a	1,59±0,05a	1,63±0,04a

n= número de aves (bloque entero); ¹Cada Valor representa la media de 3 repeticiones (25 aves por corral). PCF: peso corporal final; PAD: promedio diario de ganancia de peso corporal; CA: consumo de alimento; ICA: índice de conversión alimenticia.

Como se observa en la Tabla 7 no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P>0,05$) en función de la dieta de granja o de finalizador sobre los parámetros de productividad de los pollos, y todos los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de los parámetros productivos considerados “normales” reportados para pollos Parrilleros criados en Antioquia (Colombia) (Meza, 2012; Díez-Arias, 2018).

4.2. Perfil lipídico de las dietas y de los subproductos grasos

Es importante destacar que no hubo diferencias estadísticamente significativas ($P>0,05$) en el contenido total de grasa entre las 9 diferentes dietas de finalización utilizadas para la alimentación de los pollos (Tabla 8). Estas dietas fueron

elaboradas considerando la composición y contenido de los ingredientes utilizados en cada fórmula, de tal forma que, aunque se variase el porcentaje de los diferentes ingredientes, el valor nutricional de las dietas fuese similar. Con ello se pretende dar flexibilidad a los productores para variar el porcentaje de los ingredientes en función de su disponibilidad y precio, en vistas de reducir los costos económicos asociados a la alimentación de los pollos, sin modificar el valor nutritivo de la dieta. En todas las dietas, los ácidos grasos linoleico (52,22%), oleico (24,87%) y palmítico (11,45%) fueron identificados como los ácidos grasos predominantes (Tabla 8).

El peso de los subproductos grasos por canal de pollo fue de aproximadamente 40 g, de los cuales el 65% correspondió a grasa abdominal y 35% a grasa de molleja. El rendimiento total de extracción de lípidos obtenido en los subproductos de grasa de pollo fue del 75%.

Los perfiles de ácidos grasos (% de lípidos totales) de los subproductos de grasa de pollo de las 3 granjas estudiadas se muestran en la Tabla 8. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) entre los perfiles de ácidos grasos de los subproductos de grasa de pollo de las 3 fincas en estudio.

Los ácidos grasos predominantes en los subproductos de grasa de pollo fueron los ácidos oleicos (C18:1), palmítico (C16:0) y linoleico (C18:2) (Tabla 8), lo que concuerda con el perfil lipídico de las dietas suministradas (Tabla 5). Los subproductos de grasa de pollo mostraron un mayor contenido de grasas insaturadas (65,5%) que de grasas saturadas (30,3%), lo que también refleja los valores de las dietas (Tabla 5).

Tabla 8. Perfil de lípidos (% de lípidos totales) de subproductos de grasa de pollo de las tres granjas en estudio.

Ácidos Grasos	Nombre Común	Granjas			Coeficiente de Variación (%)
		Villa Rita	La Goleta	La Nirvana	
C14:0	Ácido mirístico	0,52	0,50	0,50	3,9
C16:0	Ácido palmítico	24,18	23,63	23,81	4,0
C16:1	Ácido palmitoleico	5,01	4,3	5,16	3,6
C18:0	Ácido esteárico	5,69	6,0	5,92	5,4
C18:1w9	Ácido oleico	36,15	3,83	35,31	6,0
C18:2w6	Ácido linoleico	22,55	2,22	23,75	0,6
C18:3w3	Ácido linolénico	1,46	1,49	1,64	1,0
Σ SFA		30,4	30,1	30,2	3,6
Σ MUFA		41,2	41,7	40,5	5,4
Σ PUFA		24,0	23,7	25,4	0,5
Σ PUFA/Σ SFA		0,8	0,8	0,8	

Como se explicó anteriormente, los depósitos de grasa de una canal de pollo provienen principalmente de la dieta, de modo que el perfil lipídico en estos tejidos refleja el perfil lipídico de la misma (Sirri et al., 2003). Las interacciones que se producen entre los nutrientes que componen la dieta y la síntesis y actividad de las enzimas lipogénicas son responsables de un amplio abanico de posibilidades en cuanto al depósito de lípidos en el tejido adiposo. Además, la actividad biológica de algunos ácidos grasos estimula o inhibe genes lipogénicos específicos que codifican estas enzimas (Jump, 2002).

Los rendimientos obtenidos para la extracción de lípidos en subproductos de grasa de pollo (75%) son notablemente más altos que los niveles reportados para piel de pollo (<30%) (de Souza et al., 1997; Feddern et al., 2010), la fuente habitual de grasa de pollo en la industria cárnica.

El hecho de que el perfil lipídico de los subproductos de grasa de pollo de las 3 granjas en estudio no mostrase diferencias estadísticamente significativas, probablemente se deba a la estabilidad del alimento utilizado en cada granja. Dado que la alimentación y las rutinas de manejo de los pollos fueron las mismas en las tres granjas, y por lo tanto la única diferencia entre ellas era su respectiva ubicación geográfica y condiciones climáticas, parece seguro concluir que ninguno de estos factores fueron lo suficientemente importantes como para modificar esta composición. Esto es muy importante porque si los subproductos de grasa de pollo se van a utilizar como ingredientes grasos en la industria cárnica, cuanto mayor sea la homogeneidad en su composición, más fácil será formular productos cárnicos.

El perfil de lípidos de los subproductos grasos se encuentra dentro del rango reportado en la literatura para la grasa de la piel de pollo (Tabla 9) (Lee y Foglia, 2000; Feddern et al., 2010), lo cual era de esperar debido a que se ha descrito que no hay diferencias en el perfil de lípidos de las diferentes partes anatómicas (piel, tejido adiposo y carne) de la canal de pollo (Sheu y Chen, 2002).

De otras fuentes de grasa animal comúnmente utilizadas en productos cárnicos (Tabla 9), los subproductos de grasa de pollo tienen la mayor cantidad de ácidos grasos insaturados (UFA 65,5%) y el sebo bovino la menor (44-50%). Cabe señalar que los subproductos de grasa de pollo analizados en este estudio contenían una mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA, aproximadamente 40% del total de UFA) que la grasa de cerdo o de res (tiene menos del 20%). Los ácidos grasos insaturados incluyen ácidos grasos esenciales que desempeñan funciones beneficiosas para la salud humana. El ácido oleico puede ayudar a disminuir la concentración circulante de colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL) en los seres humanos y se considera una grasa "saludable" (Kwon y Choi, 2001). Los valores altos de ácido oleico son deseables por su acción hipocolesterolémica y tienen la ventaja adicional de no reducir el colesterol de las lipoproteínas de alta densidad (HDL) ("colesterol bueno") y de proteger contra las enfermedades

coronarias (Ospina-E et al., 2010; Da Silva Martins et al., 2018). Los ácidos grasos esenciales incluyen las familias w3 y w6, que no son sintetizados biológicamente por los humanos, pero que son necesarios para los procesos biológicos y, por lo tanto, deben incluirse en la dieta humana (Da Silva Martins et al., 2018).

Tabla 9. Perfil lipídico (%) de diferentes fuentes tradicionales de grasas utilizadas en la industria cárnica.

Ácidos Grasos	Nombre Común	Sebo de vacuno ⁽¹⁾	Grasa de cerdo ⁽²⁾	Piel de pollo ⁽³⁾
C14:0	Ácido mirístico	1-1,5	1-1,5	-
C16:0	Ácido palmítico	24-28	24-28	20-24
C16:1	Ácido palmitoleico	2-3	2-3	5-9
C18:0	Ácido esteárico	20-24	13-14	4-6
C18:1w9	Ácido oleico	40-43	43-47	33-44
C18:2w6	Ácido linoleico	2-4	8-11	18-20
C18:3w3	Ácido linolénico	<1	<1	1-2
∑ SFA		46-55	38-43,5	25-31
∑ MUFA		42-46	45-50	38-53
∑ PUFA		2-4	8-11	19-22
∑ PUFA/∑ SFA		<0,1	0,3	0,8

SFA: ácidos grasos saturados; MUFA: ácidos grasos monoinsaturados; PUFA: ácidos grasos poliinsaturados

(1) Mottram et al. (2001); Alm (2019); (2) Mottram et al. (2001); Ospina-E et al. (2010); Alm (2019), (3) Sheu y Chen (2002); Feddern et al. (2010); Alm (2019).

De igual manera el alto consumo de ácidos grasos saturados se ha asociado con niveles elevados de colesterol sérico y LDL, ambos factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares (FAO, 2010; Liu et al., 2017). Tanto por el alto contenido en ácidos grasos insaturados como por el bajo contenido de saturados, el uso de subproductos de grasa de pollo como materia prima grasa en la industria cárnica podría ser considerado ventajoso. Sin embargo, algunos estudios sugieren

que el papel de las grasas saturadas en las enfermedades cardíacas es complejo debido a los efectos biológicos heterogéneos de los diferentes ácidos grasos saturados y la diversidad de fuentes de alimentos (Mozaffarian et al., 2010; Liu et al., 2017), por lo que no todos los ácidos grasos saturados deben considerarse hipercolesterolémicos. Estos hallazgos sugieren que la matriz específica de diferentes alimentos, incluidos otros ácidos grasos, nutrientes y bioactivos, puede modificar biológicamente el efecto de las grasas saturadas en las enfermedades cardiovasculares. Según French et al. (2002), el ácido graso más perjudicial es el ácido mirístico, que sólo representa el 1,3% en los subproductos de la grasa de pollo (Tabla 3), el 3% en el sebo bovino y el 3,5% en la grasa de cerdo (Tabla 5). Varios autores han informado que el ácido palmítico tiene un efecto hipercolesterolémico bajo y el ácido esteárico no tiene ningún efecto porque se transforma en ácido oleico en el cuerpo (Sinclair, 1993) y, por lo tanto, no influye en los niveles de colesterol en sangre.

Estos resultados sugieren que los subproductos grasos de pollo se pueden utilizar como materia prima grasa en la formulación de salchichones, por ejemplo, como un sustituto parcial o total de las fuentes tradicionales de grasas sólidas, con sus concentraciones más altas de SFA, o junto con la piel de pollo, aumentando así la cantidad de grasa que puede obtenerse de aves de corral. Además, los altos niveles de ácidos grasos insaturados en los subproductos de la grasa de pollo podrían permitir su uso como aceite para freír, así como mezclarse con otras grasas sólidas para aumentar su plasticidad.

4.3. Propiedades de color de los subproductos grasos.

Desde un punto de vista industrial la utilización de metodologías analíticas sencillas, no destructivas y de fácil aplicación para la caracterización y/o evaluación, tanto de materias primas como de producto elaborado tienen una gran aplicación. El color como principal atributo de calidad que utiliza el consumidor a la hora de seleccionar un producto cárnico y cuya determinación se ajusta a las características descritas

anteriormente, se utiliza como un criterio de valoración de la idoneidad o no de un ingrediente en el desarrollo o innovación de productos cárnicos (Pérez-Alvarez y Fernández-López, 2007; Font i Furnols y Guerrero, 2014).

Los colores característicos generalmente asociados con las grasas se deben a la presencia de sustancias liposolubles, procedentes de la alimentación, depositadas en el tejido adiposo (Irie, 2001). En el caso de los pollos, cuando se incluye maíz (rico en carotenos y xantofilas) en su dieta, los depósitos grasos adquieren un color amarillo. Otro factor que influye en el color de la grasa es la concentración de hemoglobina retenida en los capilares del tejido adiposo y también en el tejido conectivo que se incluye (Swatland, 1995). Según este autor, las células adiposas maduras o los adipocitos pueden alcanzar fácilmente un diámetro de un micrómetro y están casi llenos por una sola gota grande de triglicérido y los compuestos liposolubles responsables del color. La gota de triglicéridos que llena la mayor parte de la célula no está unida directamente por una membrana, sino que está restringida por una red citoesquelética de filamentos de 10 nm, que es más notoria en las células adiposas de las aves de corral.

Desde un punto de vista tecnológico, la grasa cumple varias funciones en el procesamiento de productos cárnicos (por ejemplo, apariencia, sabor y propiedades de textura) aunque, en el caso del color, su papel principal es el brillo de los productos cárnicos resultantes (Ospina-E et al., 2010).

Los parámetros de color de los subproductos de grasa de pollo se muestran en la Tabla 10. La grasa sólida presentó valores de luminosidad (L^*) y de la coordenada rojo/verde (a^*) más altos ($P < 0,05$) que la grasa fundida y resolidificada. Por el contrario, la coordenada amarilla/azul (b^*), el croma (C^*) y los valores de tono (H^*) fueron más altos ($P < 0,05$) cuando los subproductos de grasa de pollo se fundieron.

Tabla 10. Parámetros de color [luminosidad (L*), coordenada roja/verde (a*), coordenada amarilla/azul (b*), croma (C*) y tono (H*)] de los subproductos de grasa de pollo (grasa sólida y grasa fundida y resolidificada).

Subproductos grasos de pollo	L*	a*	b*	C*	H*
Sólida	71,52±2, 22 ^a	3,44±0,09a	24,65±1,56b	24,89±1,47b	82,06±1,25b
Fundida y re solidificada	40,26±1,03b	0,96±0,03b	65,89±1,02a	65,9±2, 4a	89,17±1, 22a

*a-b: letras diferentes indican diferencias significativas (P<0,05).

Los valores de las coordenadas de color (L*, a* y b) de los subproductos de grasa de pollo analizados se encuentran dentro del rango descrito por Sirri et al. (2010) para piel de pollo. Estos autores analizaron las coordenadas de color en la piel de diferentes partes de la canal de pollo (pechuga, muslo y pierna) y reportaron los siguientes valores: 65,8-81,7 para la luminosidad, 3,75-7,52 para la coordenada a* y 7,45-39,12 para la coordenada b*. Estos datos revelan una alta variabilidad en el color de la piel, especialmente en el caso de la coordenada b*, lo cual sugiere que además de las concentraciones de pigmentos en la alimentación, otros factores podrían estar afectando al color de la piel de las aves.

La reducción de la luminosidad y el aumento de la coordenada b* (P<0,05) que se produce en los subproductos grasos tras su fusión y resolidificación (Tabla) podría deberse a la reducción de la humedad y el consiguiente aumento de la concentración de pigmentos que contribuyen al color amarillo de la grasa (carotenos).

La Figura 4 presenta los espectros de reflectancia (400-700 nm) obtenidos para la grasa sólida y la grasa fundida y resolidificada. Como puede verse, la forma de los espectros para ambos tipos de grasa es completamente diferente. En todas las

longitudes de onda estudiadas, la grasa sólida mostró porcentajes de reflectancia más altos ($P < 0,05$) que la fundida y resolidificada. La grasa fundida y resolidificada no mostró porcentaje de reflexión entre las longitudes de onda de 400 a 480 nm (correspondiente principalmente a la parte del espectro visible en el rango de los colores violeta y azul), mientras que de 480 a 540 nm (color verde) los valores de reflectancia mostraron el mayor incremento (aproximadamente 13%), permaneciendo estos valores de reflectancia constantes para el resto de longitudes de onda analizadas (correspondientes a los colores amarillo, naranja y rojo).

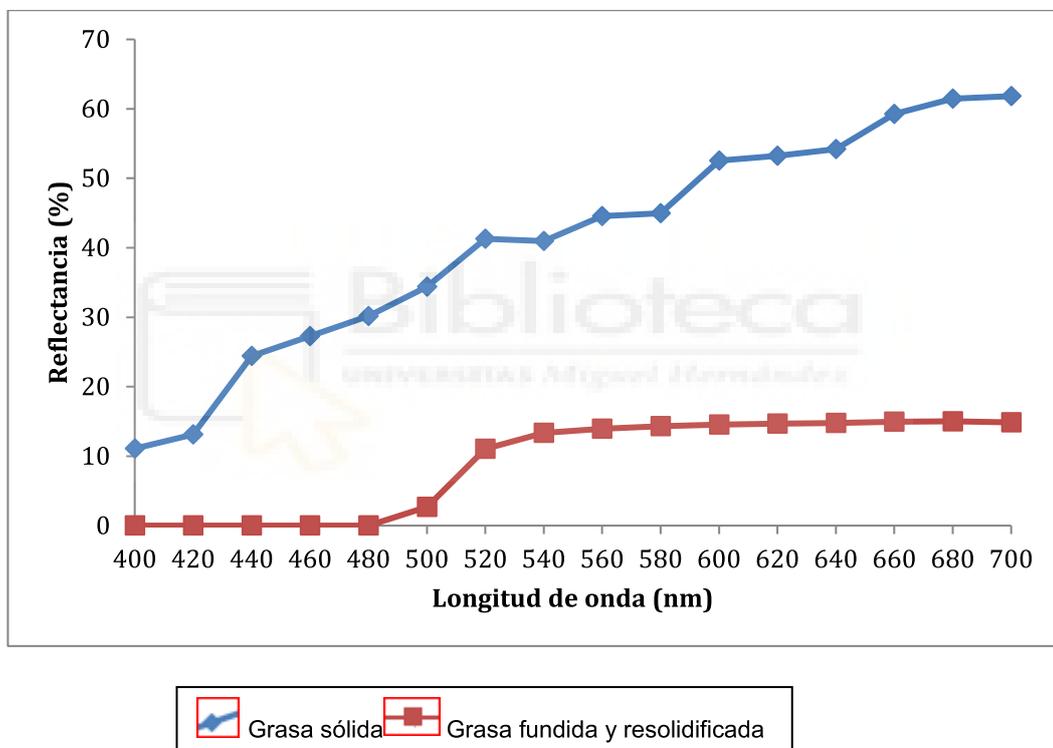


Figura 4. Espectros de reflectancia (400-700 nm) de los subproductos de grasa de pollo (grasa sólida y grasa fundida y resolidificada)

Con base en las diferencias en los espectros de reflectancia obtenidos para los subproductos de grasas sólidas, y fundidas y resolidificadas (Figura 4), parece evidente que el calor aplicado para fundir la grasa provocó cambios severos en su ultraestructura, que no se revirtieron, cuando la grasa se solidificó de nuevo.

4.4. Caracterización del producto cárnico

4.4.1. Composición proximal

En la Tabla 11 se muestra la composición proximal de los salchichones de pollo afectada por la fuente de grasa utilizada. Los salchichones con subproductos grasos añadidos (40SPS y 50SPS) mostraron menor contenido de humedad, pero mayor contenido de grasa que el control ($P < 0,5$), mientras que el contenido de proteína y cenizas no se vio afectado ($P > 0,05$) por esta sustitución. Estas diferencias están relacionadas con la diferente composición de la piel y los subproductos grasos. La piel tiene mayor contenido de humedad, pero menor contenido de grasa que los subproductos grasos (Feddern et al., 2010; Peña-Saldarriaga et al., 2019). Los salchichones de pollo con niveles de sustitución del 40 y 50% (40SPS y 50SPS) solo mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) para el contenido de grasa: a mayor porcentaje de sustitución, mayor contenido de grasa.

Esta tendencia respecto al comportamiento de la grasa y la humedad en los productos cárnicos en función de los porcentajes de grasas añadidas concuerda con lo informado por otros autores en varios productos cárnicos (Troutt et al, 1998; Biswas et al., 2007). Por esta razón, los requisitos nutricionales para los productos cárnicos cocidos en varias regulaciones oficiales se expresan como contenido mínimo de proteína, contenido máximo de grasa y contenido máximo de grasa + humedad. En este caso, todos los embutidos mostraron valores dentro de los rangos permitidos por la regulación colombiana para embutidos cocidos (proteína > 10%, grasa < 28%, grasa + humedad < 90%) (NTC 1325, 2008). Teniendo en cuenta que el perfil lipídico de la grasa de pollo presenta predominio de los ácidos grasos

insaturados (65,5%) sobre los ácidos grasos saturados (30,3%) y que se ha reportado que dicho perfil no presenta diferencias significativas entre las diferentes partes de la canal de pollo (piel, tejido adiposo y carne) (Chiu et al., 2008; Feddern et al., 2010; Carrillo-Fernández et al., 2011; Peña-Saldarriaga et al., 2019) no se esperarían diferencias en el perfil lipídico de estos salchichones.

Tabla 11. Composición proximal de los salchichones de pollo con diferente nivel de sustitución (%) de piel de pollo por subproductos grasos de pollo (40SPS: 40% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos; 50SPS: 50% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos)

	Humedad (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Cenizas (%)
Control	62,17a	10,14c	13,04a	3,42a
40SPS	61,63b	13,08b	12,54a	3,52a
50SPF	61,40b	14,67a	12,43a	3,42a

a-b: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

4.4.2. Propiedades de color

El color se considera el primer criterio de calidad cualitativo en los productos cárnicos y desempeña un papel clave en la percepción del consumidor y la aceptabilidad del producto (Kamani et al., 2017). Los parámetros de color de los salchichones se muestran en la Tabla 12. El croma (C^*) fue el único parámetro de color que no se vio afectado ($P > 0,05$) por la sustitución de la piel de pollo por subproductos grasos en las concentraciones estudiadas, indicando que la saturación del color de todos los salchichones fue similar. Las mayores diferencias en los parámetros de color (con respecto al control) se observaron en los embutidos con un 50% de sustitución. Estos salchichones fueron más luminosos, con menor componente rojo del color y mayor componente amarillo y tono que el control ($P < 0,05$). Por el contrario, cuando se agregaron subproductos grasos con un 40%

de sustitución, solo los valores de la coordenada b^* y el tono se vieron afectados significativamente ($P < 0,05$). Las modificaciones en la luminosidad y en las coordenadas a^* y b^* en los productos cárnicos se han relacionado con el contenido de grasa; cuanto mayor es la cantidad de grasa, menor enrojecimiento (a^*), pero mayores son los valores de L^* y de la coordenada b^* . Un comportamiento similar ha sido descrito por Hughes et al. (1997), quien observó que la reducción del contenido de grasa daba como resultado una disminución tanto de la luminosidad como de la coordenada b^* , y un aumento de los valores de la coordenada a^* de las salchichas tipo Frankfurt. Este mismo patrón ha sido descrito por otros autores en varios productos cárnicos picados y emulsionados (Jiménez-Colmenero et al., 2006; Choe et al., 2013, 2019).

Analizando los espectros de reflectancia (Figura 5) de los embutidos, también se puede observar que los embutidos con un 50% de sustitución presentaron porcentajes de reflectancia menores ($P < 0,05$), para todas las longitudes de onda, que los embutidos control y con un 40% de sustitución (sin diferencias significativas entre ellos). A pesar de estos cambios, se podría decir que los tres espectros mantuvieron la forma típica atribuida al espectro de reflectancia de la carne y productos cárnicos, sin verse afectados por el nivel de sustitución de la piel del pollo. Debe tenerse en cuenta que esta forma típica del espectro de reflectancia de la carne está determinada por su pigmento principal (mioglobina) y por las cantidades relativas de sus tres formas, es decir, desoximioglobina, metamioglobina y oximioglobina y sus interconversiones y degradaciones por oxigenación, reacciones de oxidación y reducción, y la reacción de curado. Todas ellas en última instancia son las responsables de la apariencia del color del producto cárnico (AMSA, 2012). El menor porcentaje de reflectancia que presentaron los salchichones con un 50% de sustitución estaría relacionado con el mayor aporte de pigmentos que proporciona este mayor porcentaje de subproductos grasos.

Tabla 12. Parámetros de color de los salchichones de pollo control y con diferente nivel de sustitución (%) de piel de pollo por subproductos grasos de pollo (40SFB: 40% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos; 50SFB: 50% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos).

SAMPLE	L*	a*	b*	C*	H*	ΔE^*
CONTROL	66,41±0,21b	13,33±0,09a	18,76±0,15b	23,00±0, 15a	54,60±0,20b	
40SFB	67,62±0,25b	13,42±0, 11a	19,70±0, 20a	23,82±0, 23a	56,73±0, 25a	2,2
50SFB	69,42±0, 6a	12,51±0,12b	19,93±0, 17a	23,53±0, 19a	57,87±0, 15a	3,3

a-b: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (P<0,05).

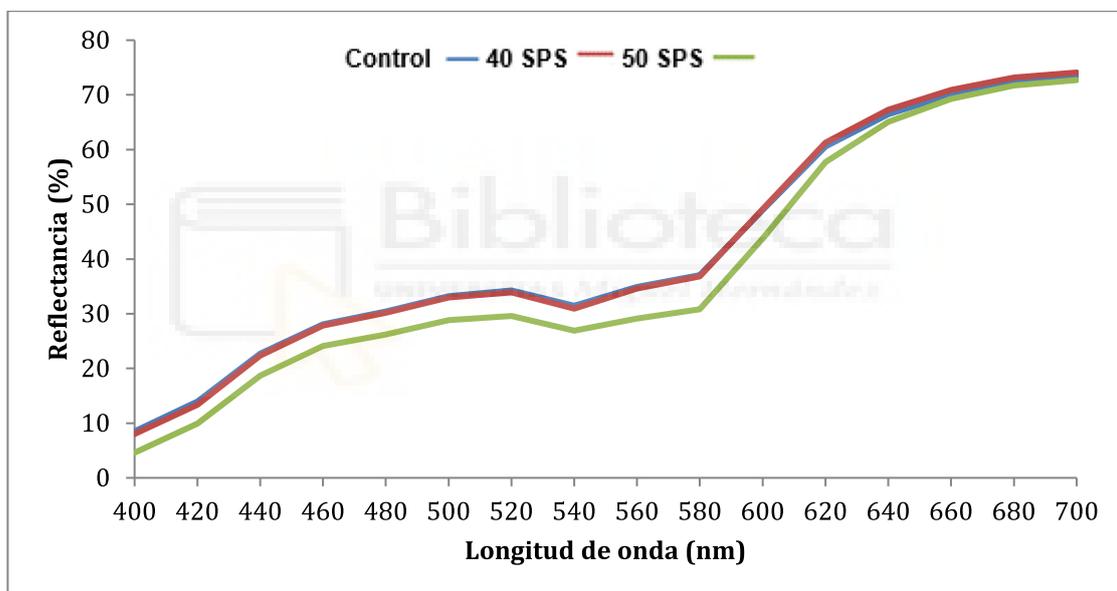


Figura 5. Espectros de reflectancia (360-740 nm) de salchichones de pollo [control, 40SPS (40% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos y 50SPS (50% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos)].

4.4.3. Propiedades de textura

Las propiedades de textura de los salchichones (dureza, cohesión, gomosidad, elasticidad y masticabilidad) no se vieron afectadas ($P>0,05$) por el reemplazo de la piel de pollo por subproductos grasos en ningún nivel. Los valores promedio de los parámetros de TPA obtenidos para los salchichones de pollo fueron: Dureza: $497,4\pm 92,9$ N; elasticidad: $0,75\pm 0,11$ mm; cohesividad: $0,18\pm 0,09$; gomosidad: $89,5\pm 9,7$ N; y masticabilidad: $53,9\pm 6,50$ N mm. Se han reportado varias modificaciones en las propiedades de textura en productos cárnicos cocidos con respecto a modificaciones de formulación en referencia no solo al tipo de ingrediente sino también a la concentración (Herrero et al., 2007; Choe et al., 2013, 2019; Kamani et al., 2019). La textura de los productos cárnicos picados, emulsionados y cocidos se ha relacionado con la capacidad de las proteínas cárnicas para unirse al agua, la grasa y crear una emulsión de matriz proteica, así como, con su estabilidad durante el procesamiento (adición de sal, aglutinantes no cárnicos, tratamiento térmico, etc.) afectando sus propiedades emulsionantes y gelificantes. El agua y la grasa pueden interactuar con otros ingredientes para desarrollar una textura y una sensación en boca deseables y ayudar con una importancia vital para la calidad general del producto. En este caso, la sustitución parcial de la piel de pollo por subproductos de grasa de pollo no modificó la textura del salchichón, lo que podría atribuirse a la alta estabilidad de la matriz proteica que es capaz de unir agua y grasa independientemente de la fuente de grasa utilizada. Estos resultados podrían indicar la viabilidad del reemplazo de la piel de pollo (hasta un 50%) por subproductos grasos en los salchichones.

4.4.4. Análisis microbiológico

La sustitución de la piel de pollo por subproductos de grasa de pollo (en cualquier nivel) no tuvo influencia ($P>0,05$) en la calidad microbiológica de los salchichones de pollo. La Tabla 13 muestra los recuentos microbianos de los salchichones de pollo (como valores promedio para los tres tipos de salchichón de pollo). Todos

estos valores están dentro de los límites de aceptabilidad establecidos por la legislación colombiana (NTC 1325, 2008).

Tabla 13. Recuentos microbianos en salchichón de pollo

Microrganismos	Resultados (CFU/g)
Mesófilos	1160 ± 174
Coliformes totales	< 10
<i>E. coli</i>	< 10
Estafilococos coagulasa positivo	< 100
Salmonella	Ausencia/25 g
<i>Listeria monocytogenes</i>	Ausencia/25 g
Esporas de Clostridium sulfito reductoras	< 10

4.4.5 Evaluación sensorial

Los resultados de la evaluación sensorial se muestran en la Figura 6. No se observaron cambios significativos ($P > 0,05$) en las puntuaciones de todos los atributos evaluados entre el control y los salchichones de pollo de sustitución al 40%. No se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) en términos de sensación grasa en boca, masticabilidad, dureza, sabor desagradable, salado y condimentado entre todos los grupos. Sin embargo, los salchichones de sustitución al 50% mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) en términos de color, sabor y sabor a carne. Estos 3 atributos fueron peor puntuados por los panelistas en el producto con sustitución al 50%. Los resultados obtenidos para la evaluación sensorial de textura (masticabilidad y dureza) están de acuerdo con la medida de textura instrumental, ya que en ningún caso se detectaron diferencias de textura entre salchichones de pollo.

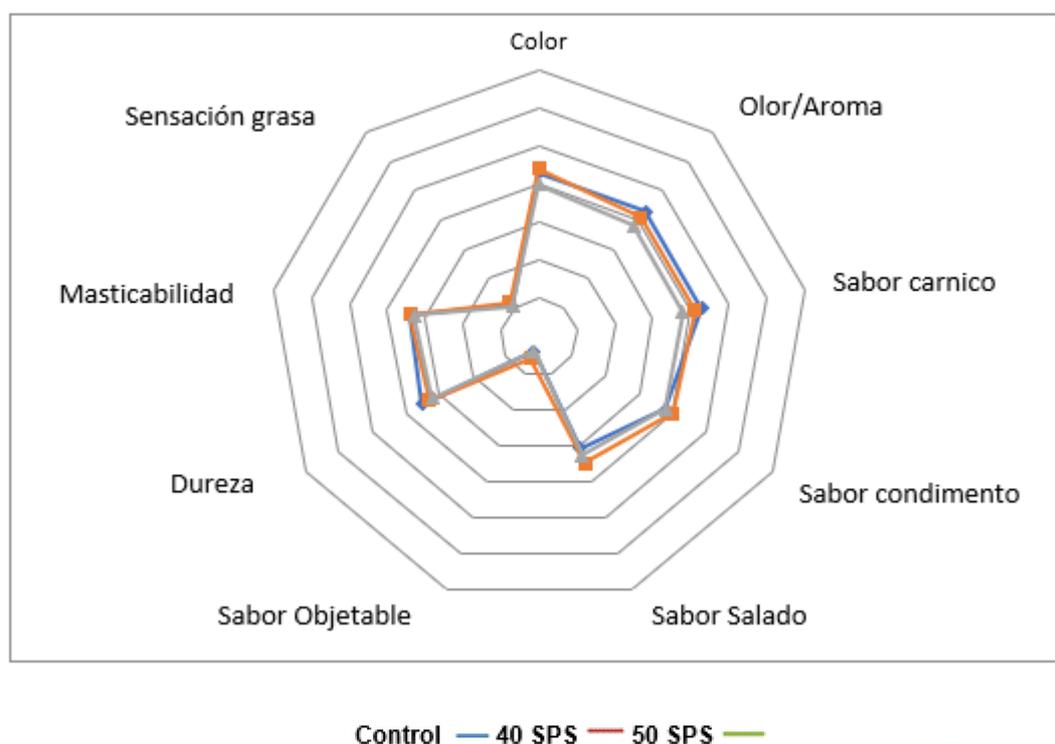


Figura 6. Evaluación sensorial de salchichones de pollo [control, 40SFB (40% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos y 50SFB (50% de sustitución de piel de pollo por subproductos grasos)].

La medida objetiva del color de los salchichones también está de acuerdo con los resultados sensoriales. Si bien en los salchichones 40SFB la medida de color objetiva mostró diferencias significativas con las muestras control para los valores de la coordenada b^* y del tono, las diferencias de color (ΔE^*) con respecto al control fueron inferiores a 3 unidades (Tabla 12) que está por debajo del nivel que podría ser detectado por el ojo humano (Martínez et al., 2001) y, por tanto, estas diferencias no pudieron ser detectadas en el análisis sensorial. Por el contrario, los salchichones 50SFB mostraron mayores diferencias de color (3,3; Tabla 12) contribuyendo a ser percibidas como diferentes por los panelistas.

5. CONCLUSIONES

El perfil lipídico de los subproductos de grasa de pollo de las tres granjas analizadas fue similar (con bajos coeficientes de variación), a pesar de los factores asociados con sus diferentes ubicaciones geográficas (siempre que las aves fueran alimentadas con una dieta similar), lo cual es un hallazgo muy importante para su potencial aplicación como fuente de grasa en la formulación de productos cárnicos.

Los ácidos grasos predominantes en los subproductos de grasa de pollo son los ácidos oleico, palmítico y linoleico, mostrando una mayor cantidad de ácidos grasos insaturados que la registrada para las fuentes de grasas tradicionales utilizadas para elaborar productos cárnicos.

En cuanto a las propiedades de color, los subproductos de grasa de pollo presentan valores de las coordenadas de color similares a los de la piel de pollo, que es la fuente de grasa habitual en la industria cárnica para la elaboración de productos cárnicos emulsionados de pollo. Sin embargo, la fusión y la resolidificación causan cambios severos en el espectro de reflectancia, lo cual podría limitar el porcentaje de reemplazo a utilizar en el desarrollo de un salchichón de pollo en vista a su aceptación por parte del consumidor.

Tecnológicamente, los subproductos grasos de pollo pueden ser utilizados como materia prima grasa alternativa a la piel de pollo (hasta un 50%) en la elaboración de salchichones emulsionados y cocidos de pollo, contribuyendo a disminuir el impacto medioambiental de la industria avícola, valorizando un recurso infrutilizado y con importantes propiedades nutritivas. Todas las formulaciones analizadas cumplen con los requisitos nutricionales establecidos en la normativa colombiana para este tipo de productos cárnicos.

Cuando estos subproductos grasos se utilizaron a un nivel de sustitución del 50%, se observaron diferencias en las propiedades de color (pero sin afectar la forma típica del espectro de reflectancia en este tipo de producto cárnico) con respecto al control y también se observaron diferencias sensoriales en el color, y sabor del producto respecto del control. Sin embargo, cuando el nivel de sustitución se redujo al 40%, no se detectaron diferencias sensoriales con respecto a los salchichones control. Teniendo en cuenta que uno de los objetivos de la innovación en la industria de alimentos es que la incorporación de cualquier nuevo ingrediente, al menos no modifique o mejore la calidad del producto original, este estudio sugiere que los salchichones de pollo con un 40% de sustitución de la piel de pollo por los subproductos grasos de pollo sería la opción más factible para su industrialización y futura comercialización.



5. CONCLUSIONS

The lipid profile of the chicken fat by-products of the three farms analyzed was similar (with low variation coefficients), despite the factors associated with their different geographical locations (provided that the chickens were fed with a similar diet), which is a very important finding for its potential application as a valued-added source of healthy fat in the formulation of meat products

The main fatty acids in chicken fat by-products are oleic, palmitic and linoleic acids, showing a higher amount of unsaturated fatty acids than that are described for traditional fat sources used to produce meat products.

In terms of colour properties, chicken fat by-products have colour coordinate values similar to those from chicken skin, which is the usual source of fat in the meat industry for the elaboration of emulsified chicken meat products. However, fusion and resolidification cause severe changes in the reflectance spectrum, which could limit the replacement percentage to be used in the chicken sausage development and its acceptance by the consumers.

Technologically, the chicken fatty by-products of can be used as an alternative to chicken skin (up to 50%) as fat source in the elaboration process of emulsified and cooked chicken sausages. This by-products valorization can contribute to reduce the environmental impact by exploiting underutilized resources with important nutritional properties. All the formulations analyzed meet the nutritional requirements established in the Colombian regulations for this type of meat products.

When these fatty by-products were used at a 50% substitution level, differences in colour properties were observed (but without affecting the typical shape of the

reflectance spectrum in this type of meat product) with respect to the control and also sensory differences in colour and taste of the product were observed with respect to the control. However, when the level of substitution was reduced to 40%, no sensory differences were detected with respect to the control sausages. Taking into account that one of the objectives of innovation in the food industry is that the incorporation of any new ingredient, at least does not change or improve the quality of the original product, This study suggests that chicken sausage with 40% replacement of chicken skin by the fatty by-products of chicken would be the most feasible option for industrialization and future commercialization.



6. REFERENCIAS

A

Abid, M.; Touzani, M. First step of waste chicken skin valorization by production of biodiesel in Morocco. J. Mater. Environm. Sci. 2017, 8, 2372-2380.

Alm, M. Edible oil processing. AOCS Lipid Library. The American Oil Chemists' Society, Illinois (USA), 2019

AMSA, Meat color measurement guidelines. American Meat Science Association, Illinois, 2012

Angarita, C.L. Las grasas de pollo no contribuyen a la enfermedad cardiovascular mito o realidad, AFV Revista Científica Fenavi, 2018. Disponible en: <https://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/02/Revista-cientifica-Pollo.pdf>.

Consultada en Mayo 2020

Anónimo. Sector avícola creció 4.8% en 2018. Sectorial, análisis, monitoreo y evaluación de sectores. 16/1/2019. 2019. Disponible en: <https://www.sectorial.co/informativa-avicola/item/205588-sector-av%C3%ADcola-creci%C3%B3-4-8-en-2018>. Consultado en Septiembre 2020.

Anónimo. El usuario que hizo más de mil pedidos y otros datos curiosos de Rappi en el 2019. Dinero. Consumo 1/4/2020. 2020. Disponible en : <https://www.dinero.com/empresas/articulo/cifras-curiosas-de-rappi-en-el-2019/280602>. Consultado en Septiembre 2020.

AOAC. Official methods of analysis of AOAC International (18th ed.). Association of Official Analytical Chemistry, Maryland, USA. 2005

Araujo, I.B.S.; Lima, D.A.S.; Pereira, S.F.; Madruga, M.S. Quality of low-fat chicken sausages with added chicken feet collagen. *Poult. Sci.* 2019, 98, 1064–1074.

B

Barbut, S. Waste treatment and by-products. In: *The science of poultry and meat processing*. University of Guelph, Guelph, Ontario. 2015. Pp 18(1)-18(27).

Barbut, S. *Poultry products processing: An industry guide* (1st ed.). Boca Raton, FL, USA: CRC Press. 2001.

Barriga, M.G La importancia de la carne de pollo en la alimentación saludable.

Belloir, P.; Lessire, M.; Lamberrt, W.; Corrent, E.; Berri, C.; Tesseraud, S. Changes in body composition and meat quality in response to dietary amino acid provision in finishing broilers. *Animal*. 2019. 13, 1094-1102.

Bennett, R.W.; Lancette, G.A. *Staphylococcus aureus*. In *Bacteriological Analytical Manual*, 8th ed.; Food and Drug Administration: Silver Spring, MD, USA, 2001.

Biswas, S.; Chakraborty, A.; Sarkar, S.; Barpuzari, R.N.; Barpuzari, T. Efect of incorporation of chicken fat and skin on the quality of chicken sausages. *J. Poult. Sci.* 2007, 44, 111–115.

Buchalla, L. 1999. Frango Sertanejo Ltda. Guapiaçu-SP.

C

Cahaner, A.; Nitsan, Z.; Nir, I. Weight and fat content of adipose and nonadipose tissues in broilers selected for or against abdominal adipose tissue. *Poult. Sci.* 1986, 65, 215-222.

Carmona, J.M.; Lopez-Bote, C.J.; Daza, A.; Rey, A.I. Fat accumulation, fatty acids and melting point changes in broiler chick abdominal fat as affected by time of dietary fat feeding and slaughter age. *Brit. Poult. Sci.* 2019. 60, 219-228

Carrillo-Fernández, L.; Dalmau-Serra, J.; Martínez-Alvarez, R.; Solá-Alberich, R.; Pérez-Jiménez, F. Dietary fats and cardiovascular health. *Clin. Investig. Arterioscler.* 2011, 23, 1–36.

Chiu, M.C.; Gioielli, L.A.; Sotero-Solis, V. Fraccionamiento de la grasa abdominal de pollo. *Grasas y aceites*, 2002, 53, 298-303

Chiu, M.C.; Gioielli, L.A.; Grimaldi, R. Structured lipids from chicken fat, its stearin and medium chain triacylglycerol blends. I-Fatty acid and triacylglycerol compositions. *Quimica Nova*, 2008, 31, 232-237.

Choe, J.H.; Kim, H.Y.; Lee, J.M.; Kim, Y.J.; Kim, C.J. Quality of frankfurter-type sausages with added pig skin and wheat fiber mixture as fat replacers. *Meat Sci.* 2013, 93, 849–854.

Choe, J.H.; Kim, H.Y. Quality characteristics of reduced fat emulsion-type chicken sausages using chicken skin and wheat fiber mixture as fat replacer. *Poult. Sci.* 2019, 98, 2662–2669

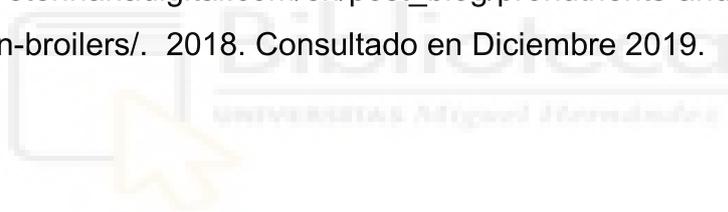
D

Da Silva Martins, T.; Antunes de Lemos, M.V.; Freitas Mueller, L.; Baldi, F.; Rodrigues de Amorim, T.; Matias Ferrinho, A.; Muñoz, J.A.; de Souza Fuzikawa, I.H.; Vespe de Moura, G.; Gemelli, J.L.; Cravo Pereira, A.S. Fat deposition, fatty acid composition, and its relationship with meat quality and Human Health. In: Meat Science and Nutrition. M Sajid Arshad (Ed.) Intech Open Ltd, London, UK, 2018. Pp. 17-37.

De Souza, S.A.B.; Matsushita, M.; de Souza, N.E. Protein, lipids and cholesterol in roasted chicken. *Revista Unima* 1997, 19, 1069-1073.

Díez-Arias, D. Pronutrients and productive parameters in broilers. *Veterinaria Digital* 12/09/2018. Disponible en:

https://www.veterinariadigital.com/en/post_blog/pronutrients-and-productive-parameters-in-broilers/. 2018. Consultado en Diciembre 2019.



E

El Boushy, A.R.Y.; Van der Poel, A.F.B. Poultry feed from waste. Springer, Boston, USA, 1994.

F

FAO. Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. *FAO Food & Nutrition Paper* 2010, 91, 1–166.

Feddern, V.; Kupski, L.; Cipolatti, E.P.; Giacobbo, G.; Mendes, G.L.; Badiale-Furlong, E.; de Souza-Soares, L.A. Physico-chemical composition, fractionated

glycerides and fatty acid profile of chicken skin fat. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2010, 112, 1277-1284.

Felix ,N.; Prabu, E.; Upadhya ,Y. Effective utilisation of poultry byproduct meal as an ingredient in the diet of genetically improved farmed tilapia (GIFT), cultured in reservoir cages in Tamil Nadu, South India. *Ind. J. Fish.* 2020. 67, 90-97

FENAVI. Consumo per capita mundial de carne de pollo. Federación Nacional de Avicultores de Colombia. Disponible en: <https://fenavi.org/estadisticas/consumo-per-capita-mundo-pollo/>. 2019. Consultado en Febrero 2020.

Font I Furnols, M.; Guerrero, L. Published consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: an overview. *Meat Sci.* 2014, 98, 361-371.

French, M.A.; Sundram, K.; Clandinin, M.T. Cholesterolaemic effect of palmitic acid in relation to other dietary fatty acids. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 2002, 11, 401-407.

G

Giese, J. Fats, oils, and fat replacers. *Food Technol.* 1996, 50, 48–83.

Glorieux, S.; Steen, L.; Van de Walle, D.; Dewettinck, K.; Foubert, I.; Fraeye, I. Effect of meat type, animal fat type, and cooking temperature on microstructural and macroscopic properties of cooked sausages. *Food Bioprocess Tech.* 2019, 12, 16–26.

H

Herrera, M.M. Aprovechamiento de los subproductos o residuos en la industria avícola para la producción de harinas de origen animal. Revista VIRTUALPRO. 2008. Bogotá, Colombia.

Herrero, A.M.; Ordóñez, J.A.; de Avila, R.; Herranz, B.; de la Hoz, L.; Cambero, M.I. Breaking strength of dry fermented sausages and their correlation with texture profile analysis (TPA) and physico-chemical characteristics. Meat Sci. 2007, 36, 331–338.

Hughes, E.; Cofrades, S.; Troy, D.J. Effects of fat level, oat fibre and carrageenan on frankfurters formulated with 5, 12 y 30% fat. Meat Sci. 1997, 45, 273–281.

I

Interempresas. Nuevas tendencias en el sector de la alimentación tras la COVID-19. 12/06/2020. 2020. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Alimentaria/Articulos/306532-Nuevas-tendencias-en-el-sector-alimentacion-tras-la-COVID-19.html>. Consultado en Agosto 2020.

Instituto Latinoamericano del Pollo (ILP). Producción, consumo e ingresos per cápitas de América Latina y del Caribe, 10/4/2019. Disponible en: <https://ilp-ala.org/ilp-produccion-consumo-e-ingresos-percapitas-de-america-latina-y-del-caribe/>. Consultado en Agosto 2020.

Irie, M. Optical evaluation of factors affecting appearance of bovine fat. Meat Sci. 2001, 57,19-22.

ISO 4121. Sensory Analysis-Guidelines for the Use of Quantitative Response Scales. International Organization for Standardization; ISO: Geneva, Switzerland, 2003.

J

Jiménez-Colmenero, F.; Reig, M.; Toldrá, F. New approaches for the development of functional meat products. En: *Advanced Technologies for Meat Processing*; Nollet, L.M.L., Toldrá, Y.F. (Eds.); CRC Press: Boca Raton, FL,USA, 2006; Capítulo 11; pp. 275–308.

Jump, D.B. Dietary polyunsaturated fatty acids and regulation of gene transcription. *Curr. Opin. Lipidol.* 2002, 13, 155-165

K

Kamani, M.H.; Meera, M.S.; Bhaskar, N.; Modi, V.K. Partial and total replacement of meat by plant-based proteins in chicken sausage: Evaluation of mechanical, physico-chemical and sensory characteristics. *J. Food Sci. Technol.* 2019, 56, 2660–2669.

Kamani, M.H.; Safari, O.; Mortazavi, S.A.; Atash, M.M.S.; Azghadi, N.M. Using an image processing based technique and predictive models for assessing lipid oxidation in rainbow trout fillet. *Food Biosci.* 2017, 19,42–48.

Kanakri, K.; Carragher, J.; Hughes, R.; Muhlhusler, B.; Gibson, R. The effect of different dietary fats on the fatty acid composition of several tissues in broiler chickens. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2018.120, 1700237.

Kwon, H.N.; Choi, C.B. Comparison of lipid content and monounsaturated fatty acid composition of beef by country of origin and marbling score. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 2015, 44, 1806–1812.

Kwon, Y.J.; Lee, H.S.; Chang, H.J.; Koh, S.B.; Lee, J.W. Association of dietary lipid intake with low-density lipoprotein cholesterol levels: analysis of two independent population-based studies. *Eur. J. Nutr.* 2020. 59, 2557-2567.

L

Le Guerhier, F. Processing of poultry fat. 2012. Disponible en: <http://www.fao.org/catalog>. Consultado en Enero 2020.

Lee, K.T.; Foglia, T.A. Synthesis, purification, and characterization of structured lipids produced from chicken fat. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2000, 77, 1027-1034.

Lee, K.T.; Foglia, T. Fractionation of chicken fat triacylglycerols: synthesis of structured lipids with immobilized lipases. *J. Food Sci.* 2000. 65, 826-831

Liu, A.G.; Ford, N.A.; Hu, F.B.; Zelman, K.M.; Mozaffarian, D.; Kris-Etherton, P.M. A healthy approach to dietary fats: understanding the science and taking action to reduce consumer confusion. *Nutr. J.* 2017, 16, 53-68.

M

Madrid, A. Aprovechamiento integral de subproductos de matadero. Madrid, España: G.D.A. Asociados S.A. 1979.

Martínez, J.A.; Melgosa, M.; Pérez, M.; Hita, E.; Negueruela, A.I. Visual and instrumental color evaluation in red wines. *Food Sci. Technol. Int.* 2001. 7, 439-444.

Martínez, H.; Morales, L. La agroindustria de alimentos balanceados para animales en Colombia. Observatorio de Competitividad Agrocadenas (Ed.) Anuario 2005,

Observatorio Agrocadenas Colombia (pp. 405-431). 2006. Disponible en: http://www.agrocadenas.gov.co/documentos/anuario2005/Capitulo10_Balanceados.pdf. Consultado en Marzo 2018.

Meza, W. Boletín técnico Ross 308, Avicol Genética Animal, 2012. Disponible en: <http://avicol.co/descargas2/BoletinTecnicoRoss.pdf>. Consultado en Noviembre 2019.

Mojica, P.; Paredes, V. Características del sector avícola Colombiano y su reciente evolución en el departamento de Santander Regional de estudios Bucaramanga. 2005. Disponible en: http://www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/regional/ESER/bucaramanga/2005_agosto.pdf. Consultada en Enero 2018.

Mottram, H.R.; Crossman, Z.M.; Evershed, R.P. Regiospecific characterization of the triacylglycerols in animal fats using high performance liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Analyst*. 2001. 126, 1018-1024.

Mozaffarian, D.; Micha, R.; Wallace, S. Effects on coronary heart disease of increasing polyunsaturated fat in place of saturated fat: a systematic review and metaanalysis of randomized controlled trials. *PLOS Med*. 2010, 7, e1000252 1-10.

N

Nieto, V.; Ramirez, N . Cadena productiva de Carnes y Productos Cárnicos Documento 471 Dirección de Estudios Económicos Departamento Nacional de Planeación (DPN), 2018. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/471.pdf>. Consultado en Marzo 2019.

NTC 1325. Norma Técnica Colombiana para la industria alimentaria: productos cárnicos procesados no enlatados; ICONTEC: Bogotá, Colombia, 2008.

O

Okrathok, S.; Khempaka, S. Modified-dietary fiber from cassava pulp reduces abdominal fat and meat cholesterol contents without affecting growth performance of broiler chickens. *J. Appl. Poult. Res.* 2020. 29, 229-239.

Ospina-E, J.C.; Cruz-S, A.; Pérez-Alvarez, J.A.; Fernández-López, J. Development of combinations of chemically modified vegetable oils as pork backfat substitutes in sausages formulation. *Meat Sci.* 2010. 84,491-497.

Ospina, -E.J.C.; Sierra, -C.A.; Ochoa, O.; Pérez-Alvarez, J.A.; Fernández-López, J. Substitution of saturated fat in processed meat products: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2012, 52, 113–122.

P

Paszkievicz, W.; Muszynski, S.; Kwiecien, M.; Zhyla, M.; Swiatkiewicz, S.; Arczewska-Wlosek, A. Effect of soybean meal substitution by raw chickpea seeds on thermal properties and fatty acid composition of subcutaneous fat tissue of broiler chickens. *Animals*. 2020.10, 533.

Peña-Saldarriaga, L.M.; Fernández-López, J.; Sayas-Barberá, E.; Pérez-Alvarez, J.A. Broiler chickens: Characterization of abdominal and gizzard fat. En: Proceedings of the 1st World Congress of Food Safety and Security, Leiden, The Netherlands, 24–28 March 2019; p. 76.

Pérez-Alvarez, J.A.; Fernández-López, J. Chemical and biochemical aspects of color in muscle foods. En: Handbook of Meat, Poultry & Seafood Quality, LML Nollet (Ed.) Blackwell Publishing Professional, Iowa, USA, 2007. Pp 25-44.

Pfaff, F.; Austic, R. Influence of diet on development of the abdominal fat pad in the pullet. *J. Nutr.* 1976. 106, 443-450.

R

Restrepo, M.; Diego, A.; Arango, M.; Claudia M. Industria de Carnes. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 2001.

Riazi, B.; Moaby, J.M.; Millet, B.; Spatari, S. Renewable diesel from oils and animal fat waste: implications of feedstock, technology, coproducts and ILUC life cycle GWP. *Resour. Conserv. Recycl.* 2020. 161, 10944.

S

Sacks, F.M.; Lichtenstein, A.H.; Wu, J.H.Y.; Appel, L.J.; Creager, M.A.; Kris-Etherton, P.M.; Miller, M.; Van Horn, L.V. Dietary fats and cardiovascular disease: A presidential advisory from the American Heart Association. *Circulation*. 2017. 136, e1-e23.

Savadkoohi, S.; Hoogenkamp, H.; Shamsi, K.; Farahnaky, A. Color, sensory and textural attributes of beef frankfurter, beef ham and meat-free sausage containing tomato pomace. *Meat Sci*. 2014. 97, 410–418

Sheu, K.S.; Chen, T.C. Yield and quality characteristics of edible broiler skin fat as obtained from five rendering methods. *J. Food Eng*. 2002. 55, 263-269.

Sinclair, A.J. Dietary fat and cardiovascular disease: The significance of recent developments for the food industry. *Food Aust*. 1993. 45, 226-232.

Sirri, F.; Tallarico, N.; Meluzzi, A.; Franchini, A. Fatty acid composition and productive traits of broiler fed diets containing conjugated linoleic acid. *Poult. Sci*. 2003. 82, 1356-1361

Sirri, F.; Petracci, M.; Bianchi, M.; Meluzzi, A. Survey of skin pigmentation of yellow-skinned broiler chickens. *Poult. Sci*. 2010. 89, 1556-1561.

Swatland, H.J. Reversible pH effect on pork paleness in a model system. *J. Food Sci*. 1995. 60, 988-991.

T

Troutt, E.S.; Hunt, M.C.; Johnson, D.E.; Claus, J.R.; Kastner, C.L.; Kropf, D.H.; Stroda, S. Chemical, physical and sensory characterization of ground beef containing 5 to 30 percent fat. *J. Food Sci.* 1992. 57, 25–29.

U

Utama, D.T.; Jeong, H.S.; Kim, J.; Barido, F.H.; Lee, S.K. Fatty acid composition and quality properties of chicken sausage formulated with pre-emulsified perilla-canola oil as an animal fat replacer. *Poult. Sci.* 2019. 98, 3059–3063.

V

Vikman, M.; Siipola, V.; Kanerva, H.; Slizyte, R.; Wikberg, H. Poultry by-products as potential source of nutrients. *Adv. Recycling Waste Mang.* 2017. 2, 1-5.

W

Whitehead, C.; Griffin, H. Plasma lipoprotein concentration as an indicator of fatness in broilers: effect of age and diet. *Br. Poultry Sci.* 1984. 23, 299-305.

ANEXO 1. PUBLICACIONES



Article

Quality of Chicken Fat by-Products: Lipid Profile and Colour Properties

Lina María Peña-Saldarriaga ¹, Juana Fernández-López ²  and José Angel Pérez-Alvarez ^{2,*} 

¹ Research & Development Department, Bios Group, Cra 48 No. 274 Sur-89 Envigado, 055422 Antioquia, Colombia; lina.pena@grupobios.co

² IPOA Research Group, Agro-Food Technology Department, Higher Polytechnic School of Orihuela, Miguel Hernández University, Orihuela, 03312 Alicante, Spain; j.fernandez@umh.es

* Correspondence: ja.perez@umh.es; Tel.: +34-966749784

Received: 7 July 2020; Accepted: 1 August 2020; Published: 3 August 2020



Abstract: The growth in the production and consumption of chicken meat and related products is responsible for the formation a large number of by-products. Among these, abdominal and gizzard fat is usually considered as waste and thus is discarded, creating an environmental problem. This work aims to characterize chicken fat by-products, evaluating their lipid profile and colour properties for their potential use as fat sources in meat products in substitution of traditionally used fats. In addition, the role of farm location, keeping the feeding and other farmer routines fixed, in the lipid profile was also evaluated. “Parrilleros” Colombian chickens from three farms located in various geographical zones of the Antioquia region were selected. After slaughtering, abdominal and gizzard fat was obtained. Lipid profile was evaluated by gas chromatography and the CIELAB colour properties were assessed. The production results and the lipid profile of chicken fat by-products (abdominal and gizzard fat) was similar in the three farms studied, which is important for their potential application as fat source in the formulation of meat products. The predominant fatty acids were oleic, palmitic and linoleic acids, showing a higher amount of unsaturated fatty acids than the fat sources traditionally used for this purpose. Valorization of chicken by-products by the use of abdominal and gizzard fat as fat source in chicken meat products formulation could be a feasible alternative contributing to the poultry sector sustainability.

Keywords: chicken fat by-products; unsaturated fatty acids; colour properties; lipid profile

1. Introduction

Poultry farming has been the main impetus for the sustained and steady economic development of Colombian agriculture in recent years, and is considered a determining variable in the growth of the Gross Domestic Product of the agricultural sector in the country. The growth in the poultry industry in Colombia is mainly due to increased domestic consumption. A decade ago the per capita consumption of poultry meat in Colombia was about 23 kg of chicken meat per year, while today it is 35.5 kg [1]. The industry has developed to such an extent that poultry products are now the most important source of animal protein in Colombia (contributing 50%), a trend that underlines the importance of this industry in the country and its constant growth. Not only in Colombia is the poultry industry important, but it also plays a relevant role in feeding much of the rest of the world. According to the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) and the Food and Agricultural Organization (FAO), the worldwide per capita consumption of chicken meat in the last decade has increased by 15%, growth which has outstripped that registered for beef and pork. The main consumers are the United States and Brazil, whose annual consumption exceeds 40 kg per capita [2]. Such an increase in the consumption of chicken meat is mainly due to the

perception by health-conscious consumers that chicken meat is a low-fat source of healthy nutrition, rich in unsaturated fat and a high in protein [3]. In addition, chicken meat is increasingly used in the development of new chicken-based convenience products (chicken bologna, chicken nuggets, chicken hotdogs, chicken wings), which have been successfully marketed for consumption at home and also in the growing fast-food industry [4].

However, the rapid growth of poultry production has led to the massive generation of food-processing by-products like bones, viscera, abdominal fat, feet, head, blood and feathers. If these by-products were regarded as having greater nutritional value, their use would contribute to the development of a sustainable food industry while increasing the value of this sector [5]. Until now, these by-products have only been sold as animal feed and to pet food processors [6–8] and, recently, for the production of biodiesel [9]. However, there are no references about the possible use of some of these by-products as raw materials for use in human food processing. For example, it may be possible that the abdominal and gizzard fat that remains inside the poultry carcass, where it represents approximately 2–2.5% of the total weight of the slaughtered chicken [10], could be used as fat source for the production of chicken sausages or other meat products, especially taking into account its characteristic content of unsaturated fatty acids. Until now, this abdominal and gizzard fat has been discarded by small producers, together with the viscera, feathers and blood, thus creating an environmental problem.

The production of high quantities of by-products by the poultry industry and the potential of abdominal and gizzard fat as a healthy fat source in different applications, about which little information is available, led to the development of this study. The main objective was to determine the fatty acid profile and colour properties of poultry fat by-products (in this case, abdominal and gizzard fat) and to assess whether these properties remain stable and whether they depend on the farm conditions (feeding and geographical location).

2. Materials and Methods

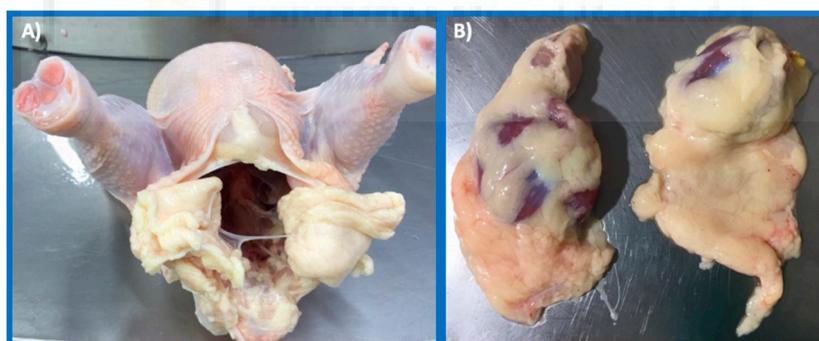
2.1. Experimental Design: Animals and Diets

One-day-old “Parrilleros” Colombian chickens from three commercial farms (La Nirvana, La Goleta and Villa Rita) located in various geographical zones of the Antioquia region in Colombia (Barbosa, Yolombó and Caldas, respectively), characterized by their different climatic conditions, were reared on litter floors (wood shavings) in open-sided housing conditions with feed and water provided *ad libitum*. The average number of birds reared and the average density (bird/m²) in each farm were: Villa Rita, 78,432 and 12.9, respectively; La Nirvana, 314,200 and 13.0, respectively; and La Goleta 1,132,002 and 12.4, respectively. In all the farms the photoperiod was 12 h (± 30 min) (12L/12D). In each farm, 75 birds were selected for the experiment (kept in pens on litter) and were divided into 3 replications with 25 birds per group. Each bird had a padlock badge for identification during measurements. All the chickens were initially fed the same balanced diet: a “pre-starter” diet until they reached 150 g in weight and a “starter” diet until 900 g (approx. 16 days); this was followed by a “finisher” diet based on standard formulations used in different fattening periods, until slaughter at 45 days of age. Nine different “finisher” diets were assessed (Table 1) depending on the availability of raw materials and prices in attempt to minimize costs for the companies, while maintaining the same nutritional levels. The finisher experimental diets and water were offered *ad libitum*.

Productivity parameters (final body weight (FBW), daily body weight gain (BWG), feed intake (FI), and feed conversion ratio (FCR)) were monitored and recorded for the entire flock (75 birds) per farm. At 45 days, thirteen chickens per farm, with an FBW close to the mean of the whole group were slaughtered in an abattoir (previous electrical stunning) licensed by The National Institute for the Surveillance of Drugs and Foods (Colombia) and abdominal and gizzard fat was obtained (Figure 1). The fat samples were refrigerated and sent to the Food Science and Technology Institute laboratory to assess their fatty acid content and colour.

Table 1. Experimental finisher diets.

Ingredients (%)	Finisher Diets									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Sorghum	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	
Soy oil	2.95	2.92	3.24	3.20	4.00	4.00	4.00	4.00	3.50	
Yellow corn	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	
White corn	43.68	43.79	44.45	44.30	45.00	44.95	45.03	34.84	32.84	
Corn gluten	4.16	4.26	4.38	4.85	4.72	4.09	4.11	-	-	
Wheat	-	-	-	-	-	-	-	10.00	10.00	
Bone flour	3.18	3.00	3.06	2.87	2.89	3.23	3.19	4.50	3.45	
Soybean meal	7.61	7.61	11.17	11.01	14.94	14.68	14.77	11.77	11.51	
Full fat soybean	12.50	12.50	10.00	10.00	4.49	5.16	5.03	10.00	14.99	
Sunflower meal	2.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	
Nutrients (% of diet)										
Protein	18.56	18.51	18.54	18.57	18.58	18.70	18.59	18.46	18.45	
Lipids	8.46	8.97	8.41	8.97	8.30	8.24	8.16	8.28	8.25	
Fibre	3.90	3.88	3.90	3.89	3.63	3.62	3.57	3.58	3.58	
Minerals	3.32	3.37	3.26	3.26	3.26	3.20	3.22	3.34	3.33	
Fatty acids (% total fat)										
C14:0 (Myristic acid)	0.19	0.19	0.18	0.17	0.15	0.16	0.16	0.22	0.20	
C16:0 (Palmitic acid)	11.51	11.48	11.45	11.41	11.27	11.35	11.34	11.70	11.54	
C16:1 (Palmitoleic acid)	0.86	0.84	0.91	0.89	1.04	1.05	1.05	1.06	0.90	
C18:0 (Stearic acid)	4.04	4.00	4.01	3.97	3.97	4.04	4.03	4.32	4.15	
C18:1 (Oleic acid)	24.90	24.86	24.93	24.88	24.97	25.03	25.03	24.85	24.36	
C18:2 (Linoleic acid)	52.29	52.42	52.34	52.48	52.47	52.22	52.24	51.36	52.12	
C18:3 (Linolenic acid)	5.62	5.62	5.57	5.57	5.43	5.46	5.45	5.81	6.09	
C > 19	0.59	0.59	0.63	0.62	0.71	0.70	0.70	0.69	0.64	

**Figure 1.** Chicken fat by-products: (A) Abdominal fat, (B) gizzard fat.

2.2. Chemical analysis

Samples of fat (200 g; 65% abdominal fat and 35% gizzard fat, the normal fat proportions of the carcass) were dried and extracted following the Soxhlet procedure and using diethyl ether as the extraction solvent [11]. The methyl esters from fatty acids (FAME) were prepared using BF_3 in methanol and stored at $-80\text{ }^\circ\text{C}$ until chromatographic analysis.

The FAME were analysed using a gas chromatograph (GC-2014 Gas Chromatograph, Shimadzu, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan) equipped with a flame ionization detector, a split/splitless injector, and a fused silica capillary column containing polyethylene glycol as stationary phase (db-wax, 60 m \times 0.25 mm, J&W Scientific, Santa Clara, CA, USA). The injector temperature was set to $230\text{ }^\circ\text{C}$. The initial column temperature was $80\text{ }^\circ\text{C}$ for 2 min at a rate of $3\text{ }^\circ\text{C}$ per minute, was raised to $180\text{ }^\circ\text{C}$ at $30\text{ }^\circ\text{C}$ per minute and was kept at this temperature for 30 min. After this time, the temperature was increased to $200\text{ }^\circ\text{C}$ at a rate of $3\text{ }^\circ\text{C}$ per minute and remained at this temperature for 108 min. The fatty acids were quantified using C11:0 methyl ester as internal standard. Identification of fatty

acids was performed by comparison of the retention times with those of known fatty acids and the results expressed as percentage of the area of each fatty acid over the total area of fatty acids (%).

2.3. Colour Properties

The CIELAB space was chosen for colour determination following American Meat Science recommendations [12]. The following colour coordinates were determined: lightness (L^*), redness (a^* , \pm red-green), and yellowness (b^* , \pm yellow-blue). The chroma saturation index [$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$] and the hue angle ($H^* = \tan^{-1} b^*/a^*$) were also estimated. The reflectance spectra between 400 and 700 nm were also obtained at every 20 nm. These colour coordinates were determined by a SP62 spectrophotometer X-RITE (X-RITE, Grand Rapids, MI, USA). Measurements were made using D65 illuminant, 64 mm area and a 10° observer angle. These colour measurements were made in 43 samples of chicken fat by-products in their original solid form and also after heating at 78°C for 3 min and re-solidifying at room temperature (re-solidified fat), simulating the thermal treatment applied for processing cooked meat products.

2.4. Statistical Analysis

The calculation of production results considered the entire flock, i.e., 75 birds in each farm. To determine the sampling of chicken fat, considering the chicken live weight and the farm of origin with different geographical location, confidence interval for one proportion—confidence interval Ross Lenth's Piface- was used. The number of samples to be analysed for the lipid profile according to the statistical analysis performed on the sampling of fat in the plant was thirteen, for a variance of 6.6 obtained from the sum of the two types of chicken fat by-products. Colour data are reported as average \pm standard deviation. The data were analysed statistically using IBM SPSS Statistics for Windows, version 23 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

3. Results

3.1. Chickens' Performance

The production results (final body weight, average daily weight gain, feed intake and feed conversion ratio) were similar in the three farms (Table 2) and there were no statistically significant differences that depended on the feed used ($p > 0.05$).

Table 2. Productivity parameters of “Parrilleros” chickens in the three farms under study ($n = 75$ per farm).

Item ¹ /Farm	La Goleta	Villa Rita	La Nirvana
FBW (kg)	2.31 \pm 0.02	2.37 \pm 0.05	2.32 \pm 0.04
BWG (g/day)	57.4 \pm 1.23	57.3 \pm 1.20	57.8 \pm 1.68
FI (kg)	3.66 \pm 0.07	3.80 \pm 0.09	3.78 \pm 0.08
FCR (kg/kg)	1.58 \pm 0.03	1.59 \pm 0.05	1.63 \pm 0.04

n = number of birds (whole flock); ¹ Each value represents the mean of 3 replicates (25 birds per pen). No significant differences ($p < 0.0$) were found between farms. FBW: final body weight; BWG: average of daily body weight gain; FI: feed intake; FCR: feed conversion ratio.

3.2. Chemical Analysis

Importantly, there were no significant differences ($p > 0.05$) in the total fat content between the 8 different finisher diets used for chicken feed (Table 1). These diets were elaborated considering the composition and content of the ingredients used in each formula. In all the diets, linoleic (52.22%), oleic (24.87%) and palmitic (11.45%) fatty acids were identified as the predominant fatty acids.

The weight of fat by-products per chicken carcass was approximately 40 g, of which 65% corresponded to abdominal fat and 35% to gizzard fat. The total yield for lipid extraction obtained in chicken fat by-products was 75%.

Fatty acid profiles (% of total lipids) of chicken fat by-products from the 3 farms used in this study are shown in Table 3. No differences were found ($p > 0.05$) between the lipid profiles of chicken fat by-products from the 3 farms under study.

Table 3. Lipid profile (% of total lipids) of chicken fat by-products from the three farms under study.

Fatty Acid	Common Name	Farms			Variation Coefficient (%)
		Villa Rita	La Goleta	La Nirvana	
C14:0	Myristic acid	0.52	0.50	0.50	3.9
C16:0	Palmitic acid	24.18	23.63	23.81	4.0
C16:1	Palmitoleic acid	5.01	4.83	5.16	3.6
C18:0	Stearic acid	5.69	6.00	5.92	5.4
C18:1 ω 9	Oleic acid	36.15	36.83	35.31	6.0
C18:2 ω 6	Linoleic acid	22.55	22.22	23.75	0.6
C18:3 ω 3	Linolenic acid	1.46	1.49	1.64	1.0
Σ SFA		30.4	30.1	30.2	3.6
Σ MUFA		41.2	41.7	40.5	5.4
Σ PUFA		24.0	23.7	25.4	0.5
Σ PUFA/ Σ SFA		0.8	0.8	0.8	

The predominant fatty acids in chicken fat by-products were oleic (C18:1), palmitic (C16:0) and linoleic (C18:2) acids (Table 3), which reflects the lipid profile of the diets (Table 1). The chicken fat by-products showed a higher unsaturated fat content (65.5%) than of saturated fat (30.3%), which also reflects the values of the diets (Table 1).

3.3. Colour Properties

The colour parameters of chicken fat by-products are shown in Table 4. Solid fat had statistically higher ($p < 0.05$) L^* and a^* values than the melted and re-solidified fat. By contrast, the b^* coordinate, saturation index and hue values were higher ($p < 0.05$) when chicken fat by-products were previously melted.

Table 4. Colour parameters [(L^*) lightness, (a^*) redness, (b^*) yellowness, (C^*) chroma or saturation index, (h^*) hue] of chicken fat by-products (solid fat and melted and re-solidified fat).

Chicken Fat by-Product	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
Solid	71.52 \pm 2.22a	3.44 \pm 0.09 ^a	24.65 \pm 1.56 ^b	24.89 \pm 1.47 ^b	82.06 \pm 1.25 ^b
Melted and re-solidified	40.26 \pm 1.03b	0.96 \pm 0.03 ^b	65.89 \pm 1.02 ^a	65.9 \pm 2.14 ^a	89.17 \pm 1.22 ^a

^{a,b}: different letters indicate significant differences ($p < 0.05$). $n = 39$.

Figure 2 presents the reflectance spectra (400–700 nm) obtained for the solid fat and the melted and re-solidified fat. As it can be seen, the shape of the spectra for both types of fat is completely different. At all the wavelengths studied, solid fat showed higher ($p < 0.05$) reflectance percentages than the other fat. Melted and re-solidified fat did not show any reflectance from 400 to 480 nm (mainly corresponding to violet and blue), while from 480 to 540 nm (green) the reflectance values showed the higher increase (approx.13%), these reflectance values remaining constants until the end of the spectrum (corresponding to yellow, orange and red).

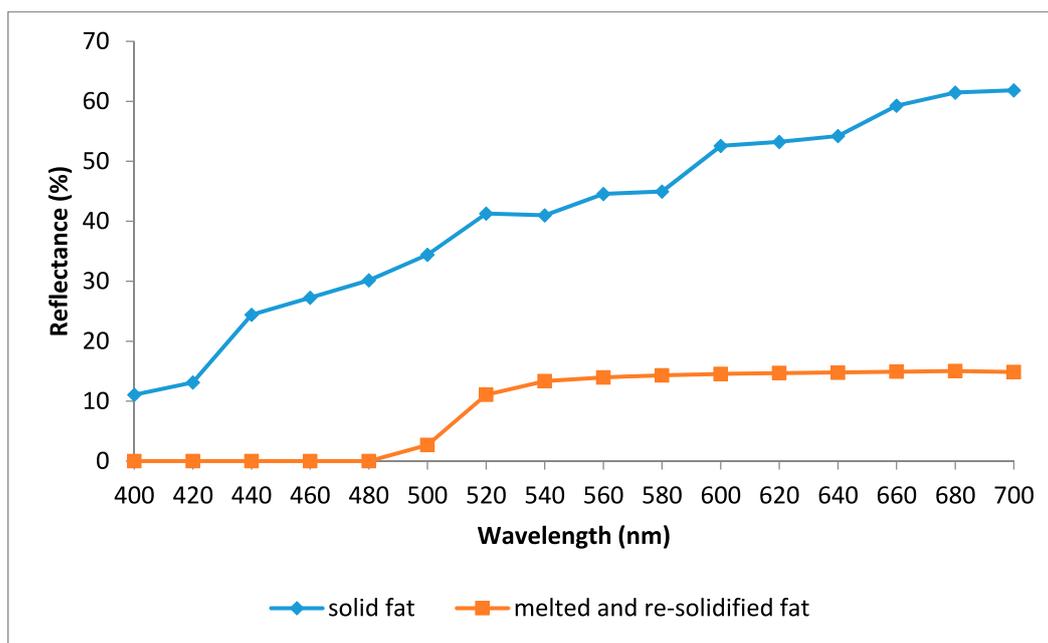


Figure 2. Reflectance spectra (400–700 nm) of the chicken fat by-products (solid fat and, melted and re-solidified fat).

4. Discussion

4.1. Chickens' Performance

Our study found no significant effect of farm or finisher diet on the productivity parameters of chickens, and all the values obtained agree with the normal productive parameters reported for chickens reared in Antioquia (Colombia) [13].

4.2. Chemical Analysis

As explained above, the fat deposits of a chicken carcass come mainly from the diet, so that the lipid profile in these tissues reflect the lipid profile of the diet [14]. The interactions that take place between the nutrients that compose the diet and the synthesis and activity of lipogenic enzymes are responsible for a wide range of possibilities regarding lipid deposition in adipose tissue. Moreover, the biological activity of some fatty acids stimulates or inhibits specific lipogenic genes encoding enzymes [15].

The yields obtained for the lipid extraction in chicken fat by-products are markedly higher than the levels reported for chicken skin (<30%) [16,17], the usual chicken fat source in the meat industry.

The fact that the lipid profile of chicken fat by-products from the 3 farms under study did not show differences is probably due to the stability of the feed used in each farm. Since the feeding and other farms' routines were the same in all three farms, so that the only difference was their respective geographical location and climatic conditions, it seem safe to conclude that neither factor was important enough to modify this composition. This is very important because if chicken fat by-products are to be used as fatty ingredients in the meat industry, the greater the homogeneity in their composition, the easier it will be to formulate meat products.

The lipid profile of fat by-products was within the range reported in the literature for chicken skin fat (Table 3) [17–19] which was to be expected because the lipid profile of different chicken carcass parts (skin, adipose tissue and meat) does not any show statistical differences [20].

Of other sources of animal fat commonly used in meat products (Table 5), chicken fat by-products have the highest amount of unsaturated fatty acids (UFA, 65.5%) and bovine tallow the lowest (44–50%). It must be noted that the chicken fat by-products analysed in this study contained a higher proportion of polyunsaturated fatty acids (PUFA, approx. 40% of total UFA) than pork or beef fat (has less than 20%).

Unsaturated fatty acids include essential fatty acids that play beneficial roles in human health. Oleic acid may help decrease the circulating concentration of low density lipoprotein (LDL) cholesterol in humans and is considered a “healthy” fat [21]. High oleic acid values are desirable for their hypocholesterolemic action, and have the added advantage of not lowering high density lipoprotein (HDL) cholesterol (“good cholesterol”), and protecting against coronary heart diseases [22,23]. The essential fatty acids include the $w3$ and $w6$ families, which are not biologically synthesized by humans, but which are necessary for biological processes and therefore should be included in the human diet [23].

Table 5. Lipid profile (%) of traditional fat sources in the meat industry, according to the literature, and of chicken fat by-products analyzed in this work.

Fatty Acid	Common Name	Beef Tallow ⁽¹⁾	Pork Lard ⁽²⁾	Poultry Skin ⁽³⁾	Chicken Fat by-Products
C14:0	Myristic acid	1–1.5	1–1.5	–	0.51
C16:0	Palmitic acid	24–28	24–28	20–24	23.87
C16:1	Palmitoleic acid	2–3	2–3	5–9	5.00
C18:0	Stearic acid	20–24	13–14	4–6	5.87
C18:1 $w9$	Oleic acid	40–43	43–47	33–44	36.10
C18:2 $w6$	Linoleic acid	2–4	8–11	18–20	22.84
C18:3 $w3$	Linolenic acid	<1	<1	1–2	1.53
Σ SFA		46–55	38–43.5	25–31.5	30.23
Σ MUFA		42–46	45–50	38–53	41.13
Σ PUFA		2–4	8–11	19–22	24.37
Σ PUFA/ Σ SFA		<0.1	0.3	0.8	0.8

⁽¹⁾ Mottram et al. [24]; Alm [25]. ⁽²⁾ Mottram et al. [24]; Ospina-E et al. [22]; Alm [25]. ⁽³⁾ Sheu & Chen [20]; Feddern et al. [17]; Alm [25].

By contrast, the highest saturated fatty acid (SFA) levels are found in beef tallow (46–55%) and the lowest in poultry fat by-products (30.2%). Taking into consideration that the high consumption of saturated fatty acids has been associated with increased levels of serum cholesterol and LDL, both risk factors for cardiovascular diseases [26,27], using chicken fat by-products as fatty raw material in the meat industry could be considered advantageous. However, some studies suggest that the role of saturated fat in heart diseases is complex because of the heterogeneous biological effects of different saturated fatty acids and the diversity of food sources [27,28], so that not all SFAs should be considered hypercholesterolemic. These findings suggest that the specific matrix of different foods, including other fatty acids, nutrients, and bioactives, may biologically modify the effect of saturated fat in cardiovascular diseases.

According to French et al. [29] the most undesirable fatty acid is myristic acid, which only represents 1.3% in chicken fat by-products (Table 3), 3% in beef tallow and 3.5% in pork backfat (Table 5). Several authors have reported that palmitic acid has a low hypercholesterolemic effect and stearic acid has no effect because it becomes oleic acid in the body [30] and so does not influence blood cholesterol levels.

These results suggest that chicken fat can be used as fatty ingredient in formulating sausages, for example, as a partial or total substitute of traditional solid fat sources with their higher SFA concentrations, or be used together with chicken skin, thus increasing the amount of useful fat that can be obtained from poultry [31]. In addition, the high levels of UFA in chicken fat by-products could allow them to be used as frying oil as well as mixed with other solid fats to increase their plasticity.

4.3. Colour Properties

The colour of foods is the first characteristic that makes an impression on consumers and is one of the most intuitive factors influencing consumer purchase decisions [32,33]. Contrary to what might be expected, pure fats and oils are colourless. The characteristic colours usually associated with some of them are imparted by foreign substances that are lipid-soluble and have been absorbed by

these lipids. In the case of the fat from carcasses, the colour basically depends on the feed that the live animal received [34]. In the case of chickens, when maize (rich in carotenes and xanthophylls) is included in their diet, the fatty deposits take on a yellow colour. Another factor influencing fat colour is the concentration of haemoglobin retained in the capillaries of the adipose tissue and also the connective tissue that is included [35]. According to this author, mature adipose cells or adipocytes can easily reach a diameter of micron size and are almost filled by a single large droplet of triglyceride. Thus, the nucleus and cytoplasm of an adipose cell are restricted to a thin layer under the plasma membrane, which accounts for the low water content of fat. Mature adipose cells with very little cytoplasm contain few organelles. The large triglyceride droplet that fills most of the cell is not directly bounded by a membrane, but is restrained by a cytoskeletal meshwork of 10-nm filaments, which is most conspicuous in the adipose cells of poultry.

From a technological point of view, fat fulfils several functions in meat product processing (e.g., appearance, taste and textural properties) although, in the case of colour, its principal role is in the brightness of the resulting meat products. The colour coordinate values (L^* , a^* and b^*) of the analysed chicken fat by-products are into the range reported by Sirri et al. [36] for chicken skin. These authors measured the colour coordinates in the skin of different parts of the chicken carcass (breast, thigh and shank) and reported the following values: 65.8–81.7 for lightness, -3.75 – 7.52 for redness, and 7.45–39.12 for yellowness. These data point to high variability in skin colour, especially in the case of b^* , even taking into account that the total xanthophyll content of the feeds used was homogeneous (from 12 to 15 mg/kg of feed) in the different flocks studied. This suggests that, in addition to pigment concentrations, other factors could play an important role in determining the final skin colour of poultry.

The observed reduction in lightness and the increase in yellowness due to melting (Table 4) could be due to the reduction in moisture and the consequent increase in the concentration of yellow pigment (carotenes). Based on the differences in the reflectance spectra obtained for solid fat by-products, and melted and re-solidified fat (Figure 2), it is clear that the heat applied to melt the fat caused severe changes in its ultrastructure, which were not reversed when the fat re-solidified.

5. Conclusions

The lipid profile of chicken fat by-products from the three farms was similar (with low coefficients of variation), despite factors associated with their different geographical locations (as long as the birds were fed a similar diet) which is very important finding for their potential application as a fat source in the formulation of meat products. The predominant fatty acids in chicken fat by-products were oleic, palmitic and linoleic acids, showing higher amount of unsaturated fatty acids than recorded for traditional fat sources used to make meat products. As regards the colour properties, chicken fat by-products had colour coordinate values that were in the range of those of chicken skin, which is the usual fat source in the meat industry. However, melting and re-solidification caused severe changes in the reflectance spectrum. In view of these results, chicken fat by-products could be used as fat ingredient in sausage formulations to partially or totally substitute traditionally used solid fat sources with their higher saturated fatty acid concentrations.

Author Contributions: Conceptualization, J.F.-L. and L.M.-P.S.; methodology, L.M.-P.S. and J.A.P.-A.; validation, L.M.-P.S. and J.A.P.-A.; investigation, J.F.-L. and J.A.P.-A.; resources, L.M.-P.S.; writing—original draft preparation, L.M.-P.S.; writing—review and editing, J.F.-L. and J.A.P.-A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Acknowledgments: IPOA researchers are members of the HealthyMeat network, funded by CYTED (ref. 119RT0568).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Ethics statement: This research and the rearing and slaughter of chickens were carried out in accordance with the National Committee Guidelines (Colombia) on animal testing and care.

References

1. FENAVI. Consumo per Capita Mundial de Carne de Pollo. Federación Nacional de Avicultores de Colombia, 2019. Available online: <https://fenavi.org/estadisticas/consumo-per-capita-mundo-pollo/> (accessed on 12 February 2020).
2. FIRA. Carne de Pollo. Fidecomisos Instituidos en Relación con la Agricultura-Panorama Alimentario, Mexico. 2019. Available online: <https://s3.amazonaws.com/inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/09/29173801/Panorama-Agroalimentario-Carne-de-pollo-2019.pdf> (accessed on 15 March 2020).
3. Mozdziak, P. Species of meat animals: Poultry. In *Encyclopedia of Meat Sciences*; Dikeman, M., Devine, C., Eds.; Academic Press: Oxford, UK, 2014; pp. 369–373.
4. Choi, Y.S.; Han, D.J.; Choi, J.H.; Hwang, K.E.; Song, D.H.; Kim, H.W.; Kim, Y.B.; Kim, C.J. Effect of chicken skin on the quality characteristics of semi-dried restructured jerky. *Poult. Sci.* **2016**, *95*, 1198–1204. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Herrera, M. Taking Advantage of by-Products or Waste in the Poultry Industry for the Production of Animal Meal. Virtual Pro, Bogotá, Colombia. 2008. Available online: <https://www.virtualpro.co/biblioteca/aprovechamiento-de-los-subproductos-o-residuos-en-la-industria-avicola-para-la-produccion-de-harinas-de-origen-animal> (accessed on 15 January 2020).
6. El Boushy, A.R.Y.; Van der Poel, A.F.B. *Poultry Feed from Waste*; Springer: Boston, MA, USA, 1994.
7. Barbut, S. Waste treatment and by-products. In *the Science of Poultry and Meat Processing*; Chapter 18; Barbut, S., Ed.; Guelph, ON, Canada, 2015; pp. 1–27. Available online: https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/9300/Barbut_SciPoultryAndMeatProcessing_18ByProductsAndWaste_v01.pdf?sequence=18&isAllowed=y (accessed on 3 August 2020).
8. Vikman, M.; Siipola, V.; Kanerva, H.; Slizyte, R.; Wikberg, H. Poultry by-products as potential source of nutrients. *Adv. Recycl. Waste Mang.* **2017**, *2*, 1–5.
9. Abid, M.; Touzani, M. First step of waste chicken skin valorization by production of biodiesel in Morocco. *J. Mater Environ. Sci.* **2017**, *8*, 2372–2380.
10. Chiu, M.C.; Gioielli, L.A.; Sotero-Solis, V. Fraccionamiento de la grasa abdominal de pollo. *Grasas y Aceites* **2002**, *53*, 298–303.
11. AOAC. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th ed.; Association of Official Analytical Chemistry: Gaithersburg, MD, USA, 2005.
12. AMSA. *Meat Color Measurement Guidelines*; American Meat Science Association: Champaign, IL, USA, 2012.
13. Díez-Arias, D. Pronutrients and productive parameters in broilers. *Veterinaria Digital*. 12 September 2018. Available online: https://www.veterinariadigital.com/en/post_blog/pronutrients-and-productive-parameters-in-broilers/ (accessed on 15 December 2019).
14. Sirri, F.; Tallarico, N.; Meluzzi, A.; Franchini, A. Fatty acid composition and productive traits of broiler fed diets containing conjugated linoleic acid. *Poult. Sci.* **2003**, *82*, 1356–1361. [[CrossRef](#)]
15. Jump, D.B. Dietary polyunsaturated fatty acids and regulation of gene transcription. *Curr. Opin. Lipidol.* **2002**, *13*, 155–165. [[CrossRef](#)]
16. De Souza, S.A.B.; Matsushita, M.; de Souza, N.E. Protein, lipids and cholesterol in roasted chicken. *Acta Sci.* **1997**, *19*, 1069–1073.
17. Feddern, V.; Kupski, L.; Cipolatti, E.P.; Giacobbo, G.; Mendes, G.L.; Badiale-Furlong, E.; de Souza-Soares, L.A. Physico-chemical composition, fractionated glycerides and fatty acid profile of chicken skin fat. *Eur. J. Lipid. Sci. Technol.* **2010**, *112*, 1277–1284. [[CrossRef](#)]
18. Chiu, M.C.; Gioielli, L.A.; Grimaldi, R. Structured lipids from chicken fat, its stearin and medium chain triacylglycerol blends. I-Fatty acid and triacylglycerol compositions. *Quim. Nova* **2008**, *31*, 232–237. [[CrossRef](#)]
19. Lee, K.T.; Foglia, T.A. Synthesis, purification, and characterization of structured lipids produced from chicken fat. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **2000**, *77*, 1027–1034. [[CrossRef](#)]
20. Sheu, K.S.; Chen, T.C. Yield and quality characteristics of edible broiler skin fat as obtained from five rendering methods. *J. Food Eng.* **2002**, *55*, 263–269. [[CrossRef](#)]
21. Kwon, H.N.; Choi, C.B. Comparison of lipid content and monounsaturated fatty acid composition of beef by country of origin and marbling score. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **2015**, *44*, 1806–1812. [[CrossRef](#)]

22. Ospina-E, J.C.; Cruz-S, A.; Pérez-Alvarez, J.A.; Fernández-López, J. Development of combinations of chemically modified vegetable oils as pork backfat substitutes in sausages formulation. *Meat Sci.* **2010**, *84*, 491–497. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
23. Da Silva Martins, T.; Antunes de Lemos, M.V.; Freitas Mueller, L.; Baldi, F.; Rodrigues de Amorim, T.; Matias Ferrinho, A.; Muñoz, J.A.; de Souza Fuzikawa, I.H.; Vespe de Moura, G.; Gemelli, J.L.; et al. Fat deposition, fatty acid composition, and its relationship with meat quality and Human Health. In *Meat Science and Nutrition*; Arshad, M.S., Ed.; Intech Open Ltd.: London, UK, 2018; pp. 17–37.
24. Mottram, H.R.; Crossman, Z.M.; Evershed, R.P. Regiospecific characterization of the triacylglycerols in animal fats using high performance liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Analyst* **2001**, *126*, 1018–1024. [[CrossRef](#)]
25. Alm, M. *Edible Oil Processing*; AOCS Lipid Library; The American Oil Chemists' Society: Urbana, IL, USA, 2019.
26. FAO. Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. *FAO Food Nutr. Pap.* **2010**, *91*, 1–166.
27. Liu, A.G.; Ford, N.A.; Hu, F.B.; Zelman, K.M.; Mozaffarian, D.; Kris-Etherton, P.M. A healthy approach to dietary fats: Understanding the science and taking action to reduce consumer confusion. *Nutr. J.* **2017**, *16*, 53–68. [[CrossRef](#)]
28. Mozaffarian, D.; Micha, R.; Wallace, S. Effects on coronary heart disease of increasing polyunsaturated fat in place of saturated fat: A systematic review and metaanalysis of randomized controlled trials. *PLoS Med.* **2010**, *7*, e1000252. [[CrossRef](#)]
29. French, M.A.; Sundram, K.; Clandinin, M.T. Cholesterolaemic effect of palmitic acid in relation to other dietary fatty acids. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* **2002**, *11*, 401–407. [[CrossRef](#)]
30. Sinclair, A.J. Dietary fat and cardiovascular disease: The significance of recent developments for the food industry. *Food Aust.* **1993**, *45*, 226–232.
31. Peña-Saldarriaga, L.; Pérez-Alvarez, J.A.; Fernández-López, J. Quality properties of chicken emulsion-type sausages formulated with chicken fatty byproducts. *Foods* **2020**, *9*, 507. [[CrossRef](#)]
32. Pérez-Alvarez, J.A.; Fernández-López, J. Chemical and biochemical aspects of color in muscle foods. In *Handbook of Meat, Poultry & Seafood Quality*; Nollet, L.M.L., Ed.; Blackwell Publishing Professional: Ames, IA, USA, 2007; pp. 25–44.
33. Font-I-Furnols, M.; Guerrero, L. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview. *Meat Sci.* **2014**, *98*, 361–371. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Irie, M. Optical evaluation of factors affecting appearance of bovine fat. *Meat Sci* **2001**, *57*, 19–22. [[CrossRef](#)]
35. Swatland, H.J. Reversible pH effect on pork paleness in a model system. *J. Food Sci.* **1995**, *60*, 988–991. [[CrossRef](#)]
36. Sirri, F.; Petracci, M.; Bianchi, M.; Meluzzi, A. Survey of skin pigmentation of yellow-skinned broiler chickens. *Poult. Sci.* **2010**, *89*, 1556–1561. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]



Article

Quality Properties of Chicken Emulsion-Type Sausages Formulated with Chicken Fatty Byproducts

Lina María Peña-Saldarriaga ¹, José Angel Pérez-Alvarez ² and Juana Fernández-López ^{2,*} 

¹ Research & Development Department, Bios Group, Cra 48 No.274 Sur-89 Envigado, Antioquia, Colombia; lina.pena@grupobios.co

² IPOA Research Group, Agro-Food Technology Department, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández de Elche, Orihuela, 03312 Alicante, Spain; ja.perez@umh.es

* Correspondence: j.fernandez@umh.es; Tel.: +34-9667-49784

Received: 20 March 2020; Accepted: 14 April 2020; Published: 17 April 2020



Abstract: During poultry slaughtering, fatty byproducts are generated, mainly comprising abdominal and gizzard fat, which are mostly discarded and result in consequent environmental problems. The objective of this work was to use these fatty byproducts as fatty raw material in the production of chicken sausages (emulsion-type). They were applied for the partial replacement (40% and 50%) of chicken skin (fatty source usually used in chicken sausages). The effect of these partial replacements on the quality properties (proximate composition, lipid profile, color, texture, and microbiological and sensory properties) of chicken sausages were assessed. Sausages with fatty byproducts added (40% and 50%) showed lower moisture but higher fat content than control. Nevertheless, all of them meet the nutritional requirements of the Colombian regulation for this type of meat product. Sausages with 40% and 50% substitution level showed similar texture properties and microbiological quality as control. When these fatty byproducts were used at 50% substitution level, differences in several color properties and sensorial attributes (color, flavor, and meat taste) were noticed with respect to control. When the substitution level was reduced to 40%, no sensorial differences were detected. Chicken fatty byproducts can be successfully applied as partial replacement of chicken skin in emulsion-type sausages.

Keywords: fatty byproducts; chicken sausages; chicken skin; quality properties

1. Introduction

Latin American poultry farming will grow at a pace higher than the world average over the next ten years. In this period, global poultry farms will grow 2.5% per year, while in Latin America, the estimate is 4% per year. This major advance in the region is marked by the current economic scenario, in which birds benefit from their greater price competitiveness and consumer preference. In the Latin American market, about 50% of total animal protein consumption is chicken meat. South American countries like Peru, Colombia, and Bolivia have shown significant growth in recent years [1]. In Colombia, poultry farming has been consolidated as a determining factor in the growth of the gross domestic product (GDP) of the agricultural sector [2]. Due to this increase in poultry production, many food industries have focused their strategy on innovation and the development of new poultry meat products [3]. Sausages are one of the oldest forms of meat processing, made by minced meat, salt, spices, and other seasonings stuffed in intestine or artificial case [4,5]. Many varieties have been developed, influenced by climate, religion, availability of ingredients, and processing and preservation methods. Now, it can be said that nearly every culture has its own version of a sausage [4]. It is currently the most produced meat product due the low costs and lack of requirement for sophisticated technology [6]. In addition, it has had a significant increase in consumption throughout the world due

to its convenience and practicality [5]. On this point, the market for poultry sausages has been growing not only due to their healthier properties related to meat and fat composition (mainly regarding fatty acids), but also because their consumption is not forbidden by any religion.

An emulsion-type sausage is a mixture of meat, fat, water, spices, and additives in which fat is dispersed more or less uniformly in a continuous, highly hydrated protein matrix. The fat droplets do not necessarily remain globular, and they may coalesce with each other, but they cannot escape from the matrix to produce a single phase. The desirable properties of emulsion-type sausages are largely determined by the stability of moisture and fat binding in the highly hydrated gellable protein matrix. In addition, the moderate denaturalization of muscle proteins during the thermal process gives a fine texture and flavor to emulsion-type sausages. In this type of sausage, fat is an essential component because it improves the tenderness, juiciness, and overall palatability [7–9]. Traditionally, in most chicken sausages, the used source of fat does not come from chicken but mostly from pork (back fat) or, in some cases, beef (tallow) [10–12] mainly due to their superior technological characteristics [8,9] and, also, their greater availability. Nevertheless, the nutritional quality of these fatty sources (regarding their high fatty acid composition) and, also, some religion demands are the main inconvenience nowadays. For this reason, chicken skin is being used as the main fatty source in chicken sausages.

On the other hand, some of the byproducts generated during poultry slaughtering (viscera, bones, head, cartilage, crest, blood, abdominal fat, feet, and fethers), which represent almost 37% of the total live weight of the animal [13], could be reused, increasing their nutritional and environmental value and providing sustainable development for food industries and supporting the value chain in this sector [14]. More specifically, the abdominal and gizzard fat that remain inside the poultry carcass could be used as a fatty source for the production of chicken sausages or other meat products, mainly considering their characteristic content in monounsaturated fatty acids and vitamin A [15]. Until now, this abdominal and gizzard fat has been discarded by small producers together with viscera, feathers, and blood, creating an environmental problem, or in some cases, are sold to outlets such as animal feed and pet food processors [16,17]. The aim of this work is to evaluate the effect of the partial substitution of chicken skin by fatty byproducts (abdominal and gizzard fat) on the quality of a traditional Colombian sausage (emulsion-type).

2. Materials and Methods

2.1. Sausages Preparation

Chicken sausages were prepared in a production plant (Frico, Medellín, Colombia) following industrial production practices. The formulations of the chicken sausages are shown in Table 1. As can be seen in this table, the sausages were made from chicken breast (35.8%), mechanically deboned chicken meat (15%), and chicken fat (22.5%). Three treatments were conducted depending on the chicken fat source: control (chicken skin as fat source), 40SFB (40% of chicken skin was substituted by chicken fatty byproducts), and 50SFB (50% of chicken skin was substituted by chicken fatty byproducts). The chicken breast and skin were ground in a JIMO JR 12 grinder (Torrey, México) with a mesh diameter of 5 mm previously to be added to the cutter (Cruells, Girona, Spain). All ingredients were added to the cutter with 120 kg capacity, following the order and mixing times indicated in Table 1. The temperature of the emulsion was controlled and maintained below 10 °C by monitoring with a digital temperature probe during the process. The meat emulsion is formed when the proteins are solubilized and the fat particles suspended and entrapped within the protein matrix. Then, the meat batter was stuffed into artificial casings (45 mm diameter, ALIFLEX coextrusion casings in polyamide and polyolefins, Alico S.A., Medellín, Colombia) using a hydraulic stuffer (AK Ramón, Barcelona, Spain) and manually clipped pieces of approx. 500 g, and cooked in an oven (CI Talsa, Medellín, Colombia) until reaching 75 °C at the center of the sausage (approx. 30 min). After cooking, sausages were immediately cooled in an ice bath and stored at 4 °C until analysis. Processing was repeated three times with each formulation.

Table 1. Formulation of chicken sausages (40SFB: 40% substitution of chicken skin by fatty byproducts; 50SFB: 50% substitution of chicken skin by fatty byproducts).

Ingredient	Mixing Time (min)	Control	40SFB	50SFB
		kg	kg	kg
Chicken breast	10 min	43	43	43
MDM ¹ (chicken)		18	18	18
Sodium lactate		2.3	2.3	2.3
Water		3	3	3
Salt		0.25	0.25	0.25
Cured salt (12% potassium nitrate)		0.2	0.2	0.2
Accord phosphates		0.54	0.54	0.54
Flavor mix for sausages ²		1.51	1.51	1.51
Isolate soya protein	2 min	2.5	2.5	2.5
Binder XT 202		4.8	4.8	4.8
Water	4 min	4	4	4
Acid violet 051 (added to water for dilution)		30 mL	30 mL	30 mL
Water	4 min	4	4	4
Wheat flour		4.5	4.5	4.5
Sodium ascorbate		0.40	0.40	0.40
Wheat starch		4	4	4
Chicken skin (minced)		27	16.2	13.5
Chicken fat byproducts			10.8	13.5
TOTAL	20 min	120	120	120

¹ MDM: mechanically deboned meat. ² Flavor mix for sausages: coriander, mace, cumin, BHT, citric acid, silicon dioxide and liquid smoke.

2.2. Proximate Composition

The proximate composition of chicken sausages was determined following the methodologies described by AOAC [18] for moisture content (No. 950.46.41), ashes (No. 920.153), proteins (No. 928.08), and fats (No. 991.36).

2.3. Color Evaluation

For color measurements, sausages were cut to approx. 2.5 cm thickness and the measurements were made directly on the internal part of the sausage using a spectrophotometer SP62 (X-RITE, Grand Rapids, MI, USA) with a 64 mm diameter illumination area. Color measurements were based on the CIELAB color space, selecting illuminant D₆₅ and 10° observer, following American Meat Science recommendations [19]. The following color coordinates were determined: lightness (L*), redness (a*, ± red-green), and yellowness (b*, ± yellow-blue). The chroma saturation index ($C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$), the hue angle ($h^* = \tan^{-1} b^*/a^*$), and the color differences ($\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$) were also estimated with respect to control sausages.

2.4. Texture Profile Analysis

The texture profile analysis (TPA) was selected for evaluating sausage textural properties [20]. Samples were cut into 25 mm cubic sections (height × length × width). The textural properties for each sample were measured using a cylinder probe (35 mm diameter) set attached to a Texture Analyzer (TA-XT2i, Stable Micro System Ltd., Surrey, UK). The following test conditions were applied: stroke, 1.5 kg; test speed, 4 mm/s; distance, 10 mm (40% compression). Although TPA gives the values of 7 parameters, the most commonly discussed in reference to meat protein gelation are the following: hardness [peak force on first compression (N)], cohesiveness [ratio of active work done under the second force–displacement curve to that done under the first compression curve], springiness [ratio of the sample recovered after the first compression], gumminess [hardness × cohesiveness], and chewiness [hardness × cohesiveness × springiness (N)] were computed.

2.5. Microbiological Analysis

A 25 g sample of each product was taken aseptically by scalpel excision and placed in a sterile Stomacher bag containing 225 mL of peptone water (PW, Oxoid Ltd., Hampshire, England). The samples and the PW were stomached (Stomacher 400, A.J. Seward, London, England) for 2 min. Decimal dilutions were carried out using the same diluent. All dehydrated microbiological media, except for Sulfite Polymyxin Sulfadiazine Agar (SPS agar) and chromID[®] Coli (Coli ID) were from Oxoid (Basingstoke, UK), whereas SPS agar was from Merck (Darmstadt, Germany) and Coli ID from Biomeriux (Lyon, France). Mesophiles were determined using plate count agar spread plates incubated at 30 °C for 72 h (mesophiles) [21]. *Salmonella* was cultured using Brilliance[™] Salmonella Agar for 24 h at 37 °C [22]. *Listeria monocytogenes* was cultured using Listeria Oxford Agar for 48 h at 30 °C [23]. Spores of sulfite-reducing *Clostridium* were cultured with SPS agar incubated at 35 °C in an anaerobic atmosphere for 72 h [24]. Total coliforms and *Escherichia coli* were cultured using Coli ID chromogenic medium incubated at 37 °C for 22 h [25]. Baird Parker Agar was used for the detection and enumeration of coagulase-positive staphylococci (incubated at 35 °C for 48 h) [26]; positive strains were confirmed by the coagulase test. All assays were performed according to the Bacteriological Analytical Manual of the U.S. Food and Drug Administration [27]. Microbial counts are expressed as CFU/g.

2.6. Sensory Evaluation

For the sensorial analysis of sausages, descriptive and quantitative tests were applied following ISO 4121 [28]. Sensory analyses were conducted by 7 trained panelists from the Sensorial Analysis Laboratory at the Food Science and Technology Institute (INTAL, Colombia). Each sausage was warmed (17 ± 2 °C), sliced into 10 mm thick slices (25 g approx.), coded randomly, and served to panelists. The following descriptors were selected for the sausage evaluation: color, flavor, typical meat taste, saltiness, off-taste, condiment taste, hardness, chewiness, and fat mouthfeel. A 7-point scale was used to evaluate the attributes with the following degrees of intensity: 1 = none, 2 = slight, 3 = slight-medium, 4 = medium, 5 = medium-high, 6 = high and 7 = intense. At the end, each panelist was asked about the overall quality of the product (low, medium, or high). Panelists cleansed their palate with water between samples.

2.7. Statistical Analysis

One-way analysis of variance was carried out to verify the effect of sausage formulation on chemical, physicochemical, microbiological, and sensory properties. Three samples, each contained three replicates for the experiment, were analyzed in triplicate. Tukey's test was performed when ANOVA revealed significant differences ($p < 0.05$) between treatments. The SPSS software (v. 26.0) was used to perform the statistical test.

3. Results & Discussion

3.1. Proximate Composition

Table 2 shows the proximate composition of chicken sausages as affected by the fat source used. Sausages with fatty byproducts added (40SFB and 50SFB) showed lower moisture content but higher fat content than control ($p < 0.05$), while the protein and ash contents were not affected ($p > 0.05$) by this substitution. These differences are related to the different composition of skin and fatty byproducts. Skin has higher moisture content but lower fat content than fatty byproducts [29,30]. Chicken sausages with 40% and 50% substitution levels (40SFB and 50SFB) only showed differences ($p < 0.05$) in fat content: the higher the substitution level, the higher the fat content. This trend regarding the behavior of fat and moisture in meat products depending on the percentages of added fats agrees with the reports of other authors for several meat products [31,32]. For this reason, nutritional requirements for cooked meat products in several official regulations are expressed as minimal protein content, maximal fat content, and maximal fat + moisture content. In this case, all sausages showed values within the

ranges allowed by the Colombian regulation for cooked sausages (protein > 10%, fat < 28%, fat + moisture < 90%) [33]. Taking into account that the lipid profile of chicken fat has been reported as highly healthy, mainly due to the predominance of unsaturated fatty acids (65.5%) over saturated fatty acids (30.3%) [30,34] without significant differences from different chicken carcass parts (skin, adipose tissue, and meat) [29,30,35], no differences in the lipid profile of these sausages would be expected.

Table 2. Proximate composition of chicken sausages with different substitution level (%) of chicken skin by chicken fatty byproducts (40SFB: 40% substitution of chicken skin by fatty byproducts; 50SFB: 50% substitution of chicken skin by fatty byproducts).

	Moisture (%)	Fat (%)	Protein (%)	Ash (%)
Control	62.17a	10.14c	13.04a	3.42a
40SFB	61.63b	13.08b	12.54a	3.52a
50SFB	61.40b	14.67a	12.43a	3.42a

a–c: Different letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

3.2. Color Properties

Color is regarded, first, as a qualitative criterion in meat products and plays a key role in consumer's perception and product acceptability [36]. Color parameters of sausages are shown in Table 3. Saturation index (C^*) was the only color parameter that was not affected ($p > 0.05$) by the substitution of chicken skin by fat byproducts at any of the studied concentrations. The highest differences in the color parameters (respect to control) were observed in sausages with 50% substitution. These sausages were lighter and showed less redness and high yellowness and hue than control ($p < 0.05$). On the contrary, when fatty byproducts were added at 40% substitution, only yellowness and hue values were significantly affected ($p < 0.05$). Modifications in lightness and a^* and b^* coordinates in meat products have been related to the fat content; the higher the amount of fat, the lower redness but the higher the L^* and b^* values. According to Hughes et al. [37], it was noted that reducing the fat content resulted in a decrease in both lightness and yellowness as well as an increase in the redness values of Frankfurt sausages. This pattern has been reported in several comminuted and emulsified meat products by other authors [6,38,39]. Chicken skin has less than 30% fat content in comparison with 75% in fatty byproducts [29,30]. These differences between the yield for lipid extraction between chicken skin and fat byproducts could be responsible for these color modifications in the sausages.

Table 3. Color parameters of chicken sausages with different substitution level (%) of chicken skin by chicken fatty byproducts (40SFB: 40% substitution of chicken skin by fatty byproducts; 50SFB: 50% substitution of chicken skin by fatty byproducts).

SAMPLE	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*	ΔE^*
CONTROL	66.41 ± 0.21b	13.33 ± 0.09a	18.76 ± 0.15b	23.00 ± 0.15a	54.60 ± 0.20b	
40SFB	67.62 ± 0.25b	13.42 ± 0.11a	19.70 ± 0.20a	23.82 ± 0.23a	56.73 ± 0.25a	2.2
50SFB	69.42 ± 0.26a	12.51 ± 0.12b	19.93 ± 0.17a	23.53 ± 0.19a	57.87 ± 0.15a	3.3

a–b: Different letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

Looking the reflectance spectra (Figure 1) of the sausages, it can be also observed that sausages with 50% substitution showed lower ($p < 0.05$) percentages of reflectance, for all wavelengths, than the control and 40% substitution sausages (without significant differences between them). In spite of these changes, it could be said that the three spectra kept the typical shape attributed to the meat reflectance spectrum without being affected by the level of chicken skin substitution. It must be taken into account that this typical shape of the meat reflectance spectrum is determined by the major pigment in meat (myoglobin) and by the relative amounts of its three forms, i.e., deoxymyoglobin, metmyoglobin, and oxymyoglobin and their interconversions and degradations through oxygenation, oxidation, and reduction reactions, ultimately influencing the appearance of meat color [19].

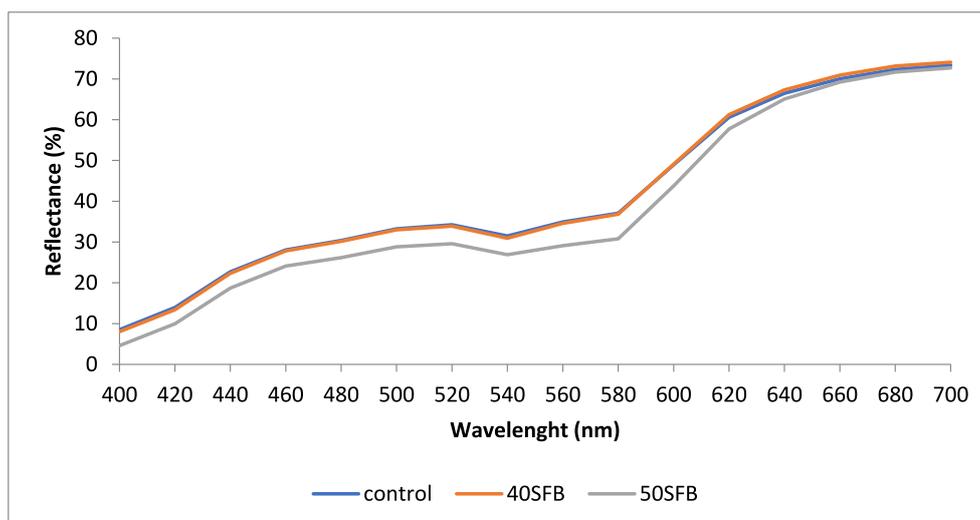


Figure 1. Reflectance spectra (360–740 nm) of chicken sausages [control, 40SFB (40% substitution of chicken skin by fatty byproducts and 50SFB (50% substitution of chicken skin by fatty byproducts)].

3.3. Texture Properties

Texture properties of sausages (hardness, cohesiveness, gumminess, springiness and chewiness) were not affected ($p > 0.05$) by the replacement of chicken skin by fatty byproducts at any level. The following overall values of TPA parameters obtained for chicken sausages were hardness: 497.4 ± 92.9 N; springiness: 0.75 ± 0.11 mm; cohesiveness: 0.18 ± 0.09 ; gumminess: 89.5 ± 9.7 N; and chewiness: 53.9 ± 6.50 N mm. Several modifications in texture properties have been reported in cooked meat products regarding formulation modifications in reference not only to the type of ingredient but also to its concentration [6,39–42]. Texture in comminuted and cooked meat products has been related to the ability of meat proteins to bind to water and fat and create a protein matrix in addition to their stability during processing (addition of salt, non-meat binders, heat treatment, etc.) affecting their emulsifying and gelling properties in the meat batter. Water and fat can interact with other ingredients to develop a desirable texture and mouthfeel and vitally influence the overall quality of the product. In this case, the partial replacement of chicken skin by chicken fat byproducts did not modify the sausage's texture, which could be attributed to the high stability of the protein matrix, which is able to bind water and fat regardless of the fat source used. These results could indicate the feasibility of chicken skin replacement (up to 50%) by fat byproducts in sausage.

3.4. Microbiological Analysis

The substitution of chicken skin with chicken fat byproducts (at any level) did not influence ($p > 0.05$) the microbiological quality of chicken sausages. Table 4 shows the microbial counts of chicken sausages. All these values were within acceptability limits prescribed by Colombian legislation [33].

Table 4. Microbial counts in chicken sausages.

Microorganisms	Results (CFU/g)		
	CONTROL	40SFB	50SFB
Mesophiles	1234 ± 130	1086 ± 180	1160 ± 147
Total coliforms	<10	<10	<10
<i>E. coli</i>	<10	<10	<10
Coagulase-positive <i>Staphylococcus</i>	<100	<100	<100
<i>Salmonella</i>	Absence/25 g	Absence/25 g	Absence/25 g
<i>Listeria monocytogenes</i>	Absence/25 g	Absence/25 g	Absence/25 g
Spores of sulfite-reducing <i>Clostridium</i>	<10	<10	<10

3.5. Sensory Evaluation

The results of sensory assessment are shown in Figure 2. No significant changes ($p > 0.05$) were observed in the scores of all the evaluated attributes between control and 40% substitution chicken sausages. No significant differences ($p > 0.05$) were found in terms of fat mouthfeel, chewiness, hardness, off-taste, saltiness, and condiment taste amongst all groups. However, 50% substitution sausages showed significant differences ($p < 0.05$) in terms of color, flavor, and meat taste. These 3 attributes were scored worse by the panelists for the 50% substitution sausages. The results obtained for the sensorial evaluation of texture (chewiness and hardness) are in agreement with the instrumental texture measure because texture differences between chicken sausages were not detected in any case.

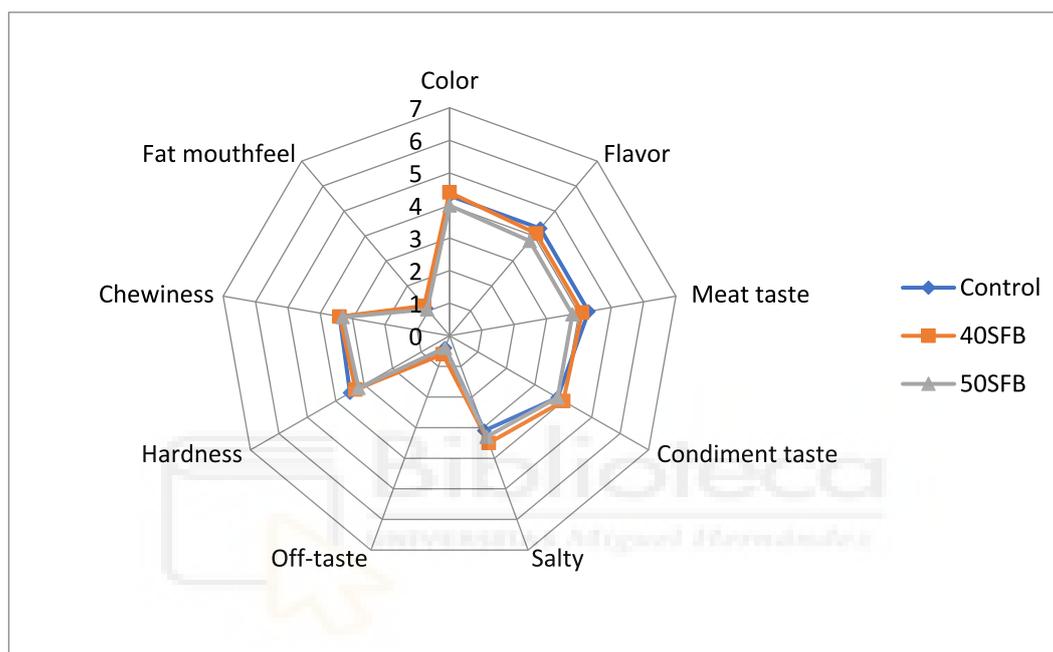


Figure 2. Sensory evaluation of chicken sausages [control, 40SFB (40% substitution of chicken skin by fatty byproducts and 50SFB (50% substitution of chicken skin by fatty byproducts)].

The objective color measure of sausages is also in agreement with sensorial results. Although in 40SFB sausages, the objective color measure showed significant differences with control samples for yellowness and hue values, their color differences (ΔE^*) with respect to control were lower than 3 units (Table 3), which is under the level that could be detected by human eye and, so, these differences could not be detected by sensorial analysis. On the contrary, 50SFB sausages showed higher color differences (3.3; Table 3) contributing to being perceived as different by panelists.

4. Conclusions

The results of this study show that chicken fatty byproducts could be used in place of chicken skin in chicken emulsion-type sausages. Sausages with fatty byproducts added (40SFB and 50SFB) showed lower moisture but higher fat content than control. Nevertheless, all of them meet the nutritional requirements of the Colombian regulation for this type of meat products. When these fatty byproducts were used at 50% substitution level, several differences in color properties (but without affecting the typical shape of reflectance spectrum in this type of meat product) were noticed with respect to control, and differences in color, flavor, and meat taste were also detected by panelists. Therefore, when the substitution level was reduced to 40%, no sensorial differences were detected with respect to control sausages. This study suggests that chicken sausages with 40% substitution of chicken skin by chicken fatty byproducts is a highly marketable option.

Author Contributions: Conceptualization, J.F.-L., and L.M.P.-S.; Methodology, L.M.P.-S., and J.A.P.-A.; Validation, L.M.P.-S., and J.A.P.-A.; Investigation, J.F.-L., and J.A.P.-A.; Resources, L.M.P.-S.; Writing—Original draft preparation, L.M.P.-S., and J.F.-L.; Writing—Review and editing, J.F.-L., and J.A.P.-A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Acknowledgments: IPOA researchers are members of the HealthyMeat network, funded by CYTED (ref. 119RT0568).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

References

1. Marques, H.L. Avesui Latin America. 2019. Available online: <https://en.avesui.com/noticias/in-latin-america-poultry-production-will-grow-nearly-double-world-average/20191002-091938-K505> (accessed on 10 March 2020).
2. FENAVI. Consumo per Capita Mundial de Carne de Pollo. Federación Nacional de Avicultores de Colombia. 2019. Available online: <https://fenavi.org/estadisticas/consumo-per-capita-mundo-pollo/> (accessed on 12 February 2020).
3. Le Guerhier, F. Processing of Poultry Fat. 2012. Available online: <http://www.fao.org/catalog> (accessed on 14 January 2020).
4. Savadkoobi, S.; Hoogenkamp, H.; Shamsi, K.; Farahnaky, A. Color, sensory and textural attributes of beef frankfurter, beef ham and meat-free sausage containing tomato pomace. *Meat Sci.* **2014**, *97*, 410–418. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Jayawardana, B.C.; Liyanage, R.; Lalantha, N.; Iddamalagoda, S.; Weththasinghe, P. Antioxidant and antimicrobial activity of drumstick (*Moringa oleifera*) leaves in herbal chicken sausages. *LWT Food Sci. Technol.* **2015**, *64*, 1204–1208. [[CrossRef](#)]
6. Choe, J.H.; Kim, H.Y.; Lee, J.M.; Kim, Y.J.; Kim, C.J. Quality of frankfurter-type sausages with added pig skin and wheat fiber mixture as fat replacers. *Meat Sci.* **2013**, *93*, 849–854. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Giese, J. Fats, oils, and fat replacers. *Food Technol.* **1996**, *50*, 48–83.
8. Ospina, -E.J.C.; Cruz, -S.A.; Pérez-Alvarez, J.A.; Fernández-López, J. Development of combinations of chemically modified vegetable oils as pork backfat substitutes in sausages formulation. *Meat Sci.* **2010**, *84*, 491–497. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
9. Ospina, -E.J.C.; Sierra, -C.A.; Ochoa, O.; Pérez-Alvarez, J.A.; Fernández-López, J. Substitution of saturated fat in processed meat products: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2012**, *52*, 113–122. [[CrossRef](#)]
10. Araujo, I.B.S.; Lima, D.A.S.; Pereira, S.F.; Madruga, M.S. Quality of low-fat chicken sausages with added chicken feet collagen. *Poult. Sci.* **2019**, *98*, 1064–1074. [[CrossRef](#)]
11. Glorieux, S.; Steen, L.; Van de Walle, D.; Dewettinck, K.; Foubert, I.; Fraeye, I. Effect of meat type, animal fat type, and cooking temperature on microstructural and macroscopic properties of cooked sausages. *Food Bioprocess. Tech.* **2019**, *12*, 16–26. [[CrossRef](#)]
12. Utama, D.T.; Jeong, H.S.; Kim, J.; Barido, F.H.; Lee, S.K. Fatty acid composition and quality properties of chicken sausage formulated with pre-emulsified perilla-canola oil as an animal fat replacer. *Poult. Sci.* **2019**, *98*, 3059–3063. [[CrossRef](#)]
13. Lafarga, T.; Hayes, M. Bioactive peptides from meat muscle and byproducts: Generation, functionality and application as functional ingredients. *Meat Sci.* **2014**, *98*, 227–239. [[CrossRef](#)]
14. Herrera, M. Taking Advantage of By-Products or Waste in the Poultry Industry for the Production of Animal Meal. Virtual Pro, Bogotá, Colombia. 2008. Available online: <https://www.virtualpro.co/biblioteca/aprovechamiento-de-los-subproductos-o-residuos-en-la-industria-avicola-para-la-produccion-de-harinas-de-origen-animal> (accessed on 12 December 2019).
15. FAO. Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. *FAO Food Nutr. Pap.* **2010**, *91*, 1–166.
16. Barbut, S. Waste Treatment and By-Products. In *The Science of Poultry and Meat Processing*; Creative Commons: Mountain View, CA, USA, 2015; pp. 1–27.

17. Vikman, M.; Siipola, V.; Kanerva, H.; Slizyte, R.; Wikberg, H. Poultry by-products as potential source of nutrients. *Adv. Recycl. Waste Mang.* **2017**, *2*, 1–5.
18. AOAC. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th ed.; Association of Official Analytical Chemistry: Rockville, MD, USA, 2005.
19. AMSA. *Meat Color Measurement Guidelines*; American Meat Science Association: Savoy, IL, USA, 2012.
20. Claus, J.R. Methods for the objective measurement of meat product texture. *Recipr. Meat Conf. Proc.* **1995**, *48*, 96–100.
21. ICMSF. *International Commission on Microbiological Specifications for Foods. Microorganismos de Los Alimentos: Técnicas de Análisis Microbiológico*, 2nd ed.; Acribia: Zaragoza, Spain, 1983.
22. ISO 6579. *Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs—Horizontal Method for the Detection of Salmonella spp.*; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2003.
23. ISO 11290-2. *Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs—Horizontal Method for the Detection and Enumeration of Listeria Monocytogenes*; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2000.
24. ISO 7937. *Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs—Horizontal Method for the Enumeration of Clostridium Perfringens—Colony-Count Technique*; ISO: Geneva, Switzerland, 2004.
25. ISO 4832. *Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs—Horizontal Method for the Enumeration of Coliforms—Colony-Count Technique*; ISO: Geneva, Switzerland, 2006.
26. ISO 6888. *Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs—Horizontal Method for the Enumeration of Coagulase-Positive Staphylococci (Staphylococcus aureus and Other Species)*; ISO: Geneva, Switzerland, 2018.
27. Bennett, R.W.; Lancette, G.A. *Staphylococcus aureus*. In *Bacteriological Analytical Manual*, 8th ed.; Food and Drug Administration: Silver Spring, MD, USA, 2001.
28. ISO 4121. *Sensory Analysis—Guidelines for the Use of Quantitative Response Scales. International Organization for Standardization*; ISO: Geneva, Switzerland, 2003.
29. Feddern, V.; Kupski, L.; Cipolatti, E.P.; Giacobbo, G.; Mendes, G.L.; Badiale-Furlong, E.; de Souza-Soares, L.A. Physico-chemical composition, fractionated glycerides and fatty acid profile of chicken skin fat. *Eur. J. Lipid. Sci. Technol.* **2010**, *112*, 1277–1284. [[CrossRef](#)]
30. Peña-Saldarriaga, L.M.; Fernández-López, J.; Sayas-Barberá, E.; Pérez-Alvarez, J.A. Broiler chickens: Characterization of abdominal and gizzard fat. In Proceedings of the 1st World Congress of Food Safety and Security, Leiden, The Netherlands, 24–28 March 2019; p. 76.
31. Troutt, E.S.; Hunt, M.C.; Johnson, D.E.; Claus, J.R.; Kastner, C.L.; Kroff, D.H.; Stroda, S. Chemical, physical and sensory characterization of ground beef containing 5 to 30 percent fat. *J. Food Sci.* **1992**, *57*, 25–29. [[CrossRef](#)]
32. Biswas, S.; Chakraborty, A.; Sarkar, S.; Barpuzari, R.N.; Barpuzari, T. Effect of incorporation of chicken fat and skin on the quality of chicken sausages. *J. Poult. Sci.* **2007**, *44*, 111–115. [[CrossRef](#)]
33. NTC 1325. *Norma Técnica Colombiana Para La Industria Alimentaria: Productos Carnícos Procesados no Enlatados*; ICONTEC: Bogota, Colombia, 2008.
34. Carrillo-Fernández, L.; Dalmau-Serra, J.; Martínez-Alvarez, R.; Solá-Alberich, R.; Pérez-Jiménez, F. Dietary fats and cardiovascular health. *Clin. Investig. Arterioscler.* **2011**, *23*, 1–36.
35. Chiu, M.C.; Gioielli, L.A.; Grimaldi, R. Structured lipids from chicken fat, its stearin and medium chain triacylglycerol blends. I-Fatty acid and triacylglycerol compositions. *Quim. Nova* **2008**, *31*, 232–237. [[CrossRef](#)]
36. Kamani, M.H.; Safari, O.; Mortazavi, S.A.; Atash, M.M.S.; Azghadi, N.M. Using an image processing based technique and predictive models for assessing lipid oxidation in rainbow trout fillet. *Food Biosci.* **2017**, *19*, 42–48. [[CrossRef](#)]
37. Hughes, E.; Cofrades, S.; Troy, D.J. Effects of fat level, oat fibre and carrageenan on frankfurters formulated with 5, 12 y 30% fat. *Meat Sci.* **1997**, *45*, 273–281. [[CrossRef](#)]
38. Jiménez-Colmenero, F.; Reig, M.; Toldrá, F. New approaches for the development of functional meat products. In *Advanced Technologies for Meat Processing*; Nollet, L.M.L., Toldrá, Y.F., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2006; Chapter 11; pp. 275–308.
39. Choe, J.H.; Kim, H.Y. Quality characteristics of reduced fat emulsion-type chicken sausages using chicken skin and wheat fiber mixture as fat replacer. *Poult. Sci.* **2019**, *98*, 2662–2669. [[CrossRef](#)]

40. Herrero, A.M.; Ordóñez, J.A.; de Avila, R.; Herranz, B.; de la Hoz, L.; Cambero, M.I. Breaking strength of dry fermented sausages and their correlation with texture profile analysis (TPA) and physico-chemical characteristics. *Meat Sci.* **2007**, *36*, 331–338. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
41. Bolger, Z.; Brunton, N.P.; Monahan, F.J. Impact of inclusion of flaxseed oil (pre-emulsified or encapsulated) on the physical characteristics of chicken sausages. *J. Food Eng.* **2018**, *230*, 39–48. [[CrossRef](#)]
42. Kamani, M.H.; Meera, M.S.; Bhaskar, N.; Modi, V.K. Partial and total replacement of meat by plant-based proteins in chicken sausage: Evaluation of mechanical, physico-chemical and sensory characteristics. *J. Food Sci. Technol.* **2019**, *56*, 2660–2669. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

