

Tesis de Doctorado en Agronomía

**Harina de chía (*Salvia hispanica* L.) e hidroxitirosol
como estrategias dietarias en pollos parrilleros:
Avances en la productividad, salud y calidad
tecnológica y nutricional de la carne.**

Mag. Med. Vet. Hebe Tania Fernández

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Agronomía, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Agronomía durante el período comprendido entre el diciembre de 2018 y mayo de 2025 bajo la dirección de la Dra. María Cristina Cabrera, Universidad de la República de Uruguay (Udelar) y la co-dirección de la Dra. Marcela Martínez, UNS.



Mag. Med. Vet. Hebe Tania Fernández



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Subsecretaría de Posgrado

La presente tesis ha sido aprobada el ...07/10/2025.....

mereciendo la calificación de10 (sobresaliente).....

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis ha sido un gran proceso de aprendizaje, no sólo desde lo intelectual, sino también desde lo personal. Una de las lecciones más importantes ha sido el darme cuenta del inmenso valor de poder contar con tantas personas a quienes agradecer por el apoyo brindado durante este largo camino. Deseo expresar mi más profundo agradecimiento:

A mi directora, Cristina Cabrera, por su acompañamiento y confianza depositada en mí para llevar adelante esta tesis. Gracias por su sabiduría, combinada con su sencillez y simplicidad, que ha sido una valiosa enseñanza de vida.

A Marcela Martínez, por su codirección, su visión positiva y su disposición durante el desarrollo de la tesis.

Al Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y por las facilidades otorgadas que me permitieron la realización de mi trabajo de tesis.

Al Programa Escala de Posgrado, Asociación Universidades Grupo Montevideo y al Programa REDES IX – Secretaría de Políticas Universitarias, por permitirme acceder a una beca y a una estancia de investigación en la facultad de Agronomía de la Udelar durante el transcurso de esta tesis.

Nuevamente, un agradecimiento especial a Cristina, y también a Ali y a todo su equipo de trabajo, Marta, Alejandra, Roberto y Carmen, por abrirme las puertas con calidez y hacerme sentir parte en cada uno de mis viajes a Uruguay.

A Carmen y María Inés, quienes fueron parte fundamental en la idea y en el desarrollo de esta iniciativa relacionada con la investigación en aves. Gracias por confiar en esta idea desde el principio y por lograr ese ambiente de trabajo cálido, motivador y alegre.

Una vez más, quiero agradecer de corazón a Carmen, por el tiempo compartido y por hacer que todo pareciera más fácil y posible. Gracias por su amistad, su energía positiva, las risas compartidas y, las enseñanzas que quedarán conmigo.

A Ricardo Camina, por su asesoramiento en el análisis estadístico, por su generosidad y compartir su sabiduría tanto intelectual como humana.

No puedo dejar de agradecer a todos mis compañeros de Agronomía que, quizás sin saberlo con una palabra o un gesto fueron un gran empuje. Especialmente a Verónica, Vicky, Rocío, Claudia y Cecilia por su amistad, consejos y apoyo constante que me han acompañado en este camino, brindándome fuerzas y motivación.

A los tesinistas, quienes le dieron un verdadero sentido a mi carrera profesional. De cada uno me llevo una valiosa enseñanza y, de muchos, una gran amistad. Gracias por tanto esfuerzo.

A los no docentes del Departamento de Agronomía de la UNS, por su valioso apoyo en la reparación y mantenimiento de la Unidad de Experimentación Avícola, donde se llevaron a cabo los ensayos.

De igual manera, quiero agradecer a mis afectos del corazón, principalmente a mis padres, por ser mis modelos y enseñarme el valor de los pequeños gestos y acciones. Gracias, papá, por tu apoyo incondicional y por acompañarme a ser quien soy hoy. Y a vos, mamá, que desde otro lugar seguís tan presente, guiándome siempre.

A mi familia, compañeros incondicionales en esta ruta de la vida, Coto, Joaquín, Martina e Ignacio, quienes han sido mi refugio, mi apoyo y la razón por la cual hoy llego hasta aquí. Gracias por enseñarme cada día a ser una mejor persona, encontrar la fuerza para seguir adelante y superarme.

A mi nieta Ambay, este ser de luz que llegó a mi vida para llenarme de amor y paz.

A mi hermana Cintia, esa compañera incondicional en este viaje de la vida. No solo tuve la suerte de compartir la pasión por nuestra profesión, sino que en todo momento tuve una amiga. Siempre a mil, pero el mundo se paró cuando necesite un minuto, una charla, un consejo.

Finalmente, una reflexión que se ha convertido en una valiosa lección a lo largo de este proceso y que deseo compartir es que: “En la vida, a veces las cosas no suceden cuando uno lo desea, sino cuando realmente deben ser”. Cuando logramos comprender y aceptar esta verdad, aprendemos a confiar en el tiempo, en la vida, y a disfrutar y valorar las pequeñas cosas.

¡!!!Gracias a todos por acompañarme!!!!

RESUMEN

La búsqueda de fuentes alternativas de alimentación animal, que garanticen una producción eficiente y promuevan beneficios adicionales en el producto final, es esencial en la producción avícola. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la adición de un subproducto agroindustrial, la harina de chía, y/o de un antioxidante, el hidroxitirosol (HT), en la dieta de los pollos parrilleros sobre la salud animal, las variables productivas y las características de la carne en cuanto a su estado oxidativo, color y calidad tecnológica y nutricional. Para ello, 96 pollos Cobb fueron distribuidos al azar en 16 grupos de 6 animales y alojados en corrales dispuestos en 4 bloques. En cada bloque, se asignaron al azar los siguientes tratamientos experimentales: 1) C: dieta control (sin harina de chía ni HT); 2) W₃: dieta con 10% harina de chía; 3) W₃+H: dieta con 10% harina de chía + HT (7 mg kg PV⁻¹ día⁻¹) y 4) H: dieta con HT (7 mg kg PV⁻¹ día⁻¹). El período experimental se extendió desde el día 22 hasta los 46 días, momento en el que se realizó la faena y se obtuvieron muestras del músculo *Pectoralis major*. La inclusión de HT en la dieta mejoró el rendimiento de la canal y de la pechuga, mientras que la harina de chía indujo una depresión del crecimiento y un incremento en el peso de los órganos. Sin embargo, los pollos alimentados con la dieta W₃ presentaron menores niveles de colesterol total (CT), triglicéridos (TG) y lipoproteínas de baja densidad (LDL). Adicionalmente, aumentaron los niveles de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), especialmente n-3, AGPI-CLn-3 (AGPI cadena larga: EPA, DPA, DHA), la relación AGPI/AGS (ácidos grasos saturados), el índice de insaturación (UI) y redujeron la relación n-6/n-3, AL/ALA (ácido linoleico/ácido linolénico), el índice de trombogenicidad y los ácidos grasos trans (AGT), aunque generaron un ligero aumento de la peroxidación lipídica en la pechuga. Por otro lado, la inclusión de harina de chía en la dieta afectó negativamente el pH, la capacidad de retención de agua (CRA), la pérdida por goteo (PG) y el color de la carne de la pechuga. No obstante, la adición de HT y su combinación con harina de chía (dieta W₃+H) mejoró la salud del animal. A su vez, aumentó los niveles de ácido linolénico, disminuyó el valor de oxidación de los lípidos y mejoró la calidad tecnológica de la carne, exhibiendo su acción como antioxidante. Los resultados delinean el efecto potencial del uso combinado de harina de chía con HT como componentes dietéticos, conduciendo a la obtención de carnes nutritivas y funcionales con efectos positivos para la salud del consumidor.

ABSTRACT

In poultry production, finding alternative feed sources that achieve efficient production and promote additional benefits in the final product is essential. This research evaluated the effect of adding an agro-industrial by-product, chia meal, and/or an antioxidant, hydroxytyrosol (HT), in the diet of broiler chickens on animal health, productive traits, and the characteristics of the meat regarding its oxidative status, color and technological and nutritional quality. Ninety-six broiler chicks were randomly assigned to 16 groups of 6 animals, randomly placed in pens, which were distributed in 4 blocks. In each block, experimental treatments were assigned: 1) C: control diet (without chia meal and without HT); 2) W₃: diet with 10% chia meal; 3) W₃+H: diet with 10% chia meal + HT (7 mg kg BW⁻¹ day⁻¹); and 4) H: diet with HT (7 mg kg BW⁻¹ day⁻¹). The experimental period lasted from day 22 to day 46, at which point the slaughter was carried out and *Pectoralis major* muscle samples were obtained. The inclusion of HT improved carcass and breast yield, whereas dietary chia meal addition may induce growth depression and higher organ weight. However, the chia meal diet led to lower serum total cholesterol (TC), triglycerides (TG), and low-density lipoprotein (LDL) concentrations. Additionally, polyunsaturated fatty acids (PUFA), especially n-3, n-3 PUFA-LC (PUFA long chain: EPA, DPA, DHA), the PUFA/SFA (saturated fatty acid) ratio, the unsaturated index (UI) increased, while n-6/n-3 and LA/ALA (linoleic acid/linolenic acid) ratios, thrombogenicity index, and trans fatty acids (TFA) were reduced, although a slight increase in lipid peroxidation in the breast was observed. Moreover, the W₃ diet resulted in negative effects on pH, water holding capacity (WHC), drip loss (DL), and color of the breast meat. However, the addition of HT and its combination with chia meal (W₃+H) improved animal blood health. Moreover, increased acid α -linolenic levels, decreases the lipid oxidation value of the breast and improved technological meat quality, exhibiting its action as an antioxidant. Therefore, the results highlight the potential effect of combining chia meal with HT as dietary components, resulting in meat with enhanced nutritional and functional quality for human health.

ÍNDICE GENERAL

PREFACIO	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Carne aviar como alimento nutricional y funcional	3
2.2. Calidad de la carne aviar	4
2.2.1. Perfil lipídico de la carne	4
2.2.1.1. Ácidos grasos poliinsaturados.....	4
2.2.1.2. Relación n-3 y n-6.....	6
2.2.1.3. Fuentes de n-3 en la dieta de las aves.....	9
2.2.1.4. Harina de chía en la alimentación de pollos parrilleros.....	9
2.2.2. Procesos oxidativos en la carne aviar	11
2.2.2.1. Estrés oxidativo.....	11
2.2.2.2. Oxidación de lípidos y proteínas	11
2.2.2.3. Sistema antioxidante.....	13
2.2.2.4. Efectos de la dieta en la oxidación de la carne.....	14
2.2.2.5. Antioxidantes en la dieta de aves.....	14
2.2.2.6. Hidroxitirosol y su impacto antioxidante en la carne de aves.....	17
2.2.3. Uso combinado de harina de chía e hidroxitirosol	19
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS GENERALES.....	20
3.1. HIPÓTESIS.....	20
3.2. OBJETIVOS GENERALES.....	20
3.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA ADICIÓN DE HARINA DE CHÍA E HIDROXITIROSOL EN LA DIETA DE POLLOS PARRILLEROS SOBRE PARÁMETROS PRODUCTIVOS, SALUD DEL ANIMAL Y CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LA CARNE.....	22
4.1. INTRODUCCIÓN.....	22
4.2. HIPÓTESIS.....	24
4.3. OBJETIVOS.....	24
4.4. MATERIALES Y MÉTODOS	25
4.4.1. Caracterización del sitio experimental	25

4.4.2. Animales, dietas y protocolo experimental.....	25
4.4.3. Determinaciones.....	28
4.4.3.1. Determinación de los parámetros de respuesta productiva animal.....	28
4.4.3.2. Determinación del peso de órganos internos, grasa abdominal y pH intestinal.....	29
4.4.3.3. Análisis de parámetros sanguíneos.....	29
4.4.3.4. Determinación de pH, calidad tecnológica y color de la carne	29
4.4.4. Análisis estadístico	30
4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.5.1. Parámetros productivos, peso de faena y de cortes comerciales	31
4.5.2. Peso de órganos internos, grasa abdominal y pH intestinal	35
4.5.3. Perfil Sanguíneo.....	44
4.5.4. Características tecnológicas y color de la carne.....	48
4.6. CONCLUSIONES.....	53
5. CALIDAD DE LA CARNE DE POLLOS PARRILLEROS ALIMENTADOS CON DIETAS ADICIONADAS CON HARINA DE CHÍA E HIDROXITIROSOL: COMPOSICIÓN NUTRICIONAL, PERFIL LIPÍDICO, ÍNDICES DE SALUD Y COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES (CFT).....	54
5.1. INTRODUCCIÓN.....	54
5.2. HIPÓTESIS.....	55
5.3. OBJETIVOS.....	56
5.4. MATERIALES Y MÉTODOS	56
5.4.1 Animales, condiciones experimentales y toma de muestras	56
5.4.2. Determinaciones.....	56
5.4.2.1. Composición nutricional y perfil de ácidos grasos de la pechuga	56
5.4.2.2. Cálculo de los índices del metabolismo lipídico y de actividad enzimática como indicadores de la salud del consumidor.....	57
5.4.2.3. Determinación del contenido de compuestos polifenólicos totales (CFT)	58
5.4.2.4. Determinación de la estabilidad oxidativa.....	59
5.4.2.5. Análisis estadístico.....	59
5.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
5.5.1. Composición nutricional y perfil lipídico.....	59
5.5.2. Índices del metabolismo lipídico y de actividad enzimática como indicadores de la salud del consumidor.....	66
5.5.3. Contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) de la pechuga	70
5.5.4. Estabilidad oxidativa de la pechuga	72
5.6. CONCLUSIONES.....	74

6. INTERRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL ANIMAL Y LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA CARNE BAJO LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES.....	75
6.1. Introducción.....	75
6.2. Análisis estadístico.....	75
6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	75
7. CONCLUSIONES FINALES	79
8. CONSIDERACIONES FINALES	80
9. BIBLIOGRAFÍA.....	81
10. ANEXO.....	110
ANEXO I. Primer artículo.....	110
ANEXO II. Segundo artículo.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de los ácidos grasos poliinsaturados n-3 linolénico y n-6 linoleico. Adaptado de Ng et al. (2012).....	5
Figura 2. Desaturación y elongación de ácidos grasos n-3 y n-6. Adaptado de Simopoulos et al. (2016).....	5
Figura 3. Proceso de peroxidación lipídica. Adaptado de Dominguez et al. (2019).....	12
Figura 4. Estructura química del Hidroxitirosol. Obtenida de Robles-Almazan et al. (2018).....	17
Figura 5. Oxidación lipídica (MDA, µg/g carne) en el músculo Pectoralis de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre los distintos tratamientos.....	70
Figura 6. Contenido de compuestos fenólicos totales en músculo Pectoralis de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre los distintos tratamientos.....	72
Figura 7. Biplot de los diferentes tratamientos (cuadrado azul: control; triángulo rojo: W ₃ ; rombo verde: W ₃ +H; punto celeste: H) y las variables (vectores) medidas en el animal y en la calidad de la carne representadas por las dos componentes principales (CP1 y CP2). Solo se presentaron las variables que tienen más del 50% de reconstrucción en este plano.....	75
Figura 8. Biplot de los diferentes tratamientos (cuadrado azul: control; triángulo rojo: W ₃ ; rombo verde: W ₃ +H; punto celeste: H) y las variables(vectores) medidas en el animal y en la calidad de la carne representadas por las dos componentes principales (CP1 y CP3). Solo se presentaron las variables que tienen más del 50% de reconstrucción en este plano.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efecto de diferentes subproductos del proceso de obtención del aceite de oliva en la dieta pollos parrilleros.....	16
Tabla 2. Ingredientes y composición química del alimento iniciador (0-21 días).....	25
Tabla 3. Ingredientes y composición química de las dietas experimentales.....	26
Tabla 4. Composición química de la harina de chía.	26
Tabla 5. Parámetros productivos de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad.	31
Tabla 6. Peso vivo de faena, peso relativo de la canal y cortes comerciales de pollos parrilleros machos alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 42 días de edad.	32
Tabla 7. Peso relativo de órganos internos, pH y largo de intestino de pollos parrilleros machos de 46 días de edad alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol.	36
Tabla 8. Parámetros sanguíneos y relación LDL/HDL de pollos parrilleros machos de 41 días de edad alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol..	44
Tabla 9. Parámetros tecnológicos y color del músculo <i>Pectoralis major</i> de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad.....	48
Tabla 10. Parámetros nutricionales del músculo <i>Pectoralis major</i> de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad.....	59
Tabla 11. Composición de ácidos grasos (% total de ácidos grasos) en la pechuga de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad.....	60
Tabla 12. Relación AGPI/AGS, n-3, n-6 y sus relaciones e índices lipídicos en la pechuga de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad	66

Tabla 13. Índices de actividad enzimática del metabolismo lipídico estimado sobre la base de la composición de ácidos grasos en la pechuga de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad..... 69

Tabla 14. Correlación entre las variables y los componentes; y el porcentaje de reconstrucción de cada variable en el plano de las dos primeras componentes principales o entre la primera y la tercera componente principal..... 74

1. INTRODUCCIÓN

Argentina es un país donde la producción de carne animal representa una actividad económica importante, representando el 30% del Valor Bruto de Producción de las cadenas agroalimentaria (Bolsa de Comercio de Rosario, 2021). En particular, la carne aviar ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, alcanzando una producción de 2,30 millones de toneladas de carne, ocupando el décimo lugar a nivel mundial y octavo como exportador (Ministerio de Economía, 2024). En lo referido al consumo interno, se observó una tendencia similar, con valores de 45,16 kg/hab/año en el 2024 (Ministerio de Economía, 2024). Estos incrementos son el resultado de una producción basada principalmente en un sistema intensivo de integración vertical, traducido en la obtención de un animal de alto rendimiento, libre de hormonas y sin el agregado de promotores del crecimiento. Estas características posicionan a la Argentina con un valor comercial alto en lo que se refiere a producción de pollos, así como de sus productos derivados.

Para lograr estas metas, el sector avícola argentino ha basado su producción en cuatro pilares principales: genética, manejo, sanidad y nutrición. Dado que la cría de pollos parrilleros es una de las producciones de carne más eficientes en transformar recursos agrícolas en una fuente de proteína de alta calidad, un manejo nutricional adecuado resulta clave en el proceso de producción primaria (Clavijo y Flórez, 2018). Además, la alimentación representa el 70% del costo total de producción, lo que la convierte en un factor determinante para la competitividad del sector (Thirumalaisamy et al., 2016; Mahasneh et al., 2024). Por ello, en la actualidad existe un creciente interés en encontrar fuentes alternativas de alimentación que garanticen una producción eficiente a la vez que promuevan un beneficio adicional en el producto final generado y presenten un bajo impacto ambiental. En este sentido, el uso de subproductos de la agroindustria y sus derivados, se perfila como una estrategia valiosa para optimizar la producción, mejorar la calidad de la carne y reducir los costos dentro de un modelo de producción sustentable.

En todo el mundo se generan anualmente gran cantidad de residuos y subproductos debido a los procesos agroindustriales (Sadh et al., 2018; Prado-Acebo et al., 2024). Se estima, que la industria alimentaria genera anualmente alrededor de 1.300 millones de toneladas de residuos agroalimentarios, lo que equivale a un tercio de la producción de alimentos (FAO, 2019). La posibilidad de utilizar ciertos residuos y subproductos provenientes de la actividad agroindustrial como materia prima en la alimentación de

pollos parrilleros permitirá su transformación en proteína animal de alta calidad, revalorizando el sistema productivo y, al mismo tiempo, protegiendo el componente ambiental. La presente tesis propone abordar el desarrollo de una estrategia experimental innovadora, basada en el uso de dos productos agroindustriales: 1. la harina de chía, subproducto del proceso de obtención del aceite de chía (*Salvia hispanica* L.) y 2. el hidroxitirosol (HT; 2-(3,4-dihydroxyphenylethanol)), potente antioxidante natural que se encuentra como componente mayoritario en los subproductos remanentes de la industria olivícola. El estudio de estos componentes y su potencial uso en la producción aviar, se enfocará en profundizar sus efectos sobre la utilización de nutrientes, el desarrollo del tracto gastrointestinal, la salud y el rendimiento de las aves, así como en las características tecnológicas, nutricionales y funcionales de la carne. La comprensión de estas funciones permitirá desarrollar programas de nutrición que incluyan el agregado de estos aditivos en niveles adecuados, promoviendo el aprovechamiento y la correcta utilización de subproductos agroindustriales en sinergia con un sistema de producción sustentable. Todo ello, asociado a una mejora en el desempeño animal y a la obtención de carnes más saludables y nutritivas.

Esta tesis plantea el estudio del desempeño y la salud de las aves durante la etapa de terminación, así como la evaluación de las características tecnológicas, nutricionales y funcionales de la carne obtenida. De este modo, se generará conocimiento sobre la producción de pollos parrilleros y los atributos de la carne fresca. Finalmente, se integrarán los resultados de ambos enfoques, relacionando los factores evaluados para obtener una visión integral. En los párrafos siguientes se abordan los antecedentes más relevantes referidos a los componentes dietarios propuestos en esta tesis. Asimismo, se proporcionará información acerca de los atributos de la carne de pollo y los diversos factores nutricionales que inciden en su calidad y oxidación.

2. ANTECEDENTES

2.1. Carne aviar como alimento nutricional y funcional

En la actualidad, los consumidores son cada vez más conscientes de la importancia del valor nutricional de los alimentos que consumen. Esto último, sumado al concepto actual de estar en buena condición física y realizar actividades saludables ha conducido a la búsqueda de los alimentos bajos o reducidos en calorías (John et al., 2016). La carne aviar se considera que presenta todas las características para satisfacer esta demanda de alto contenido de nutrientes y bajo en calorías. Aproximadamente, contiene entre un 18,4 y 23,4% de proteína de alto valor biológico y aporta entre 1,3 y 6,0% de lípidos totales (Culioli et al., 2003) con mayor proporción, a diferencia de la carne vacuna, de grasas deseables. Por otro lado, proporciona entre 0,8 y 1,2% de minerales como hierro hemínico, fósforo, zinc, potasio, selenio, y vitaminas del grupo B principalmente niacina (B3), piridoxina (B6) y ácido pantoténico (B5) (Marangoni et al., 2015; Gallinger et al., 2016).

Por otro lado, la carne aviar resulta económicamente más accesible que la carne vacuna, transformándose en una competencia y desplazando la preferencia del consumidor hacia la misma. Además, es un alimento que puede ser incorporado en todas las etapas y condiciones fisiológicas de la vida de las personas (previo, durante y posterior a la gestación, en la lactancia, durante el crecimiento y adultez) (Marangoni et al., 2015). Por otro lado, es consumida en distintas culturas de diferente manera, sin presentar restricciones religiosas para su consumo. Vale considerar que, en los últimos años, el ser humano ha volcado sus preferencias hacia la búsqueda de un alimento que no solo sacie el hambre y cubra los requerimientos nutricionales, sino que, asimismo, sea seguro, reduzca el riesgo de enfermedades y mejore la salud mental (Roberfroid, 2000).

En este sentido, los alimentos funcionales desempeñan un papel destacado, ya que, según la definición del ILSI Europa (2008) un alimento puede considerarse funcional si se demuestra satisfactoriamente que ejerce un efecto beneficioso sobre una o más funciones selectivas del organismo, además de sus efectos nutritivos intrínsecos, de modo tal que resulte apropiado para mejorar el estado de salud y bienestar, reducir el riesgo de enfermedad, o ambas cosas. Según European Consensus on Scientific Concepts of Functional Foods (Diplock et al., 1999) un alimento funcional puede ser un alimento natural, un alimento al que se ha añadido, eliminado o modificado uno o más componentes o cualquier combinación de estas posibilidades.

En este marco, Mir et al. (2017a) revelaron que la carne de ave podría clasificarse como una fuente interesante de alimentos funcionales. De allí que, en la actualidad, existe un creciente interés por encontrar nuevas estrategias dietarias en las aves que enfaticen en la obtención de un producto con dichas características, sobre la base de una producción sustentable. En este sentido, esta tesis se orienta a través del uso de subproductos y productos provenientes de la actividad agroindustrial, en la obtención de carnes con mayores beneficios para el consumidor. A continuación, se profundiza sobre la calidad de la carne, el uso y las características de estos subproductos, así como su posible incorporación en la dieta de pollos parrilleros. Actualmente, la información disponible en esta temática y el uso de estos subproductos es escasa.

2.2. Calidad de la carne aviar

2.2.1. Perfil lipídico de la carne

2.2.1.1. Ácidos grasos poliinsaturados

Al evaluar el perfil lipídico de la carne, hay que tener presente tres grupos principales de grasas: los ácidos grasos saturados (AGS), que se caracterizan por presentar ausencia de doble enlace; los ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) que poseen una sola doble enlace; y los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) que contienen en su estructura más de un doble enlace. Es importante remarcar que, a mayor cantidad de dobles enlaces, más inestable será la molécula y mayor susceptibilidad presentará a sufrir oxidación (Sokoła-Wysoczańska et al., 2018).

Dentro de los AGPI existen dos grupos principales, clasificados como n-3 y n-6, según la ubicación del primer doble enlace a partir del extremo metilo de la cadena. Los AGPI n-3 presentan el primer doble enlace a partir del tercer carbono y los n-6 a partir del sexto carbono de la cadena, de allí su nomenclatura (Sokoła-Wysoczańska et al., 2018). En general se considera que los n-3 resultan esenciales para la salud y el bienestar del ser humano, mientras que los n-6 podrían ser menos beneficiosos (Siddiqui et al., 2004). Dentro de estas familias existen 2 AGPI considerados esenciales, el ácido linolénico (ALA; C18:3 n-3) y el ácido linoleico (AL, C18:2 n-6), los cuales no pueden ser sintetizados endógenamente por el animal y en consecuencia deben ser incorporados con los alimentos (Figura 1) (Glick et al., 2013).

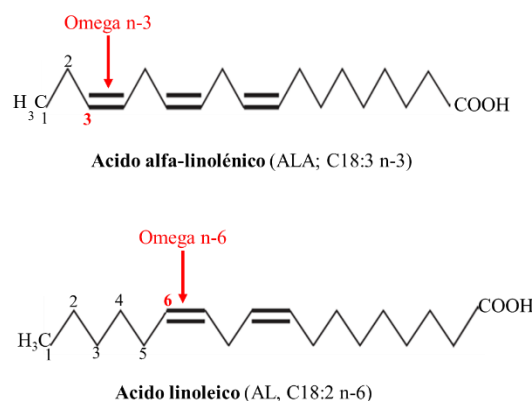


Figura 1. Estructura química de los ácidos grasos poliinsaturados n-3 linolénico y n-6 linoleico. Adaptado de Ng et al. (2012).

Una vez consumidos, los ácidos ALA y AL pueden ser sometidos en el organismo a procesos de desaturación y elongación, dando lugar a la formación de AGPI de cadena larga n-3 (AGPI-CLn-3) como eicosapentaenoico (EPA; C20:5 n-3), docosapentaenoico (DPA; C22:5 n-3) y docosahexaenoico (DHA; C22:6 n-3) y AGPICLn-6 como ácido gamma linolénico (GLA; C18:3 n-6) y ácido araquidónico (AA, C20:4 n-6), entre otros (Figura 2) (López-Ferrer et al., 2001; Simopoulos, 2016). Los seres humanos y la mayoría de los animales, pueden convertir a un nivel bajo el ALA a EPA y DHA (AGPI-CLn-3) y el AL a AA (Castro-González, 2002; Komprda et al., 2013; Reyna et al., 2018).

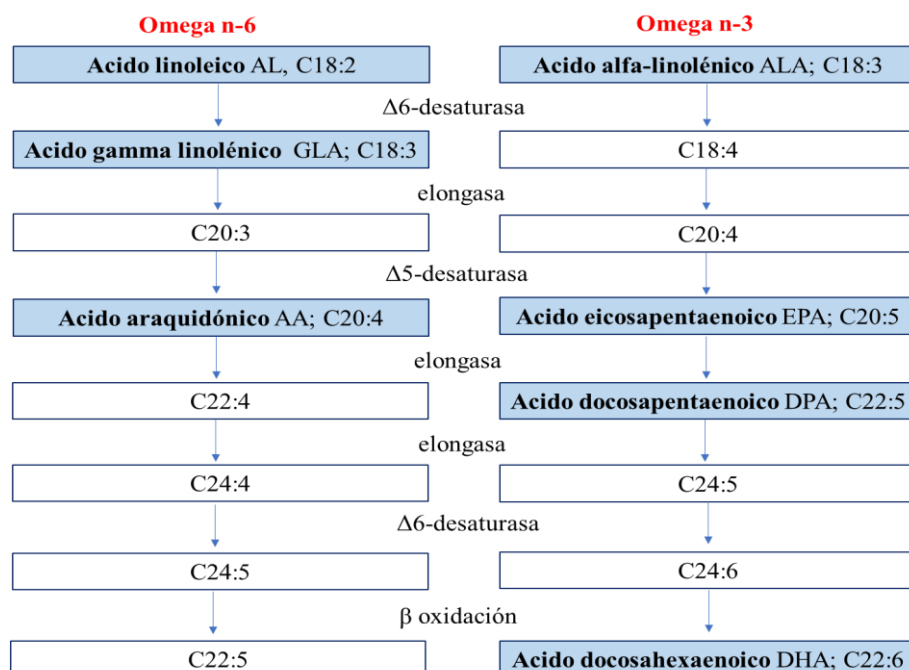


Figura 2. Desaturación y elongación de ácidos grasos n-3 y n-6. Adaptado de Simopoulos et al. (2016).

En el caso particular de la carne de pollo, desde el punto de vista nutricional el perfil lipídico es beneficioso, ya que exhibe bajo contenido de AGS que contribuyen a enfermedades coronarias y aporta una proporción importante de grasas saludables (Ghobashy et al., 2023). Dentro de estas últimas, presenta cantidades significativas de AGMI (principalmente ácido oleico) y, en comparación con la carne de vacuno, ovino o porcino, contiene cantidades sustanciales de AGPI n-6, especialmente el AL y el AA (Gallinger et al., 2016). Además, puede aportar cierta cantidad de AGPI n-3 ALA si se incluye en la dieta de los animales ingredientes de origen vegetal que contengan estos ácidos grasos (Marangoni et al., 2015). En este marco es importante subrayar que es posible modificar la composición de ácidos grasos de la carne a través del tipo de grasa suministrada en la dieta (Yau et al., 1991; Mir et al., 2017 a; Galli et al., 2020). Es en este contexto que se han utilizado distintas fuentes de lípidos en la alimentación de pollos parrilleros, como forma de modificar el perfil lipídico de la carne (Crespo y Esteve-García, 2001).

2.2.1.2. Relación n-3 y n-6

Bajo este título se presenta una breve reseña sobre el significado biológico de los citados tipos de grasas en la alimentación del ser humano. Esto en atención a que este tema es de crítica consideración en la dieta y en la calidad de la carne de pollo, aspectos que se abordan en esta tesis.

La dieta en el ser humano influye directamente en su salud y en la prevalencia de enfermedades. Existe evidencia científica que demuestra una estrecha relación entre el tipo y la cantidad de grasa ingerida con la presencia de enfermedades como cáncer, diabetes, depresión (Okuyama et al., 1997; Hadzhieva et al., 2016). El alto consumo de AGS y colesterol, se asocian a la ocurrencia de enfermedades cardiovasculares, una de las mayores causas de muerte en el mundo (Ruiz-Núñez et al., 2016; WHO, 2023). En contrapartida, existe un gran número de publicaciones que asocian el consumo de AGPI n-3 con la disminución del riesgo de padecer enfermedades coronarias (Hadzhieva et al., 2016; Sokoła-Wysoczańska et al., 2018; Golanski et al., 2021). Además, el consumo de estos ácidos grasos en el ser humano contribuye en la prevención de diversos tipos de cáncer, depresión, enfermedades autoinmunes y neurodegenerativas, a la vez que presentan propiedades hipocolesterolémicas y antiinflamatorias (Ayerza et al., 2002; Simopoulos, 2008; Calder, 2010; Volpato y Hull 2018; Stefaniak et al., 2022).

Los ácidos grasos n-3 se caracterizan por la presencia de uno o más dobles enlaces en su estructura, siendo ALA (18:3 n-3), EPA (20:5 n-3) y DHA (22:6 n-3) los más representativos de esta familia. Una de las principales fuentes de los AGPI-CLn-3 son los pescados grasos de agua fría, como el arenque, la caballa, el salmón, las sardinas y el atún (Siddiqui et al., 2004). Por su parte, el ALA se encuentra en verduras de hojas verdes, algas, algunas semillas (chía, lino, colza), frutos secos (nueces) y sus respectivos aceites (Stark et al., 2008).

En contrapartida, los ácidos grasos n-6 se caracterizan por la presencia de varios dobles enlaces, siendo el ácido linoleico (AL, 18:2 n-6) y el araquidónico (AA, 20:4 n-6) los más relevantes. Entre los alimentos en los que se puede encontrar el AL, se puede mencionar tanto las semillas como los aceites vegetales de soja, girasol, cártamo o maíz, así como algunos frutos secos y verduras (Tvrzicka, 2011). Mientras que el AA se encuentra predominantemente en los fosfolípidos de los animales alimentados con cereales, los productos lácteos y los huevos (Simopoulos, 2016).

Los AGPI n-3 y n-6 son componentes de los fosfolípidos de todas las membranas celulares, siendo particularmente importantes aquellos de 20 o más átomos de carbono, por su papel esencial en la fluidez y funcionalidad de las mismas (Tvrzicka, 2011; Hadzhieva et al., 2016). La composición de AGPI en las membranas celulares depende en gran medida del aporte dietético (Clandinin et al., 1985). El aumento en la ingesta de ácidos grasos de una serie determina su incorporación preferencial a los fosfolípidos de la membrana con la consecuente disminución en el contenido de la otra serie (Calder, 2010).

Los AGPI n-3 y n-6 son los precursores de los mediadores químicos de la inflamación conocidos como eicosanoides, entre ellos se pueden nombrar los leucotrienos, tromboxanos y prostaglandinas, pudiendo ser de la serie pro o antiinflamatoria. Además, estos compuestos presentan múltiples funciones como mediadores o moduladores de la respuesta inmune, de la regulación del sistema vascular, renal o gastrointestinal y de la agregación plaquetaria (Calder et al., 2020). Dependiendo del AG precursor, se sintetizan eicosanoides de una serie u otra (Carrero et al., 2018). Como se describió anteriormente en la Figura 2, del AGPI n-3 ALA se originan los ácidos EPA y DHA y los eicosanoides originados a partir de estos últimos se asocian con la respuesta antiinflamatoria, mientras que del AGPI n-6 AL se deriva el AA, el cual es precursor de una serie de mediadores proinflamatorios (Christie y Harwood, 2020). Por lo que se considera que un aumento en

la ingesta de estos ácidos grasos n-6 desempeñan un papel en la promoción de procesos inflamatorios (Simopoulos, 2016).

Por todo lo expuesto, se observa que estas dos clases de AGPI n-3 y n-6 son metabólica y funcionalmente distintas y, a menudo pueden presentar funciones fisiológicas opuestas. Su equilibrio es importante para la homeostasis y el desarrollo normal del animal (Kang et al., 2001). Por consiguiente, se debe considerar que no sólo es importante ingerir una adecuada cantidad de estos ácidos grasos, sino que, la proporción en la que se ingieren debe ser tomada en cuenta. Las recomendaciones nutricionales sugieren una relación n-6:n-3 no mayor a 4:1 con valores ideales de 1:1 (Simopoulos, 2008; Simopoulos, 2016; Long et al., 2020). Usualmente, las dietas occidentales se caracterizan por un elevado consumo de alimentos ricos en grasas, especialmente AGS, así como AGPI n-6, lo que da lugar a una relación n-6/n-3 muy elevada (15-16,7/1) (Simopoulos, 2008). En consecuencia, este desbalance con exceso de n-6 se traduce en inflamación crónica, hipertensión y formación de coágulos, lo que aumenta el riesgo de sufrir infartos cardíacos y cerebrales (Sokoła-Wysoczańska et al., 2018). Con el fin de equilibrar el consumo de ácidos grasos insaturados (AGI) en la dieta humana y reducir el riesgo de enfermedades, se recomienda incrementar la ingesta de ácidos grasos n-3 (Azcona et al., 2008).

Sin embargo, hay que considerar que los alimentos que se ofrecen como fuente de n-3 (como los pescados grasos) son costosos y limitados, y, en general no forman parte del consumo habitual de la población argentina, por lo que resulta difícil cubrir los requerimientos mínimos. Por otro lado, en la actualidad existe la posibilidad de ingerir píldoras o suplementos comerciales de n-3 con alta concentración de este ácido graso. No obstante, estas cápsulas no producen los mismos efectos que las fuentes naturales (Castro-González, 2002). El enriquecimiento de la carne de pollo se presenta como una alternativa viable, ya que numerosos estudios demuestran la factibilidad de aumentar los niveles de este ácido graso en la carne y, de este modo, aumentar de una forma fácil su ingesta sin alterar la dieta. (Ayerza et al., 2002; Azcona et al., 2008; Anjum et al., 2013) En este escenario, el enriquecimiento de carne de pollo con AGPI n-3 permite obtener un alimento funcional con mayor valor agregado y beneficios para la salud del consumidor (Connor, 2000).

2.2.1.3. Fuentes de n-3 en la dieta de las aves

La producción avícola moderna se centra en mejorar el rendimiento y el estado de salud de los pollos de engorde, y producir una carne más nutritiva y funcional para consumo humano. Sumada a esta situación, en Argentina, la carne de ave representa un alimento que adquiere cada vez más importancia debido a su alta disponibilidad y niveles de aceptación. Además, como se mencionó anteriormente, presenta un adecuado aporte nutricional y un menor costo frente a otras carnes.

En los últimos años, el adiciónado de una fuente de n-3 a la dieta animal, especialmente en la producción aviar, se ha implementado como estrategia para aumentar el contenido de este AGPI en la carne y ofrecer un alimento natural enriquecido (Vlaicu et al., 2023). Para ello, se han llevado a cabo numerosos estudios utilizando diferentes fuentes de AGPI n-3 en la dieta de animales. Se ha investigado el adiciónado de aceite de pescado a la dieta de pollos parrilleros con efectos promisorios sobre la performance, salud y calidad de la carne (Chashnidel et al., 2010; Long et al., 2020). Sin embargo, la adición de altos niveles (6%) podría impartir modificaciones en el sabor y el color de la carne, tendiendo a causar rechazo por parte de los consumidores (Saleh et al., 2009). Otras investigaciones evaluaron el uso de otras fuentes, de origen marino como las algas (Long et al., 2018; El-Bahr et al., 2020) o diversos aportes de n-3 de origen vegetal como las semillas o aceites de lino, colza con resultados favorables. (López-Ferrer 2001; Panda et al., 2015; Gao et al., 2020).

2.2.1.4. Harina de chía en la alimentación de pollos parrilleros

Un posible ingrediente alimenticio de origen vegetal con el potencial de aportar los mayores niveles de AGPI n-3 es la chía (*Salvia hispanica* L.) (Ayerza y Coates, 2001). Este ingrediente ha sido utilizado con diferentes fines a lo largo de la historia y se distingue por su alta versatilidad, pudiendo ser utilizada como semilla entera, aceite o en forma de productos derivados (Cisternas et al., 2022). La semilla de chía contiene entre un 25-40% de aceite, de los cuales un 62 a 64% corresponde al AGPI n-3 ALA, representando el mayor porcentaje de este ácido graso conocido hasta el momento (Ayerza, 1995; Mohd Ali et al., 2012, Jamshidi et al., 2019).

En los últimos años, la adición de chía en la dieta de pollos de engorde se ha considerado fundamental como estrategia para mejorar el contenido de AGPI n-3 en los productos animales obtenidos. Ayerza y Coates (2000, 2001), observaron un alto contenido de AGPI n-3, una reducción de los AGS y una mejor relación n-6/n-3 en los

huevos de gallinas ponedoras alimentadas con una dieta que contenía semillas de chía. A su vez, es conocido el hecho que, añadiendo estas semillas o su aceite a la dieta, es posible modificar el perfil de ácidos grasos en la carne de pollos parrilleros (Mendonça et al., 2020; Terevinto et al., 2023). Ayerza et al. (2002) observaron un mayor contenido de AGPI n-3 y una reducción de AGS en la carne blanca y oscura de pollos de engorde alimentados con semillas de chía al 10 % y al 20 %. En un ensayo comparativo realizado por Azcona et al. (2008), la semilla de chía demostró ser superior mejorando el perfil lipídico y la estabilidad oxidativa de la carne frente a otras fuentes examinadas (colza y lino).

Sin embargo, un factor a tener en cuenta es que la producción comercial de carne enriquecida con n-3 mediante la adición de semillas de chía en la dieta de animales, acrecienta los costos de producción por su alto precio. Asimismo, en Argentina su producción se caracteriza por ser a pequeña escala, presentando limitaciones en cuanto a su disponibilidad y sostenibilidad dado que la mayoría se exporta y una pequeña cantidad se utiliza para consumo directo o se destina a la extracción de aceite (Mohd Ali et al., 2012; Scalise, 2014). No obstante, un subproducto agroindustrial vinculado a esta temática, que se presenta como una estrategia de bajo costo para la alimentación de ponedoras y pollos parrilleros, es la harina de chía. Este subproducto se obtiene como resultado del proceso de extracción del aceite a las semillas de chía y presenta un alto contenido de proteínas (20-29%), fibra (35-52%; 3-5% fibra soluble) y grasa (7-18%), siendo una fuente importante de n-3 (59-63%) (Capitani et al., 2013; Código Alimentario Argentino, 2009; Périgo et al., 2011).

Actualmente, existe escasa investigación referida al uso del subproducto harina de chía en la dieta de pollos parrilleros, ya que la mayoría de los estudios se han centrado en la adición de semillas enteras o aceite de chía. La presente tesis propone profundizar en el estudio de la harina de chía como fuente de AGPI n-3 sobre la performance, la salud animal y el perfil de la carne. La reutilización de este subproducto, se plantea como una estrategia de inclusión de ALA en la dieta para pollos parrilleros promoviendo un sistema de producción más eficiente y económicamente sostenible.

2.2.2. Procesos oxidativos en la carne aviar

2.2.2.1. Estrés oxidativo

En condiciones fisiológicas normales, se generan en el animal, a partir del metabolismo energético mitocondrial, compuestos derivados del oxígeno, conocidos como especies reactivas del oxígeno (EROs). Este término se refiere al conjunto de radicales y derivados no radicales que pueden ser agentes oxidantes y/o convertirse en radicales libres (RLs) (Hernández Espinosa et al., 2019). Dentro de los primeros, los más destacados son el anión superóxido ($O_2^{\bullet-}$), el radical hidroxilo (OH^{\bullet}), el radical peroxilo (ROO^{\bullet}), el radical alquilo (RO^{\bullet}), mientras que en el segundo grupo participan entre otros, el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) oxígeno singlete (1O_2) y ozono (O_3).

Los RLs, son átomos o moléculas que tienen un electrón desapareado o libre lo que los lleva a buscar estabilidad electroquímica. Para lograrlo, captan un electrón de una molécula estable, provocando su oxidación y haciendo que pierda su función específica en la célula. Si se tratara por ej. de un AGPI de la membrana celular se traduciría en una disminución de la fluidez, alteración de su permeabilidad y su correspondiente función metabólica (Yu et al. 1998). Sin embargo, es preciso considerar que los RLs son elaborados en condiciones fisiológicas como un producto del metabolismo normal de cada célula con una vida media fugaz de microsegundos y controlados por un conjunto de mecanismos antioxidantes manteniendo la homeostasis celular (Rodríguez Perón et al., 2001; Gallinger, 2015). Estos compuestos, son producidos por el organismo cumpliendo propósitos útiles y beneficiosos. Sin embargo, cuando ocurre un desbalance entre la cadena de producción de RLs y la defensa antioxidante, sobreviene un daño orgánico conocido como estrés oxidativo. En esta situación, los radicales libres, pueden causar daño a compuestos celulares como lípidos, proteínas, ADN y carbohidratos lo que conduce a una variedad de cambios fisiológicos y bioquímicos ocasionando deterioro y hasta muerte celular. Estos procesos podrían asociarse a diversas patologías en el hombre como cáncer, enfermedades neurodegenerativas, diabetes, entre otras (Wei et al., 1996; Carvajal Carvajal, 2019).

2.2.2.2. Oxidación de lípidos y proteínas

La carne y los productos cárnicos presentan una composición nutricional muy compleja que los hace susceptibles a los procesos de oxidación. Los lípidos, las proteínas y vitaminas son propensos a sufrir degradación afectando negativamente a la calidad de la carne (Domínguez et al., 2019).

La principal causa no microbiana del deterioro de la carne y los productos cárnicos es la oxidación de los lípidos o peroxidación lipídica, el cual es un proceso muy complejo, que incluye múltiples mecanismos que interactúan entre sí (Min y Ahn, 2005).

Por otro lado, la carne de pollo y sus productos derivados son más susceptibles a sufrir oxidación con respecto a otras carnes, con excepción de la carne de pescado, debido al mayor contenido de AGPI (Carreras Ferrer, 2004). De manera resumida, la peroxidación lipídica es un mecanismo de reacción en cadena en la que el AGPI reacciona con factores iniciadores (principalmente metales en transición como hierro o EROs como hidroxilos etc.) que abstrae un protón del ácido graso y lo convierte en lípido radical. Este último es una molécula inestable por lo que reacciona con oxígeno molecular y se transforma en un radical lipídico peroxidado con capacidad de oxidar rápidamente a otra molécula vecina (AGPI), provocando de este modo, reacciones oxidativas en cadena facilitando la formación de más radicales libres con alto poder oxidante (Figura 3) (Min y Ahn, 2005). El radical lipídico peroxidado es convertido en un lípido peroxidado, el cual presenta alta inestabilidad pudiendo ser degradado a aldehídos, cetonas y alcoholes dando aroma y sabor desagradable a la carne.

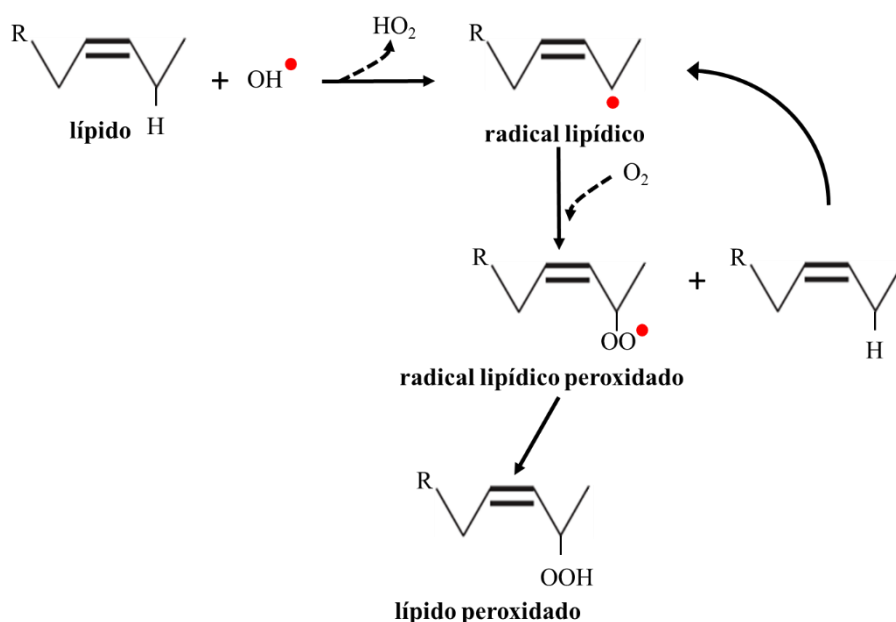


Figura 3. Proceso de peroxidación lipídica. Adaptado de Dominguez et al. (2019).

Como consecuencia de las reacciones de oxidación, no sólo se reduce el valor nutritivo de las carnes por la pérdida de ácidos grasos esenciales, sino que ocurren cambios en el color y la textura, aparición de olores no deseados y enranciamiento que influyen

directamente sobre la aceptabilidad del consumidor (Purrinos et al., 2011). Varios autores concluyen que uno de los problemas más importantes del estrés oxidativo es la generación de compuestos nocivos que se asocian con algunas patologías humanas, como arteriosclerosis, cáncer, inflamación, procesos de envejecimiento, entre otros (Basaga, 1990; Pereira y Abreu, 2018), de allí que el control de los procesos oxidativos se considera de vital importancia para la industria cárnica (Domínguez et al., 2019).

2.2.2.3. Sistema antioxidante

El organismo previene el daño oxidativo mediante un sistema de defensa celular. Los antioxidantes, son sustancias que protegen a la célula de la acción de los oxidantes o radicales libres, contrarrestando su efecto nocivo (Surai et al., 2019; Vlaicu et al., 2023). Los antioxidantes han sido clasificados de diferente manera, una de ellas los divide en antioxidantes enzimáticos o endógenos que son sintetizados por el propio organismo y los no enzimáticos o exógenos que son obtenidos a través de la dieta o de suplementos (Avello y Suwalsky, 2006). El primer grupo corresponde a la primera barrera de defensa y comprende un grupo de enzimas (superóxido dismutasa o SOD, catalasa o CAT, glutatión peroxidasa o GPX, entre otras) cuya función es preventiva, suprimiendo la formación de RLs al convertir los productos metabólicos oxidados (ERO) en estructuras químicas menos agresivas (H_2O_2 y finalmente H_2O). Es así que los compuestos no enzimáticos actúan como segunda barrera de defensa y eliminan los RLs activos suprimiendo el inicio de la cadena y/o deteniendo las reacciones de propagación del proceso oxidativo (Lobo et al., 2010). Dentro de este grupo las vitaminas C y E, los carotenoides, el glutatión, el selenio y los flavonoides son las moléculas químicas antioxidantes más conocidas (López et al., 2012). A su vez, los antioxidantes no enzimáticos han sido clasificados según su solubilidad, dividiéndolos en lipofílicos (solubles en grasa) o hidrofílicos (solubles en agua) lo que facilita encontrar antioxidantes tanto en las membranas como en el citosol. Dentro del primer grupo podemos mencionar la vitamina E, los tocoferoles, los carotenoides mientras que en el segundo podemos citar la vitamina C, el glutatión, polifenoles, entre otros (Mishra y Bisht, 2011). En conjunto, los antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos trabajan como una unidad protegiendo a las células contra el daño oxidativo mediado por radicales.

2.2.2.4. Efectos de la dieta en la oxidación de la carne

Es significativo considerar que la estabilidad oxidativa de los lípidos de la carne está determinada por una serie de factores previos al sacrificio, tales como la raza de las aves, las prácticas y condiciones estresantes, así como, los factores post-sacrificio como temperatura, pH, condiciones de almacenamiento, entre otros. Un factor clave que influye tanto en la oxidación *in vivo* en el tejido del animal como en la oxidación *post-mortem* de la carne es la composición de la dieta. De tal manera, el consumo de alimento con elevado contenido en lípidos oxidados, AGPI y componentes prooxidantes, así como una menor ingestión de componentes involucrados en el sistema de defensa antioxidante, contribuye a la oxidación (Morrissey et al., 1998). Por otro lado, tal como se mencionó en el punto 2.2.2.1, la concentración de AGPI en la carne puede ser modificada, lo que resulta más factible en la carne de pollo que en otras (Mir et al., 2017 a).

Teniendo en cuenta estos conceptos y la tendencia hacia el desarrollo de alimentos más saludables, en esta tesis se planteó el enriquecimiento de la dieta de los pollos parrilleros con una fuente de n-3, como la harina de chía. Sin embargo, uno de los mayores obstáculos para esta tecnología, basado en todo lo expuesto, es la tendencia de los ácidos grasos a oxidarse, dado que, a mayor nivel de insaturación, más rápida será la alteración oxidativa (Reboredo et al., 2010; Gutiérrez, 2015). Asimismo, es importante remarcar que los sistemas intrínsecos de defensa frente a los procesos oxidativos que funcionan en el animal vivo se pierden cuando muere. Esto favorece la oxidación de los lípidos y el deterioro de la carne durante el proceso *post-mortem*, afectando la vida útil de la carne y los productos cárnicos (Smet et al., 2008). Con el fin de evitar la oxidación de estos AGPI, se han propuesto distintas estrategias, dentro de las cuales el agregado de antioxidantes a la dieta ha sido una de las más estudiadas (Gallinger, 2015).

2.2.2.5. Antioxidantes en la dieta de aves

Cuando los sistemas endógenos de defensa antioxidante del animal no son suficientes para prevenir o neutralizar los radicales libres, una estrategia viable es incrementar el nivel de antioxidantes a través de la dieta o en los productos y subproductos, con el fin de aumentar la estabilidad oxidativa de la carne aviar. Los antioxidantes exógenos, ya sean de origen sintético o natural, son moléculas capaces de evitar o retardar el desarrollo del deterioro oxidativo. Ambos grupos se consideran aditivos, ya que deben ser incorporados intencionalmente en la dieta o la carne, con fines tecnológicos, sin modificar su valor

nutricional y sin ser consumidos como alimento ni utilizados como ingredientes básicos (CODEX, 1995).

En los últimos años, teniendo en cuenta los hábitos de los consumidores y las exigencias de las legislaciones en seguridad alimentaria, se observa que ha aumentado el interés por los antioxidantes naturales en detrimento de los sintéticos (Carocho et al., 2014; Bakshi et al., 2020). Por otro lado, el consumo de antioxidantes artificiales ha sido cuestionado por el impacto que presentan sobre la salud con posibles efectos negativos (Arshad et al., 2013). Es de destacar, que los antioxidantes exógenos naturales son compuestos bioactivos que derivan de la naturaleza, especialmente de alimentos y plantas medicinales, como frutas, verduras, cereales, especias y hierbas de uso común. Existen tres grupos principales, las vitaminas, los carotenoides y los compuestos fenólicos (Mendonça et al., 2020).

Actualmente, se han realizado considerables estudios con el agregado de diferentes antioxidantes a la dieta de animales. En particular, la vitamina E, principalmente alfa-tocoferol y la vitamina C, han sido utilizadas en distintas dosis en la dieta de pollos parrilleros con resultados que demuestran la mejora de la performance, la estabilidad oxidativa y las propiedades funcionales de la carne (Olivo et al., 2001; Tomažin et al., 2013; Taşdelen y Ceylan, 2017). Resultados similares han sido observados con la suplementación de carotenoides en la dieta de aves (Nabi et al., 2020).

Asimismo, es relevante destacar que diversas investigaciones (Agah et al., 2019; Ibrahim et al., 2021; Tufarelli et al., 2022) han estudiado el efecto antioxidante de diferentes compuestos fenólicos de origen vegetal, entre los cuales, en los últimos años se ha profundizado en la investigación de los productos y subproductos de la industria olivícola. En el proceso de obtención del aceite de oliva se generan una gran cantidad de subproductos, tales como alperujo, orujo, aguas residuales de lavado de la molienda de la oliva, hojas y extractos de hojas, que generan un problema ecológico y económico para los productores. La reutilización de estos residuos generaría un sistema de aprovechamiento de los recursos revalorizando el sistema productivo.

En la Tabla 1 se pueden observar los resultados más relevantes obtenidos hasta la actualidad referidos al uso de estos subproductos en la dieta de pollos parrilleros. Los efectos considerados como favorables se atribuyen a la presencia de componentes fitoquímicos que presentan una fuerte acción antioxidante, antimicrobiana y antiinflamatoria, entre los que cabe mencionar polifenoles y fitoesteroles, entre otros (Mateos et al., 2020; Xie et al., 2021).

Tabla 1. Efecto de diferentes subproductos del proceso de obtención del aceite de oliva en la dieta pollos parrilleros.

Fuente de antioxidante	Edad/duración ensayo	Nivel inclusión	Respuesta			Autores
			Parámetros productivos	TBARS	Efecto antioxidante	
Orujo oliva fermentada ¹	1 día edad/42 días	7,5%-15%-30%	15% ↑ GP-mejora CA	↓ 15% (pechuga congelada 180 días)	↑ 15%	Ibrahim et al., 2021
Torta de oliva ²	22 días edad/20 días	82,5 g/Kg-165 g/Kg	82,5 g/Kg-165 g/Kg ↑ GP-mejora CA	↓ 165 g/Kg (pechuga)	↑ 165 g/Kg	Branciari et al., 2017
Harina de torta de oliva ³	1 día edad/35 días	5 %-10%-20%	5% - 10 % ↑ GP-mejora CA	↓ 5%-10%-20% (hígado) 10%-20% menor valor	↑ 5%-10%-20% 10%-20% mayor efecto	Saleh and Alzawqari, 2021
Pulpa de oliva seca ⁴	14 días de edad/49 días	5%-10%	NS=GP-CA	↓ 5%-10% (pechuga)	↑ 5%-10%	Tufarelli et al., 2022
Pulpa de oliva seca ⁴	11 días edad/32 días 11-22: C 23-42: T	25 g/kg (C)-50 g/Kg (T) 50 g/kg (C y T) 50 g/kg (C)-80 g/Kg (T)	25 g/kg-50 g/Kg ↑ GP-mejora CA	↓ 25 g/Kg-50 g/Kg (pechuga)	↑ 25 g/kg-50 g/Kg	Papadomichelakis et al., 2019
Extracto de hojas de olivo ⁵	28 días de edad/56 días	5ml/L-10ml/L-15 ml/L agua	5 ml/L-10ml/L-15 ml/L ↑ GP-mejora CA 10ml/L-15 ml/L mejor valor	↓ 5 ml/L-10ml/L-15 ml/L (plasma)	↑ 5 ml/L-10ml/L-15 ml/L 15 ml/L mayor efecto	Oke et al., 2017
Extracto de hojas de olivo ⁵	13 días de edad/37 días	200 mg/Kg-400 mg/Kg	NS= GP-CA	↓ 200 g/Kg-400 g/Kg (plasma)	↑ 200 g/kg-400 g/Kg	Agah et al., 2019

¹: producto remanente primario tras la extracción del aceite de oliva del fruto fermentado (pulpa, piel, huesos, agua y aceite residual); ²: pasta semilíquida obtenida por prensado del orujo de oliva para extraer el aceite remanente (pulpa, hueso, agua, aceite residual); ³: torta de oliva molida; ⁴parte carnosa del fruto separado y deshidratado luego de la extracción del aceite; ⁵: extractos obtenidos mediante procesos de trituration, maceración, percolación o extracción con solventes de las hojas de olivo. TBARS: sustancias reactivas del ácido tiobarbitúrico. ↑: aumento los niveles de la variable medida. ↓: disminuye los niveles de la variable medida. NS: diferencias no significativas. C: crecimiento; T: terminador. GP: ganancia de peso; CA: conversión alimenticia.

2.2.2.6. Hidroxitirosol y su impacto antioxidante en la carne de aves

En el caso particular del olivo (*Olea europaea* L.), un compuesto novedoso con efecto antioxidante significativo presente en el fruto y las hojas, ya sea en forma libre o esterificada, es el hidroxitirosol, un subtipo no flavonoide de ácido mono-fenólico (Figura 4). Este compuesto se obtiene mediante síntesis química o enzimática y por extracción y purificación a partir de subproductos de la industria del aceite (De la Fuente et al., 2004). En el proceso de elaboración del aceite, el mayor porcentaje de compuestos fenólicos, debido a su carácter polar, quedan formando parte de los residuos orujo, alperujo, alpechín o aguas de lavado (De la fuente et al., 2004). Es por este motivo que dichos residuos, ricos en compuestos fenólicos, podrían constituir una fuente natural de HT muy importante (Fernández-Bolaños et al., 2002; Chashmi et al., 2017). Sin embargo, hay que tener presente que estos subproductos sufren variaciones entre lotes y según la estación del año.

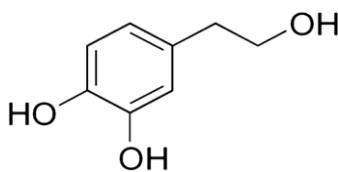


Figura 4. Estructura química del Hidroxitirosol. Obtenida de Robles-Almazan et al. (2018).

El HT tiene una biodisponibilidad del 75-90%, facilitando que se distribuya por todos los órganos del cuerpo debido a que traspasa las membranas con gran facilidad (Tuck y Hayball, 2002; González Santiago, 2005). Este compuesto es una molécula anfipática, posee un cuerpo lipófilo y un extremo hidrófilo, posibilitando el transporte de otras sustancias por todo el organismo (Ferran Font, 2015). En estudios realizados en ratas se observó que la concentración plasmática máxima se obtenía entre 5 a 10 minutos luego de la ingestión oral de HT, reduciendo su concentración luego de 60 minutos (Bai et al., 1998; González Santiago, 2005). La absorción de este compuesto ocurre preferentemente en intestino delgado y colon por difusión pasiva (Manna et al., 2000; Vissers et al., 2002), no presentando problemas por acumulación ni toxicidad, dado que, al ser hidrosoluble, se excreta principalmente por el sistema renal y en menor proporción, por materia fecal (D'Angelo et al., 2001; Tuck y Hayball, 2002; De la Fuente et al., 2004).

Se estima que su actividad antioxidante es una de las más elevadas entre los polifenoles ejerciendo una acción quelante de iones metálicos y un efecto secuestrante de radicales

libres (Visioli y Galli 1998; Tripoli et al., 2005, Rietjens et al., 2007; Branciari et al., 2017). Tiene un efecto protector frente a la peroxidación lipídica al producir la ruptura de las reacciones oxidativas en cadena, protegiendo así las distintas células del organismo (Hu et al., 2014). Estudios realizados por Gerasopoulos et al. (2015) demostraron que algunos de los principales polifenoles de las aguas residuales de la almazara, incluido el hidroxitirosol, reducen eficazmente la oxidación de lípidos.

Asimismo, el hidroxitirosol mejora la digestibilidad de los nutrientes, ya que afecta la liberación de las enzimas digestivas, presenta un efecto antiinflamatorio y bacteriostático que reduce la población de bacterias patógenas, mejorando de este modo, la salud intestinal y en consecuencia el crecimiento animal (Salerno et al., 2018; Shehata et al., 2022; Mahasneh et al., 2024).

De los resultados de los trabajos presentados en la Tabla 1, se puede visualizar que los autores refieren el efecto antioxidante a un conjunto de sustancias fitoquímicas (por ejemplo, oleuropeína, hidroxitirosol, tirosol), no examinando la contribución individual de cada una de ellos y sus posibles interacciones. Por otro lado, como se mencionó anteriormente, la capacidad antioxidante de la carne de pollo puede ser modificada por la dieta animal. Branciari et al. (2017) informaron por primera vez la presencia de trazas de tirosol y metabolitos del hidroxitirosol en pechuga de pollos alimentados con torta de oliva. Estos polifenoles podrían aumentar la actividad antioxidante de la carne sin afectar a su calidad y composición, además de mejorar el rendimiento del animal y el valor nutracéutico de la carne. Conforme a lo mencionado previamente, en esta tesis se propone profundizar en el estudio del efecto individual del hidroxitirosol adicionado a la dieta de pollos parrilleros. Esta investigación permitiría desarrollar futuras estrategias para aumentar la capacidad antioxidante de la carne.

Actualmente existe poca información sobre el uso del hidroxitirosol puro y aislado, obtenido de la industria olivícola, como antioxidante en la dieta de los pollos de engorde. La mayoría de los estudios relacionados con su aplicación como aditivo dietario se ha realizado en seres humanos u otros modelos experimentales animales. La información que se obtenga podría ser relevante para mejorar el bienestar animal, con los consiguientes beneficios tanto para los productores como para los consumidores.

2.2.3. Uso combinado de harina de chía e hidroxitirosol

El estudio de diferentes componentes dietarios, así como su uso combinado, podría permitir el desarrollo de alimentos que, al ser incorporados en la dieta de pollos parrilleros, se traduzcan en una mayor productividad y en la obtención de un alimento funcional. En este sentido, esta tesis propone el uso de harina de chía como fuente de n-3, específicamente ALA, con el objetivo de enriquecer la carne y aumentar el contenido de estos AGPI en la dieta humana. No obstante, al aumentar el grado de insaturación se incrementa fuertemente la susceptibilidad a la peroxidación lipídica afectando la salud del animal y la calidad de la carne. Por lo tanto, en el presente estudio se evaluó la incorporación de un antioxidante como una tecnología novedosa para abordar esta problemática para abordar esta problemática, dado que permite preservar los AGPI aportados por la harina de chía de los procesos oxidativos. En este contexto, y considerando la información actual sobre la importancia de la chía como fuente de n-3, esta tesis busca generar conocimiento nuevo sobre el efecto de la adición de un antioxidante innovador, el hidroxitirosol, mediante la combinación chía/antioxidante, como estrategia para potenciar las propiedades funcionales de la chía.

Es importante destacar que los componentes dietarios (harina de chía e hidroxitirosol) propuestos en esta tesis presentan significativa relevancia en el ámbito nacional. En este sentido, la chía se desarrolló en nuestro país a partir de la década del 90 encontrando las mejores condiciones agroecológicas para el desarrollo del cultivo en la región noroeste argentino. Por otro lado, la producción olivícola y elaboración de aceites se encuentra en expansión en Argentina y particularmente en la región del sudoeste bonaerense. Como se mencionó, la harina de chía es un subproducto remanente de la agroindustria de obtención del aceite de chía, y, el hidroxitirosol, es el componente natural mayoritario de los diferentes subproductos del proceso de producción del aceite de oliva. De allí que la reutilización de productos y subproductos derivados de la industria de la chía y del olivo en la dieta de pollos parrilleros se presenta como una estrategia sostenible, capaz de generar un alimento funcional y saludable, al mismo tiempo que maximizar la eficiencia del sistema productivo. Adicionalmente, es importante destacar que no se han reportado trabajos que analicen el uso combinado de ambos componentes, lo que resalta la relevancia del estudio planteado en esta tesis.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS GENERALES

3.1. HIPÓTESIS

En esta tesis se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1: La inclusión de harina de chía produciría efectos favorables sobre la salud y las variables productivas del animal, debido al alto contenido de AGPI n-3.

Hipótesis 2: El alto contenido de AGPI n-3 de la harina de chía modificaría el perfil de ácidos grasos de la pechuga, aumentando los niveles de ALA, lo que podría afectar la estabilidad oxidativa y la calidad tecnológica de la carne.

Hipótesis 3: El hidroxitirosol presenta un efecto antioxidante que protegería los AGPI n-3 presentes en la harina de chía potenciando el comportamiento productivo, la salud del animal y la calidad funcional de la carne.

3.2. OBJETIVOS GENERALES

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la adición de harina de chía, como fuente de ácidos grasos n-3, e hidroxitirosol, como compuesto antioxidante natural, en la dieta de pollos parrilleros en forma individual y combinada sobre las variables productivas, el estado de salud del animal y aspectos cualitativos de la carne. El objetivo final fue la obtención de un producto cárnico funcional con beneficios para el consumidor.

3.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los efectos de la adición de harina de chía en la dieta sobre el desempeño productivo, el rendimiento y la salud del animal.
- Estudiar el efecto de la inclusión de harina de chía en la dieta sobre la aptitud tecnológica y el color del músculo de la pechuga.
- Estudiar la estabilidad oxidativa y el perfil de ácidos grasos de la pechuga de pollos alimentados con harina de chía en la dieta.
- Evaluar la capacidad antioxidante del hidroxitirosol sobre el estado oxidativo y los parámetros de calidad nutricional y funcional de la pechuga.
- Analizar el efecto combinado de harina de chía e hidroxitirosol en la dieta sobre la productividad y la salud del animal, y su impacto en la obtención de una carne más saludable, estable y funcional.

- Analizar la interrelación entre los diferentes factores evaluados para integrar y comprender en forma global los efectos de la inclusión de harina de chía e hidroxitirosol en la dieta sobre el desempeño productivo, la salud animal y la calidad de la carne.

A continuación, se describen los procedimientos experimentales llevados a cabo para dar cumplimiento a los objetivos de esta tesis.

4. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA ADICIÓN DE HARINA DE CHÍA E HIDROXITIROSO EN LA DIETA DE POLLOS PARRILLEROS SOBRE PARÁMETROS PRODUCTIVOS, SALUD DEL ANIMAL Y CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LA CARNE

4.1. INTRODUCCIÓN

El suministro de una dieta que cubra los requerimientos nutricionales en los pollos parrilleros es fundamental para asegurar un óptimo estado de salud, crecimiento y desarrollo animal. En este sentido, es esencial adoptar nuevas estrategias nutricionales que mejoren la eficiencia productiva y el bienestar general de los animales.

Una de estas alternativas es la incorporación de ácidos grasos n-3, los cuales ejercen efectos favorables sobre la homeostasis fisiológica, abarcando tanto la función intestinal como los procesos metabólicos.

A nivel intestinal, estos ácidos grasos incrementan el número y tamaño de las vellosidades intestinales, además de promover el desarrollo de una microflora benéfica (Thanabalan and Kiarie, 2022; Zajac et al., 2021). Además, a nivel celular, particularmente en los enterocitos, los AGPI se incorporan en los fosfolípidos de las membranas, contribuyendo a mantener su fluidez y permeabilidad. Un mayor grado de insaturación en dichas membranas potencia la actividad de enzimas ATPasas y de proteínas transportadoras de nutrientes, lo cual se traduce en una mayor capacidad de absorción de nutrientes, promoviendo así la salud intestinal (Xu et al., 2021).

En cuanto a nivel metabólico, una mayor disponibilidad de AGPI, en particular del ácido linolénico, contribuye a mejorar el perfil lipídico sanguíneo. Estudios realizados por Ibrahim et al. (2018); Long et al. (2020) y Mendonça et al. (2022) reportaron una reducción en los niveles de colesterol total (CT), triglicéridos (TG) y lipoproteínas de baja densidad (LDL) en pollos alimentados con distintas fuentes de AGPI n-3. La evaluación del equilibrio en los parámetros sanguíneos (homeostasis) permite conocer el estado fisiológico del animal e inferir los efectos bioquímicos de la suplementación en estudio (Rajput et al., 2013).

A su vez, los AGPI modulan el metabolismo energético al inhibir la lipogénesis, lo que limita el depósito de tejido adiposo y favorece la utilización de recursos para la síntesis proteica y el desarrollo muscular (Nobakht et al., 2011; Alagawany et al., 2019). En este contexto, resulta relevante considerar que los órganos internos representan un componente importante del gasto energético de mantenimiento. Un mayor desarrollo o actividad metabólica de estos tejidos demanda energía y nutrientes, pudiendo condicionar la disponibilidad de recursos para el crecimiento muscular y el rendimiento productivo. Dado que los órganos internos reflejan la eficiencia con la que el animal utiliza los nutrientes disponibles, se espera que estrategias nutricionales que optimicen la absorción de AGPI puedan influir no solo en el metabolismo general sino también en el peso y funcionalidad de estos órganos, apoyando así el rendimiento productivo del animal.

Uniando los beneficios a nivel intestinal y metabólico, se espera un aumento en el peso corporal y una mejora en el rendimiento productivo del animal con la incorporación de ácidos grasos n-3 en la dieta de aves.

Por otro lado, los AGPI ejercen un efecto positivo sobre la calidad tecnológica de la carne, un parámetro crucial que determina la aptitud de la misma para su transformación y conservación, y que se encuentra directamente influenciado por la nutrición animal. Como se mencionó en la introducción general, los AGPI son susceptibles a la oxidación, lo que reduce su actividad biológica y conduce a la producción de radicales libres, con efectos perjudiciales tanto para la salud animal como para la calidad de la carne (Abdel-Moneim et al., 2021). Los productos secundarios de la oxidación lipídica activan las reacciones en cadena de la glucólisis anaeróbica en el momento del sacrificio, lo que provoca una disminución del pH, que afecta directamente la estabilidad de las proteínas y el color de la carne (Jin et al., 2021). Este último es un parámetro crítico que condiciona la aceptación por parte del consumidor y, en consecuencia, las decisiones de compra (Wideman et al., 2016). La palidez de la carne asociada a las carnes PSE (pálidas, blandas, exudativas) es un problema en la industria avícola moderna, ya que causa pérdidas económicas sustanciales (Chen et al., 2017).

El estrés oxidativo afecta no solo la calidad de la carne, sino también la eficiencia metabólica y la funcionalidad de los tejidos. En este contexto, la inclusión de antioxidantes como el hidroxitirosol (HT) adquiere especial relevancia, ya que podría proteger los AGPI n-3 aportados por la harina de chía frente a la oxidación, potenciando sus efectos benéficos sobre la salud intestinal, el metabolismo y el rendimiento productivo.

Si bien numerosos estudios han evaluado la adición de diferentes fuentes de n-3 a la dieta de animales de forma individual, la información sobre el uso de harina de chía es aún limitada, y más escasos son los estudios que consideren su combinación con un antioxidante como el HT. Se espera que esta combinación genere un efecto sinérgico, basado en la acción antioxidante del HT, capaz de preservar los AGPI aportados por el n-3 de los procesos de oxidación, aumentando su concentración y, en consecuencia, potenciando sus efectos benéficos.

4.2. HIPÓTESIS

- La inclusión de harina de chía junto con hidroxitirosol en la dieta de pollos parrilleros, mejoraría el rendimiento productivo y el peso de los diferentes órganos internos, debido al efecto protector del hidroxitirosol sobre los AGPI n-3 provenientes de la chía.
- Se espera una mejora en el perfil hematológico con el uso combinado de harina de chía e hidroxitirosol en la dieta de pollos parrilleros, atribuibles a los AGPI n-3 aportados por la chía y al efecto reductor del estrés oxidativo del antioxidante hidroxitirosol.
- La inclusión de harina de chía, fuente de AGPI n-3, junto con hidroxitirosol como antioxidante, mejoraría la calidad tecnológica *post-mortem* de la pechuga, al preservar la estabilidad oxidativa y reducir los efectos negativos asociados a la mayor insaturación lipídica de la carne.

4.3. OBJETIVOS

Evaluar el efecto de la inclusión de harina de chía combinada con hidroxitirosol en la dieta de los pollos parrilleros sobre:

- Los parámetros productivos (consumo voluntario, ganancia de peso, conversión alimenticia, peso de faena), la grasa abdominal y el peso de cortes comerciales (pata, muslo, pechuga) procedentes de carcasas.
- El peso de diferentes órganos, el pH y la longitud del intestino delgado.
- La salud animal a través de la medición de los parámetros hematológicos (CT, TG, lipoproteína alta densidad (HDL), LDL, LDL/HDL).
- La calidad tecnológica de la carne (pérdida por compresión (PPC), pérdida por goteo (PG), rendimiento a la cocción (RC)), el pH y color de la pechuga.

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1. Caracterización del sitio experimental

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Unidad de Experimentación Avícola (UEA) del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur (UNS) localizada en la ciudad de Bahía Blanca (38°47' Lat. S y 62°37' Long. O), Argentina. Las prácticas de manejo y los protocolos experimentales respetaron las normas de bioseguridad establecidas para investigación por la UNS, que adhieren a las prácticas para el cuidado y manejo de animales de granja recomendado por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA, 2015), siguiendo las directrices internacionales de ética animal.

4.4.2. Animales, dietas y protocolo experimental

Noventa y seis pollos parrilleros línea Cobb® de 1 día de edad fueron distribuidos al azar en 16 grupos, cada uno compuesto por 3 machos y 3 hembras. Los grupos fueron alojados en un galpón experimental y ubicados al azar en 16 corrales de 1 x 1 m, los cuales fueron dispuestos en 4 bloques. Los corrales fueron elevados sobre soportes de madera tipo *slat* a 30 cm del suelo. En cada bloque se asignaron al azar las dietas experimentales: 1) C: dieta control (sin harina de chía y sin HT); 2) W₃: dieta con 10% harina de chía; 3) W₃+H: dieta con 10% harina de chía + HT (7 mg kg PV⁻¹ día⁻¹) y 4) H: dieta con HT (7 mg kg PV⁻¹ día⁻¹). Durante las primeras 3 semanas, los animales consumieron *ad libitum* un alimento “iniciador” (Tabla 2) y a partir de los 22 días de edad y hasta los 46 días recibieron *ad libitum* las dietas experimentales, las cuales fueron isoproteicas e isoenergéticas (Tabla 3). El contenido de proteína bruta (PB), fibra bruta y extracto etéreo en estas dietas se determinó mediante los métodos 984.13, 962.09 y 920.39 (AOAC 2000), respectivamente. Las dietas fueron preparadas semanalmente y almacenadas en condiciones adecuadas hasta el momento de su consumo. La harina de chía (Desus S.A., Buenos Aires, Argentina) presentó 59,7% de ácido linolénico sobre un 18% de grasa total (Tabla 4), y entre 3 - 5% fibra soluble sobre un 35-52% de fibra total (Capitani et al., 2013; Cisternas et al., 2022; Ferreira et al., 2023; Périgo et al., 2011). Estas características explican el incremento observado en los niveles de extracto etéreo y fibra bruta en las dietas W₃ y W₃+H respecto al control y a la dieta H. El antioxidante natural hidroxitirosol (>98% pureza; HYTOLIVE®, GENOSA, Madrid, España) fue pesado diariamente y adicionado a la dieta antes de ser ofrecido a los animales. La dosis fue ajustada semanalmente de acuerdo al aumento de peso de los animales. Las aves tuvieron acceso

al alimento mediante un comedero manual (canaleta) y la provisión de agua fue ofrecida a través de bebedero automático tipo nipple. Se realizaron análisis de muestras del agua que revelaron la potabilidad e inocuidad de la misma.

Tabla 2. Ingredientes y composición química del alimento iniciador (0-21 días).

Ingredientes %	
Maíz	62,40
Harina de soja (41% PB)	30,00
Harina de carne (41% PB)	5,75
Conchilla molida	0,75
L-Lisina-HCl	0,20
Sal	0,25
Núcleo vitamínico mineral ¹	0,50
DL-Metionina	0,15
Composición química	
PB (%)*	20,39
EM (Kcal.Kg ⁻¹) **	3048,00
Extracto etéreo (%)*	4,10
Fibra bruta (%)*	2,85
Ca (%)**	1,05
Fósforo total (%)**	0,69
Metionina+Cistina (%)**	0,83
Lisina (%)**	1,26

¹ Vitamina A: 8.000.000 UI; vitamina D3: 1.500.000 UI; vitamina E: 30.000 UI; vitamina B2: 3.800 mg; vitamina B6: 1.800 mg; vitamina B1: 1.200 mg; vitamina K3: 1.500 mg; ácido nicotínico: 26.000 mg; ácido pantoténico: 9.000 mg; ácido fólico: 600 mg; biotina: 40 mg; colina: 180 g; vitamina B12: 10.000 µg; cobre 8.500 mg; hierro: 50.000 mg; iodo: 1000 mg; manganeso: 70.000 mg; selenio: 250 mg; cobalto: 200 mg; zinc: 60.000 mg; antioxidante: 125 mg. Excipiente C.S.P.: 1000 g. PB: proteína bruta. EM: energía metabolizable. *valores analizados. ** valores calculados a partir de la composición de los ingredientes según Rostagno et al. (2011).

Tabla 3. Ingredientes y composición química de las dietas experimentales

Ingredientes %	C	W ₃	W ₃ +H	H
Maíz	69,00	66,00	66,00	69,00
Harina de soja (41% PB)	23,50	16,66	16,66	23,50
Harina de carne (41% PB)	6,20	6,20	6,20	6,20
Harina de chía	-	10,00	10,00	-
Conchilla molida	0,30	0,30	0,30	0,30
L-Lisina- HCl	0,13	-	-	0,13
Sal	0,25	0,25	0,25	0,25
Núcleo Vitamínico Mineral ¹	0,50	0,50	0,50	0,50
Dl-metionina	0,12	0,09	0,09	0,12
Hidroxitirosol	-	-	+	+
Composición química				
Proteína bruta (%)*	18,48	18,18	18,18	18,48
EM (Kcal.Kg ⁻¹)**	3.141,14	3.127,87	3.127,87	3.141,14
Extracto etéreo (%)*	4,33	5,86	5,86	4,33
Fibra bruta (%)*	2,59	4,73	4,73	2,59
Ca (%)**	0,91	0,99	0,99	0,91
Fósforo total (%)**	0,70	0,73	0,73	0,70
Metionina+Cistina (%)**	0,74	0,80	0,80	0,74
Lisina (%)**	1,04	1,17	1,17	1,04

C: control; W₃: 10% harina de chía; W₃+H: 10% harina de chía e hidroxitirosol y H: hidroxitirosol. ¹ Vitamina A: 8.000.000 UI; vitamina D3: 1.500.000 UI; vitamina E: 30.000 UI; vitamina B2: 3.800 mg; vitamina B6: 1.800 mg; vitamina B1: 1.200 mg; vitamina K3: 1.500 mg; ácido nicotínico: 26.000 mg; ácido pantoténico: 9.000 mg; ácido fólico: 600 mg; biotina: 40 mg; colina: 180 g; vitamina B12: 10.000 µg; cobre 8.500 mg; hierro: 50.000 mg; iodo: 1000 mg; manganeso: 70.000 mg; selenio: 250 mg; cobalto: 200 mg; zinc: 60.000 mg; antioxidante: 125 mg. Excipiente C.S.P.: 1000 g. PB: proteína bruta. EM: energía metabolizable. ** valores calculados a partir de la composición de los ingredientes según Rostagno et al. (2011) y, para harina de chía, según datos proporcionados por Desus S.A.

Tabla 4. Composición química de la harina de chía.

Composición química	
Materia grasa %	18,00
Proteínas %	27,30
Ácido palmítico %	7,76
Ácido esteárico %	3,62
Ácido oleico %	7,55
Ácido linoleico %	20,50
Ácido linolénico %	59,70
Valor energético Kcal/100g	349,00
Cenizas %	5,80
Hidratos de carbono %	19,55
Humedad %	7,90

Los animales fueron individualizados con un precinto de *goma eva* que contenía un número y un color específico que permitía identificar al animal por bloque y tratamiento, respectivamente. La colocación de los anillos permitió mantener un orden en el manejo de los animales. Durante las primeras 48 h, se proporcionó 23 h de luz al día, posteriormente se utilizó luz continua. La temperatura inicial fue de 31 °C en la primera semana y se redujo gradualmente 3 °C por semana hasta alcanzar los 23 °C. Durante los primeros 4 días se aplicó un antimicrobiano sintético de amplio espectro ENRO (Enrofloxacin quimioterápico 1 ml/L) y polivitamínico (1 gr/L) en los bebederos. A los 7 y 15 días de edad los pollos recibieron la vacuna combinada contra Newcastle + Bronquitis Infecciosa y Gumboro, respectivamente.

Las aves (machos y hembras) fueron pesadas al inicio (22 días) y al final (46 días) de la etapa experimental, y diariamente se registró el consumo de alimento por corral. Aunque se trabajó con ambos sexos en igual proporción en la etapa experimental, para los análisis de sangre y el sacrificio post-mortem se seleccionaron únicamente machos. A los 41 días de edad se extrajeron muestras de sangre por punción de la vena alar de 2 machos/bloque/tratamiento (8 machos/tratamiento; 32 en total) elegidos al azar. El suero fue separado por centrifugación (2,300 g x 15' a 4 °C), y almacenado a -20 °C hasta su posterior análisis.

A los 46 días de edad, se seleccionaron al azar 2 machos/bloque/tratamiento (8 machos/tratamiento; 32 en total), los cuales fueron pesados luego de un período de ayuno de 12 h y sacrificados de manera humanizada mediante corte de la vena yugular, en la sala de faena de Agricultura y Ganadería de la UNS. A continuación, fueron llevadas al Laboratorio de Monogástricos del Depto. de Agronomía para realizar el eviscerado y las determinaciones *post-mortem*. Luego, las carcasas fueron estibadas en cámara frigorífica a (4 °C) hasta el día siguiente (24 h) en que se despostaron, se removieron los cortes comerciales y la grasa abdominal y se realizaron las mediciones de pH, color y calidad tecnológica. Las pechugas fueron congeladas a -20 °C hasta su posterior estudio de calidad nutricional y oxidativa de la carne.

4.4.3. Determinaciones

4.4.3.1. Determinación de los parámetros de respuesta productiva animal

El peso vivo de los animales (machos y hembras) a los 22 días se consideró como peso vivo inicial, (PVI; g) y a los 46 días como peso vivo final (PVF; g). La diferencia entre

ambos pesos determinó la ganancia de peso (GP; g.pollo⁻¹). A su vez, entre los días 22 y 46 se calculó el consumo voluntario de alimento (CV; g.pollo⁻¹) y la conversión alimenticia (CA; CV.GP⁻¹) en todas las aves.

El peso vivo de faena (PVFa; g) corresponde al peso de los machos seleccionados al azar para sacrificio a los 46 días, y se utilizó para calcular el rendimiento de canal y de los cortes comerciales pechuga, pata, muslo y piel, siendo todos expresados en porcentaje.

4.4.3.2. Determinación del peso de órganos internos, grasa abdominal y pH intestinal

Se determinó el peso de molleja, proventrículo, intestino delgado (ID), ciego, páncreas, bolsa de Fabricio (BF) bazo, corazón, hígado y grasa abdominal (incluyendo la circundante a la molleja y al proventrículo). El largo del ID (duodeno, yeyuno e íleon) fue medido con una regla milimétrica desde el esfínter pilórico hasta la unión ileo-cecocolica (órgano lleno). El peso relativo de los distintos órganos, la longitud relativa del intestino y la grasa abdominal se calcularon como porcentajes del PVFa.

El pH del contenido intestinal se midió a los 45' *post-mortem* sobre un homogeneizado de 0,8 g de contenido yeyunal junto a 10 ml de agua destilada, con un termo-pHmetro (Altronix®) con electrodo combinado, calibrado con patrones de pH 4 y 7.

4.4.3.3. Análisis de parámetros sanguíneos

Los análisis de sangre se realizaron en el Laboratorio de Análisis Clínicos, Bromatológicos e Industriales - C.I.A.B.I.C. Las concentraciones de CT, TG, HDL del suero se determinaron mediante el uso de kits comerciales (WIENER LAB; Argentina). El parámetro LDL se determinó según Friedewald et al. (1972) siguiendo la siguiente fórmula: $LDL\ (mg\ dL^{-1}) = CT - (HDL + TG/5)$.

4.4.3.4. Determinación de pH, calidad tecnológica y color de la carne

El pH se determinó a cada lado (izquierdo y derecho) del músculo pectoral mayor a las 24 horas *post-mortem*, con un peachímetro Altronix con electrodo de punta específico para mediciones en carne a una profundidad de 2,5 cm, previamente calibrado con estándares de pH 4 y pH 7.

El color de la carne se determinó sobre la superficie externa del músculo pectoral mayor mediante dos lecturas, con un colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta Co., Japón) con iluminante estándar D65, con base en el sistema de la Commission

Internationale de l'Éclairage (CIE, 1976). La escala o espacio de color CIE se basa en la cuantificación de tres parámetros, que hacen referencia a la luminosidad (L^*), enrojecimiento (a^*) y amarillamiento (b^*). La variable L^* se define en una escala de 0 (sin luz, negro) a 100 (blanco). Las variables a^* y b^* definen la coloración, donde a^* varía del verde si es negativo al rojo si es positivo, y b^* define el componente azul en valores negativos y amarillo en valores positivos. Además, se determinaron el ángulo Hue (h^* , tonalidad) como: $h^* = \tan^{-1} \times (b^*/a^*)$ y el Chroma (C^* , saturación) como: $C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]$.

Los parámetros de pérdida por compresión (PPC), pérdida por goteo (PG), rendimiento a la cocción (RC) se realizaron por duplicado en el músculo pectoral mayor. La PPC (%) se efectuó de acuerdo al método de Braña Varela et al. (2011), utilizando una muestra de pechuga de aproximadamente 0,3 g ($\pm 0,05$) introducida dentro de un papel de filtro doblado, previamente pesado (peso inicial: p_i). El mismo se colocó entre dos placas de vidrio y se sometió a compresión con una pesa de 2,25 kg durante 5 minutos. Posteriormente, se retiró la muestra de carne y se procedió a pesar el papel de filtro (peso final: p_f). La PPC se calculó como el porcentaje del peso de jugo obtenido (g) por cada g de muestra de carne utilizando la ecuación: $PPC (\%) = [(p_f - p_i)/\text{peso muestra}] \times 100$.

La PG se analizó siguiendo la metodología de Honikel (1998) donde se cortaron trozos de pechuga de aproximadamente 20 gramos, longitudinalmente a la fibra muscular. Las muestras fueron pesadas (p_i), colocadas dentro de bolsas de plástico suspendidas con un gancho de alambre y almacenadas en refrigeración a 4 °C hasta su posterior pesaje final a las 48 h (p_f). La PG se obtuvo siguiendo la siguiente fórmula: $PG (\%) = (p_i - p_f)/p_i \times 100$.

El RC se determinó mediante la técnica sugerida por Honikel (1998) con las siguientes modificaciones. Las muestras de aproximadamente 5 g ($\pm 0,05$) (p_i) fueron colocadas en bolsas de plástico tipo ziploc y suspendidas en un baño María durante 10 minutos, tiempo necesario para que la T° interna alcanzara los 80 °C. Posteriormente, las muestras se llevaron a temperatura ambiente dentro de un recipiente con agua y a continuación fueron pesadas (p_f). El RC se expresó como porcentaje del peso inicial de la muestra utilizando la siguiente fórmula: $RC (\%) = (p_f/p_i) \times 100$.

4.4.4. Análisis estadístico

Todas las variables fueron analizadas mediante ANOVA en bloques completos al azar, donde la unidad experimental fue el corral. La unidad de medida para PVI, PVF y GP fue

cada uno de los 6 animales dentro del corral y para CV y CA el corral. Además, el PVI se utilizó como covariable.

Para PVFa, rendimiento de la canal, cortes comerciales, peso de la grasa abdominal, así como peso de los diferentes órganos y perfil hematológico, la unidad de medida estuvo representada por dos machos seleccionados al azar por corral (8 animales por tratamiento). En el caso de rendimiento de la canal, cortes comerciales y grasa abdominal, el PVFa fue empleado como covariable.

Para las variables de calidad tecnológica, la unidad de medida fue la pechuga de los 2 machos por corral llevados a faena, manteniendo la estructura de tratamientos y bloques (8 animales por tratamiento).

El software utilizado fue Infostat (Di Renzo et al., 2008) y la comparación entre valores medios se realizó mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.5.1. Parámetros productivos, peso de faena y de cortes comerciales

Los resultados experimentales de PVI, PVF, GP, CV y CA se presentan en la Tabla 5. El peso vivo inicial (PVI), incluido como covariable en el análisis, no tuvo un efecto significativo ($P > 0,05$) sobre ninguna de las variables medidas. En relación al PVI y CV no se hallaron diferencias ($P < 0,05$) entre los diferentes tratamientos. No obstante, la dieta que contenía solo hidroxitirosol presentó mayor PVF, GP y una mejor CA que aquellas que incluían harina de chía, no presentando diferencias con la dieta C. La ausencia de disparidades entre la dieta H y C coincide con lo observado por Shafey et al. (2013), Agah et al. (2019) y Tufarelli et al. (2022), quienes adicionaron extracto de hojas de olivo, hojas de olivo y pulpa de oliva seca a la dieta de pollos parrilleros, respectivamente. Similarmente, Zhang et al. (2013), King et al. (2014) y Al-Harthi (2017), no hallaron diferencias en la performance animal al agregar aceite, extracto seco u orujo de oliva a la ración de pollos, respectivamente. No obstante, Younan et al. (2018) obtuvieron un aumento significativo del 5,3% y 9,8% en la ganancia de peso de conejos que recibieron extracto de hojas de olivo en la dosis de 1 y 1,5 ml.Kg dieta⁻¹. Por otro lado, Erener et al. (2020) reportaron resultados similares al adicionar 300 y 600 mg.kg⁻¹ de extracto de hojas de olivo en pollos parrilleros. En concordancia, Ibrahim et al. (2021) al adicionar orujo de oliva fermentada en un 15% y Saleh y Alzawqari (2021), harina de torta de oliva en un 5 y 10% en la dieta de pollos, observaron mayores GP y CA. Según de Oliveira et al. (2021) la inclusión de orujo de oliva en la dieta de pollos de engorde, codornices y gallinas

ponedoras, hasta un 10%, produciría una reducción del consumo voluntario, causada probablemente por el alto contenido en fibra de este ingrediente, sin afectar negativamente el rendimiento. Sin embargo, Xie et al. (2022) observaron una disminución en el consumo de alimento y en la ganancia diaria de peso de pollos con dosis de 0,4 y 0,5% de extracto de hojas de olivo, atribuyéndolo a una baja palatabilidad de la dieta.

Conforme a lo expuesto, se observan respuestas nominalmente contradictorias respecto a la acción de los distintos subproductos de la agroindustria olivícola. Estas discrepancias podrían estar asociadas con la fuente de polifenoles, su composición y concentración de sustancias activas, así como con el nivel utilizado. Además, el período de exposición y la especie animal también podrían influir sobre los resultados.

Tabla 5. Parámetros productivos de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad.

Variables	C	W ₃	W ₃ + H	H	EEM	P=
PVI (g)	772,13	843,07	831,95	813,50	25,20	NS
PVF (g)	2863,56 a	2686,48 b	2673,36 b	2917,77 a	52,04	0,02
GP (g.pollo ⁻¹)	2091,43 a	1843,41 b	1841,41 b	2104,27 a	41,51	0,001
CV (g.pollo ⁻¹)	4165,54	4134,83	4039,96	4128,80	54,89	NS
CA (CV.GP ⁻¹)	1,99 b	2,25 a	2,20 a	1,96 b	0,05	0,003

C: control; W₃: 10% harina de chía; W₃+H: 10% harina de chía + hidroxitirosol y H: hidroxitirosol. PVI: peso vivo inicial. PVF: peso vivo final. GP: ganancia de peso. CV: consumo voluntario. CA: conversión alimenticia. EEM: error estándar de la media. Medias con letras distintas en la misma fila difieren significativamente (P< 0,05). NS: no significativo.

Como se ha demostrado en estudios previos, los efectos del HT en pollos de engorde han sido descritos mediante el uso de subproductos del olivo. Sin embargo, la adición de HT en su forma pura y aislada ha sido escasamente probada en pollos parrilleros. Una investigación relacionada corresponde a Dias et al. (2024) quienes no encontraron diferencias en los parámetros productivos al adicionar hasta 50 mg.kg⁻¹ de HT en polvo en la dieta de pollos parrilleros. Sin embargo, Chila Covachina (2014) reportó mejoras en los parámetros productivos al adicionar 150 mg.kg⁻¹ de jarabe de HT en la dieta durante todas las etapas de engorde. Es importante señalar que en este último estudio se utilizaron dosis mayores y una forma de suministro diferente a la empleada en el presente estudio. Teniendo en cuenta estos hallazgos, se podría inferir que el nivel de inclusión de 7 mg.kg PV⁻¹.día⁻¹ y el período de exposición podrían haber sido insuficientes para expresar diferencias en la performance animal entre la dieta H y el control.

No obstante, cuando se realizaron los análisis postfaena de rendimiento y cortes comerciales en machos (Tabla 6), se evidenció un mayor PVFa, así como un incremento en el rendimiento de la canal y de la pechuga en los pollos que recibieron la dieta H, en comparación con el resto de los tratamientos. En todos los casos, la covariable PVFa no fue significativa ($P>0,05$). Las diferencias que se expresan postfaena podrían estar sustentadas, por un lado, al efecto antioxidante, inmunomodulador, antiinflamatorio y bacteriostático del hidroxitirosol (Viveros et al., 2011; Shan y Miao, 2022). Los polifenoles de la dieta pueden interactuar con la microbiota intestinal modificando su composición. Por ejemplo, los lactobacilos poseen la capacidad de metabolizar estos compuestos aportando energía a las células y afectando positivamente el metabolismo y crecimiento bacteriano benéfico (García-Ruiz et al., 2008). Además, los polifenoles reducirían la población de bacterias patógenas favoreciendo de este modo, la salud intestinal y el correcto funcionamiento del intestino promoviendo una mayor eficiencia en la utilización de nutrientes que se reflejará en el peso del animal (Viveros et al., 2011; Abu Hafsa e Ibrahim, 2017).

Tabla 6. Peso vivo de faena, peso relativo de la canal y cortes comerciales de pollos parrilleros machos alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 42 días de edad.

Variables	C	W ₃	W ₃ + H	H	EEM	P=
PVFa (g)	2947,63 b	2880,00 b	2792,25 b	3241,00 a	84,91	0,02
Peso de la canal (%PVFa)	74,60 b	74,48 b	74,25 b	76,06 a	0,41	0,04
Pata (%PVFa)	8,30	8,92	8,82	8,44	0,23	NS
Muslo (%PVFa)	10,97	11,54	11,09	10,72	0,37	NS
Pechuga (%PVFa)	21,55 b	20,63 b	20,24 b	24,64 a	0,91	0,03
Piel (%PVFa)	7,50	7,32	7,34	6,87	0,28	NS

C: control; W₃: 10% harina de chía; W₃+H: 10% harina de chía + hidroxitirosol y H: hidroxitirosol. PVFa: peso vivo faena. EEM: error estándar de la media. Medias con letras distintas en la misma fila difieren significativamente ($P<0,05$). NS: no significativo.

Por otro lado, es importante señalar que los genotipos modernos de pollos responden al incremento en la disponibilidad de aminoácidos con un aumento del peso corporal y rendimiento de pechuga (Murray et al., 2014). Los polifenoles incrementan la producción de aminoácidos como serina y L-ornitina (Xiong et al., 2016). Esta última aumenta la síntesis de insulina, la liberación pituitaria de hormona de crecimiento y, en consecuencia, promueve el desarrollo muscular (deposición de proteína) y el catabolismo del tejido adiposo (Wang et al., 2008). Asimismo, la hormona de crecimiento promueve la proliferación de células satelitales, las cuales representan el único recurso postnatal

asociado al crecimiento del músculo esquelético a través del aumento del número de fibras musculares y la adición de núcleos a las mismas (Kim et al., 2005; Pallafacchina et al., 2013). Este último efecto es clave para lograr el incremento del tamaño de las fibras, de la masa muscular y de la producción de carne. El número de células satelitales es mayor en los músculos de rápido crecimiento como la pechuga (Al-Musawi et al., 2011; Gao et al., 2016). En el tratamiento H, la mejora en el rendimiento de la pechuga podría explicarse por la mayor respuesta a factores de crecimiento muscular que presenta este músculo (Qiao et al., 2013) y al aumento en la proliferación de células satelitales. Es relevante destacar que, en relación al uso de hidroxitirosol obtenido de la industria olivícola y su efecto sobre los tejidos musculares y el engorde de pollos parrilleros, los antecedentes disponibles son escasos. En este sentido, la información obtenida en la presente tesis constituye un aporte relevante y resalta la necesidad de profundizar esta línea de investigación en el futuro.

En disparidad con los resultados de la pechuga, no se encontraron diferencias ($P>0,05$) en los pesos de los cortes pata y muslo entre los distintos tratamientos (Tabla 6) atribuyéndolo a la diferente composición de las fibras musculares, tasa de recambio de proteína y la distinta composición química entre estos músculos (Baillie y Garlick, 1991; Suchý et al., 2002; Chen et al., 2016).

En el presente experimento, en lo referido al uso de harina de chía, se observó una menor ($P<0,05$) performance (PVF, GP y CA) en las aves alimentadas con dietas que contenían n-3 (W_3 y W_3+H) en comparación con las dietas H y C (Tabla 5). Inclusive, se hallaron menores ($P<0,05$) valores de PVFa, rendimiento de la canal y de la pechuga que la dieta H, sin mostrar diferencias con respecto a la dieta control (Tabla 6). Estos resultados concuerdan con otros autores que muestran un efecto menor o nulo con el agregado de semillas chía a la dieta de pollos parrilleros (Ayerza et al., 2002; da Silva et al., 2024). Adicionalmente, Azcona et al. (2008) utilizando diferentes fuentes de n-3 observaron menor performance en pollos alimentados con semillas de lino, pero no con semillas de colza o semillas y harina de chía. En contrapartida, Ayerza y Coates (2005) acreditaron un mayor peso corporal y una mejor CA en ratas que consumieron semillas o aceite de chía en la dieta. En cambio, Mendonça et al. (2020) evidenciaron resultados similares adicionando aceite de chía (2,5%) a la dieta de pollos parrilleros, pero no con semillas de chía (16,4%). Por su parte, Hamzah y Mohmad (2021) reportaron mayores GP con el adicionado de semillas de chía a la dosis de 15 g/kg de alimento. Otro punto a

destacar es que, el uso combinado de harina de chía e hidroxitirosol no mostró un efecto sinérgico ($P>0,05$).

En base a estos estudios, se observa una considerable variabilidad en los resultados, que podrían estar relacionados con la forma de presentación (harina, aceite o semilla) de la fuente de n-3 utilizada, y el nivel de inclusión. Además, factores como la especie y raza animal, la composición de la dieta y la duración del período de alimentación podrían influir en los resultados obtenidos. La interacción del alimento con una o más de las otras variables podría también contribuir a explicar los diferentes hallazgos entre experimentos.

Por otro lado, concerniente al nivel de chía en la alimentación de aves, un factor limitante lo constituye su fibra soluble o mucílago. La semilla de chía contiene entre 36 y 40 g de fibra dietaria cada 100 g. Durante el proceso de extracción del aceite se obtiene la harina de chía la cual presenta un 40% de fibra, correspondiendo un 4% a fibra soluble o mucílago (Muñoz et al., 2013). Según lo especificado por distintos autores (Muñoz, 2012; Reyes-Caudillo et al., 2008) este mucílago, es un polisacárido no amiláceo (PNA), ramificado, de elevado peso molecular, compuesto de residuos de D-xilosa, D-manosa, D-arabinosa, D-glucosa y ácidos galacturónico y glucurónico. Este polisacárido en contacto con el agua se expande formando una masa muy viscosa, capaz de modificar las funciones fisiológicas y el tránsito intestinal (Capitani et al., 2013; Perera et al., 2019). El animal compensa esta ineficiencia en la digestión y absorción de nutrientes con un aumento de peso de los órganos digestivos (Ikegami et al., 1990; Navidshad, 2009; Sahito et al. 2012). En respuesta a este hecho, incrementa los requerimientos de mantenimiento y disminuye la proporción de energía disponible para producción, en consecuencia, se genera una disminución de la GP (Sadeghi et al., 2015; Yaghobfar y Kalantar, 2017; Jha y Mishra, 2021). La evidencia obtenida en la presente investigación sugiere que la presencia del mucílago o fibra soluble en la harina de chía podría haber contribuido al menor desempeño productivo observado en las aves alimentadas con dietas que contenían ácidos grasos n-3.

4.5.2. Peso de órganos internos, grasa abdominal y pH intestinal

El desarrollo y la salud del tracto gastrointestinal (TGI) son factores clave en la productividad de los animales de granja, particularmente en las aves de corral (Stanley et al., 2013). En animales monogástricos, el uso de diferentes aditivos puede influir sobre la calidad nutricional de la dieta, el desarrollo y la funcionalidad de los órganos digestivos, hecho que se refleja sobre el metabolismo, el nivel de producción y la salud del animal.

En el presente estudio se observaron diferencias significativas ($P<0,05$) en el peso relativo de algunos órganos internos en relación con las dietas evaluadas (Tabla 7). En particular, los pollos alimentados con las dietas W_3 y W_3+H presentaron un peso de la molleja mayor en comparación con el grupo control ($P<0,05$), mientras que el grupo H mostró valores intermedios. Asimismo, el peso relativo del proventrículo fue mayor en los grupos W_3 y W_3+H en comparación con la dieta H ($P<0,05$), siendo el grupo control intermedio. Estos resultados podrían atribuirse al efecto de la fibra soluble de la harina de chíá, la cual podría haber estimulado el desarrollo de órganos digestivos debido a sus efectos sobre la viscosidad del contenido intestinal (González-Alvarado et al., 2007; Jha y Mishra, 2021). Estudios previos realizados por nuestro grupo de trabajo en la UEA registraron resultados similares con el agregado de dosis mayores de harina de chíá (15 %) a la dieta de pollos parrilleros (Fernández et al., 2016). Asimismo, Brenes et al. (2002), indicaron un incremento en el peso de la molleja en pollos parrilleros con el agregado de granos de lupino, un compuesto que contiene altas cantidades de PNA.

Tabla 7. Peso relativo de órganos internos, pH y largo de intestino de pollos parrilleros machos de 46 días de edad alimentados con dietas adicionadas con harina de chíá y/o hidroxitirosol.

Variables	C	W_3	W_3+H	H	EEM	P=
pH intestino delgado	6,99	7,13	7,15	7,18	0,06	NS
Molleja (% PVFa)	1,68 c	1,95 a	1,93 ab	1,76 bc	0,06	0,03
Proventrículo (% PVFa)	0,30 bc	0,35 ab	0,37 a	0,28 c	0,02	0,01
ID (% PVFa)	2,29 b	2,70 a	2,69 a	2,11 b	0,11	0,01
Largo ID (% PVFa)	5,93 ab	6,56 a	6,51 a	5,65 b	0,21	0,03
Ciegos (% PVFa)	0,78 ab	0,85 a	0,84 a	0,69 b	0,04	0,06
Páncreas (% PVFa)	0,14 ab	0,16 a	0,16 a	0,12 b	0,01	0,05
Bolsa de Fabricio (% PVFa)	0,04 b	0,08 a	0,05 b	0,06 ab	0,01	0,04
Bazo (% PVFa)	0,10	0,09	0,08	0,09	0,01	NS
Corazón (% PVFa)	0,57	0,52	0,54	0,56	0,03	NS
Hígado (% PVFa)	1,89 a	1,73 a	1,55 b	1,77 a	0,06	0,01
Grasa Abdominal (% PVFa)	1,57 a	1,35 b	1,36 b	1,21 b	0,06	0,02

C: control; W_3 : 10% harina de chíá; W_3+H : 10% harina de chíá + hidroxitirosol y H: hidroxitirosol. PVFa: peso vivo de faena. ID: intestino delgado. EEM: error estándar de la media. Medias con letras distintas en la misma fila difieren significativamente ($P<0,05$). NS: no significativo.

Avanzando en el recorrido del alimento por el TGI, el ID es un órgano complejo que constituye un paso obligado de los nutrientes que sirven de base para el metabolismo,

crecimiento y mantenimiento del animal. Además, proporciona los recursos necesarios para el sistema inmunológico, esquelético y nervioso. Un factor clave para mantener las condiciones homeostáticas y un adecuado proceso digestivo, es asegurar un rango óptimo de pH donde se asegure un ambiente adecuado para la digestión y absorción de nutrientes. En el presente estudio, no se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) entre los diferentes tratamientos en los registros de pH del contenido de intestino delgado (Tabla 7).

Por otro lado, el tracto gastrointestinal de las aves es flexible anatómica y fisiológicamente, lo que les permite adaptarse mejor a diversas circunstancias alimenticias. Los efectos que la fibra dietaria puede ejercer sobre la morfología y la tasa de recambio celular de la mucosa digestiva, dependen en gran medida de las características fisicoquímicas de la fibra, de su nivel de incorporación en la dieta, del período de ingestión, del segmento intestinal correspondiente y de la especie y la edad del animal (Montagne et al., 2003).

En el presente experimento, los mayores valores ($P<0,05$) de peso y largo de ID observados en las dietas W_3 y W_3+H con respecto a C y H (Tabla 7) podrían atribuirse a la presencia de la fibra soluble en la harina de chía. Como se mencionó previamente, la fibra soluble genera condiciones viscosas en el ID que dificultan el deslizamiento del contenido y enlentece la velocidad de tránsito del alimento (Jiménez-Moreno et al., 2010; Capitani et al., 2013; Perera et al., 2019). En consecuencia, disminuye el grado de contacto entre el alimento y las enzimas digestivas y, por lo tanto, se interfiere el aprovechamiento de nutrientes, lo que puede traducirse en un aumento del peso de los órganos digestivos (Yaghobfar y Kalantar, 2017; Perera et al., 2019; Tejeda y Kim, 2021). Se considera que, además, ocurren cambios morfológicos en la mucosa intestinal y alargamiento del ID (Jiménez-Moreno et al., 2013; Sadeghi et al., 2015). En concordancia con nuestro estudio, Jiménez-Moreno et al. (2013); Sadeghi et al. (2015) y Saadatmand et al. (2019) observaron resultados similares al adicionar pulpa de remolacha, una fuente de fibra soluble rica en pectina en la dieta de pollos parrilleros. Por otro lado, estudios previos realizados en la UEA (Fernández et al., 2015a y 2015b) hallaron un mayor peso de ID y un incremento en la profundidad de las criptas con el adicionado de un 15% de harina de chía a la dieta de pollos. La cripta puede actuar como fábrica de vellosidades y una gran profundidad de la cripta indica un rápido recambio de tejido y una gran demanda de tejido nuevo (Yaghobfar y Kalantar, 2017). El aumento en la profundidad de la cripta en presencia de PNA altamente viscosos sugeriría un elevado potencial de proliferación

celular y renovación tisular a nivel de la mucosa intestinal, suceso que se traduciría en un aumento del área de absorción (Iji et al., 2001). Adicionalmente al efecto de la fibra soluble, cabe considerar que los ácidos grasos n-3 dietarios aportados por la harina de chía podrían haber contribuido al aumento del peso y largo del ID debido a un mayor aporte de energía (Sahito et al., 2012).

Existe un acuerdo generalizado de que una proporción importante de la fibra soluble de la dieta abandona el intestino delgado casi intacta y es fermentada en el ciego. Como producto final, se obtienen ácidos grasos volátiles (AGVs), los cuales ejercen múltiples efectos beneficiosos sobre la salud y la inmunidad del animal (Montagne et al., 2003; Williams et al., 2017). Sin embargo, el tipo y la cantidad de fibra y otros compuestos dietéticos no digeridos que llegan al intestino grueso, son el factor principal que determina el tipo de microorganismos y de AGV producido (Tejeda y Kim, 2021). Estudios realizados por Tellez et al. (2006) observaron que los grupos de compuestos PNA de bajo peso molecular, como los oligosacáridos, son altamente solubles y pueden ser fermentados por la microbiota en el intestino grueso de los pollos de engorde formando AGVs y otros compuestos químicos beneficiosos. En contrapartida, Lan et al. (2005) registraron que la fibra soluble de alto peso molecular origina desequilibrios en la microflora y proliferación de bacterias patógenas anaerobias que compiten con el huésped por la absorción de nutrientes. Los resultados de nuestro ensayo indicaron que la presencia de carbohidratos de alto peso molecular, como los contenidos en el mucílago de la harina de chía, podrían ser los responsables del aumento ($P < 0,05$) del peso del ciego en las dietas W_3 y W_3+H (Tabla 7). Este resultado puede corresponderse con una adaptación fisiológica del ave debido a la mayor viscosidad generada y al aumento del tiempo de permanencia de la fibra en los ciegos en asociación con el incremento de la capacidad digestiva (Jha et al., 2019). Asimismo, se puede encontrar una mayor longitud en los ciegos que podría estar relacionado con la hipertrofia muscular generada por la expansión provocada por la fibra. Validando esto último, Jiménez-Moreno et al. (2010 y 2013), registraron un aumento significativo en el peso y largo del ciego al adicionar a la dieta de pollos parrilleros pulpa de remolacha.

Conforme a lo ya mencionado, la fibra dietaria soluble aparece como la responsable de cambios en la viscosidad de la digesta estomacal y luminal, produciendo variaciones en el peso de los órganos. Este efecto también se reflejó en el peso del páncreas, donde se observó su agrandamiento ($P < 0,05$) en las dietas que contenían harina de chía (W_3 y W_3+H) (Tabla 7). Es importante comprender que el páncreas es un órgano pequeño e

inmaduro funcionalmente durante los primeros días de vida del ave. Sin embargo, más tarde sufre una rápida maduración que resulta de vital importancia debido a la actividad de enzimas pancreáticas que ayudan a la digestión de carbohidratos, lípidos y proteínas (Cuervo et al., 2002). En términos generales, el aumento del tamaño de los órganos sería una respuesta adaptativa del animal para incrementar la capacidad del sistema digestivo. En consecuencia, ocurre una necesidad de mayor cantidad de enzimas como lo demuestran los estudios de Tabook et al. (2006) y Yaghobfar y Kalantar (2017), autores que sugieren que la fibra de dátiles y de semillas de trigo y cebada tienen un efecto secretagogo y trófico en el páncreas de ratas y pollos, respectivamente.

Sin embargo, si bien existiría una mayor secreción de enzimas, la fibra dietética a nivel intestinal ofrecería un efecto inhibitorio directo sobre la actividad de las enzimas pancreáticas (Li et al., 2004; Lin et al., 2010), deprimiendo de este modo el proceso digestivo y la absorción a nivel intestinal (Ikegami et al., 1990). Isakson et al. (1983) notaron en estudios in vitro que la fibra dietética inhibe la actividad de las enzimas pancreáticas y que este efecto se debía principalmente a la viscosidad, el pH y la capacidad de absorción propia de la fibra. El aumento del peso del páncreas en respuesta al consumo de fibra dietética fue señalado en algunos estudios anteriores por Ikegami et al. (1990), Jiménez-Moreno et al. (2013). Del mismo modo, Saadatmand et al. (2019) también reportaron un aumento del peso del páncreas luego de la alimentación con dietas que contenían pulpa de remolacha. Los cambios en el peso de los órganos digestivos observados en este estudio tendrían un impacto en el metabolismo energético del animal, dado que los órganos viscerales tienen una alta tasa de gasto de energía en relación con su tamaño (Jha y Mishra 2021).

Al investigar el peso relativo de diferentes órganos, es importante considerar que el peso de la bolsa de Fabricio y del bazo podrían reflejar la respuesta y la funcionalidad del sistema inmunitario (El-Katcha et al., 2014). La BF se encuentra presente exclusivamente en las aves y ha sido utilizada para estudiar el desarrollo y maduración de los linfocitos B, los cuales están involucrados en la producción de anticuerpos (Wang et al., 2000). Es importante destacar que, cuanto más tiempo el ave conserve este órgano inmune intacto, menor será el riesgo de experimentar un trastorno por inmunosupresión (Siegel-Causey, 1990). Por otra parte, los ácidos grasos n-3 ejercen un efecto benéfico sobre el sistema inmune ya que presentan un efecto inmunomodulador y antiinflamatorio (Calder, 2007). En este contexto, el estudio actual muestra que la dieta W₃ afectó de manera significativa ($P < 0,05$) el crecimiento de la bolsa de Fabricio, lo cual podría reflejar cambios en la

respuesta humoral del animal. (Tabla 7). Del mismo modo, estudios previos realizados en la UEA también registraron un aumento del peso de la bolsa de Fabricio con el agregado de harina de chía en un 15% en la dieta de pollos parrilleros (Fernández et al., 2015a). Análogamente, Wang et al. (2000) advirtieron mayor peso de este órgano en ponedoras que consumieron dietas con aceite de girasol, lino o pescado hasta las cuatro semanas de edad. No obstante, algunos estudios sugieren que la alimentación de pollos con AGPI provenientes del aceite de pescado o de soja disminuirían el peso de la misma, interpretándose como un indicador de baja actividad inmune (Al-Khalifa et al., 2012; Sadeghi et al., 2013). La discrepancia en los resultados observados en algunos casos podría deberse a la diferente raza de animal utilizada, así como, las distintas fuentes y niveles de AGPI adicionadas a la dieta.

Asimismo, cabe enfatizar que el bazo es un órgano inmune secundario de extrema importancia, relacionado con la recirculación y diferenciación final de linfocitos, biosíntesis de anticuerpos y el desarrollo de macrófagos. Además, realiza funciones de fagocitosis, destrucción de antígenos, inmunocomplejos y células parasitadas (John, 1994). En el presente estudio, los diferentes tratamientos no afectaron el peso del bazo ($P>0,05$) (Tabla 7) concordando con los resultados observados por Navidshad (2009), Al-Khalifa et al. (2012) quienes adicionaron aceite de pescado en la dieta de aves. Adicionalmente, en estudios anteriores en la UEA, Fernández et al. (2015a), tampoco encontraron diferencias con el uso de harina de chía en la dieta de pollos parrilleros. La ausencia de diferencias entre los tratamientos y el grupo control podría indicar que no existió ninguna situación de inmunodepresión o inmunosupresión en la salud de las aves, ya sea por factores de manejo (como densidad o nutrición), ambientales (temperatura, ventilación, humedad, etc.) o patológicos (virus, bacterias, entre otros). Los pollos de engorde criados en condiciones intensivas tienden a sufrir niveles variables de estrés. Ante posibles situaciones ambientales desfavorables, si las aves no logran adaptarse tienden a reaccionar de forma adversa, originando en respuesta una atrofia del bazo (Puvadolpirod y Thaxton, 2000). No obstante, cabe considerar que para arribar a conclusiones terminantes sobre el efecto de los AGPI n-3 de la harina de chía sobre la salud inmunitaria del animal, es necesario continuar con estudios que incluyan el dosaje de células inmunes y títulos de anticuerpos. La motivación estaría asociada con las observaciones que realizaron algunos autores donde indican, que los AGPI provenientes del aceite de pescado o de lino, podrían disminuir la proliferación de linfocitos y la fagocitosis en aves (Wanget al., 2000; Xia et al., 2003; Al-Khalifa et al., 2012). Inclusive,

corresponde considerar que la respuesta inmunitaria del organismo frente a una fuente de n-3 en la dieta podría manifestarse con mayor intensidad en condiciones de estrés o enfermedad, dado que la interacción entre los distintos compuestos nutricionales es compleja y no siempre lineal ni predecible.

En lo que se refiere al peso del corazón, en los pollos de engorde tiende a aumentar considerablemente cuando se incrementan los niveles de grasa en la dieta. Este hecho sugiere que en aquellos animales alimentados con niveles de grasa más allá de las recomendadas podrían ocurrir trastornos y dolencias asociados con el agrandamiento del corazón (Sahito et al., 2012). En el presente estudio, no se advirtieron diferencias ($P>0,05$) en el peso de este órgano entre los diferentes tratamientos (Tabla 7). Este resultado podría deberse a que el mayor nivel de grasa presente en las dietas con harina de chía de nuestro estudio estaba mayoritariamente constituídas por AGPI n-3. Estudios realizados por Poudyal et al. (2012) demostraron que el agregado de semilla de chía a una dieta grasa (sebo de res) disminuye el peso del corazón. Por otro lado, Alagawany et al. (2020) no observaron resultados al adicionar aceite de chía en la dieta de codornices. Del mismo modo, Chekani-Azar et al. (2007) y Fouladi et al. (2011) no hallaron diferencias con el uso de aceite de pescado en pollos o de canola en codornices.

En relación con el sistema linfático de las aves, es importante tener en cuenta que este es rudimentario. Por este motivo, el hígado es el primer tejido que entra en contacto con los lípidos de la dieta una vez que son absorbidos en el intestino. La principal ruta de absorción de ácidos grasos en las aves es a través de la formación de micelas mixtas que son absorbidos directamente en la sangre (portamicrones) y, a través de la circulación portal son transportados al hígado para una síntesis adicional de ácidos grasos y posterior deposición en los tejidos. La longitud de la cadena de ácidos grasos, el número de dobles enlaces, el tipo de enlace (cis vs. trans) y el estado metabólico de las aves pueden afectar la lipogénesis hepática. En el presente ensayo, no se observó ($P>0,05$) un efecto debido al agregado de una fuente de AGPI (dieta W_3) sobre el peso del hígado (Tabla 7). Resultados similares fueron encontrados por Poorghasemi et al. (2013) y El-Katcha et al. (2014) al adicionar como fuente de n-3 aceite de canola o de lino en la dieta de pollos parrilleros. En contrapartida, Chashnidel et al. (2010) registraron menor peso de hígado en pollos con el agregado de aceite de pescado, adjudicando este resultado a una reducción en la producción endógena de lípidos y en la concentración sérica de colesterol. Si bien en el presente estudio, los niveles de CT descendieron con las dietas enriquecidas con harina de chía, no quedaron reflejados sobre el peso del hígado en la dieta W_3 . La

presencia de PNAs en la harina de chía, a través del aumento del peso del hígado y de la secreción de sales biliares podría haber contrarrestado la disminución del peso de este órgano. En concordancia con nuestros estudios, Iji et al. (2001) y Jiménez-Moreno et al. (2013) hallaron un aumento del peso del intestino delgado, pero no advirtieron incrementos en el peso del hígado con el agregado de suplementos viscosos.

Sin embargo, es de destacar que el peso del hígado fue menor ($P<0,05$) cuando el antioxidante se adicionó en forma combinada con la harina de chía (W_3+H) (Tabla 7). En esta situación, el hidroxitirosol tendería a proteger los AGPI de la harina de chía de la peroxidación lipídica promoviendo un mayor aporte de ALA al hígado, los cuales disminuirían la lipogénesis hepática generando así un efecto hepatoprotector y la disminución del tamaño de este órgano (Dublecz et al., 2007; Poudyal et al., 2012). En el presente estudio, los niveles de ALA en la dieta W_3+H mostraron un aumento, lo cual podría sustentar el resultado mencionado y reflejar un efecto potenciado por la combinación de ambos componentes dietarios. Por otro lado, el hidroxitirosol preservaría la actividad de las enzimas hepáticas desaturasas las que originan la formación de ácidos grasos insaturados en detrimento del depósito de grasas saturadas (Valenzuela et al., 2017). De allí que, el antioxidante ofrecería protección frente al estrés oxidativo y el contenido de ácidos grasos saturados en hígado, los cuales promueven procesos de esteatosis y aumento de peso de este órgano. Tufarelli et al. (2016) demostraron el efecto antioxidante del aceite de oliva extra virgen en pollos parrilleros al reducir la peroxidación lipídica en el hígado mediante el aumento del sistema de defensa antioxidante.

Los resultados de la presente investigación muestran que el adicionado aislado de hidroxitirosol (dieta H) en disonancia con lo expuesto por el agregado de harina de chía, no se tradujo en diferencias en el peso de los órganos ID, ciegos, molleja, proventrículo, páncreas, hígado, bazo, bolsa de Fabricio y largo de ID con respecto al control ($P>0,05$) (Tabla 7). Los datos obtenidos serían de carácter novedoso dado que no existe información sobre el uso de HT puro en la dieta de pollos parrilleros sobre el peso de los diferentes órganos viscerales. Sin embargo, cabe notar que existen estudios realizados en aves adicionando a la dieta diferentes productos y subproductos de la industria olivícola, como ser extracto de hojas de olivo (Erener et al., 2020), harina de oliva (Sateri et al., 2017) u orujo de oliva (Omar, 2005; Al-Harathi, 2017; Sayehban et al., 2020) que se complementarían como base para sustentar las conclusiones sobre los resultados del presente estudio. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos productos

contienen hidroxitirosol en diferentes concentraciones, así como otros compuestos que podrían tener efectos antioxidantes.

Por último, teniendo en cuenta que el pollo se cotiza por kg de peso vivo, la grasa abdominal, que es desechada en el procesado industrial, constituirá una pérdida económica importante. Tanto las mermas económicas, como las exigencias del consumidor por carnes más magras, impulsan al productor a producir pollos con una menor deposición de grasa corporal (Arceo et al., 2009). En el presente experimento, se observó un menor porcentaje ($P < 0,05$) de grasa abdominal en las dietas W_3 y W_3+H con respecto al control (Tabla 7). El menor contenido de grasa abdominal observado en las aves cuya dieta contenía harina de chía podría deberse al efecto inhibitorio de los AGPI sobre la lipogénesis hepática al disminuir la síntesis de triglicéridos (Crespo y Esteve-García, 2001). Además, las grasas insaturadas son catabolizadas y redistribuidas mejor en el cuerpo que las grasas saturadas (Poudyal et al., 2012). Estos ácidos son depositados predominantemente en la grasa del músculo debido a la preferencia que presentan por incorporarse a los fosfolípidos de las membranas, los cuales se encuentran en mayor proporción en la grasa de este tejido en comparación con la grasa abdominal (Enser, 1984). Por otro lado, un factor adicional que podría haber influido en el menor porcentaje de grasa abdominal en las dietas W_3 y W_3+H podría haber sido el bajo crecimiento de las aves debido a la fibra soluble presente en estas dietas.

Con respecto al menor contenido de grasa abdominal observado en la dieta H, Priore et al. (2017) demostraron que el hidroxitirosol obtenido del aceite de oliva extra virgen inhibe la lipogénesis, tanto la síntesis de novo de ácidos grasos como de colesterol. Estos autores observaron una reducción en la actividad de enzimas clave de la biosíntesis de ácidos grasos (acetil-CoA carboxilasa-ACC) y de colesterogénesis (3-hidroxi-3-metilglutaril-CoA reductasa-HMGCR). Por otro lado, Sabino et al. (2018) observaron que el uso de aguas residuales de la almazara generó un efecto directo sobre el metabolismo lipídico, desregulando genes involucrados en diversos procesos de deposición de grasa en pollos. El principal componente de estas aguas es el HT, por lo tanto, se sugiere que este fenol podría tener un efecto beneficioso en la reducción del transporte de ácidos grasos, disminuyendo la acumulación de grasa corporal. Además, Dagla et al. (2018) hallaron que el agregado de hidroxitirosol a la dieta de ratas tiene un efecto beneficioso en la hiperlipidemia, ya que modifica genes relacionados con la maduración y diferenciación de los adipocitos e inhibe la formación de grasa.

4.5.3. Perfil Sanguíneo

En el presente experimento, se registró menor concentración ($P<0,05$) de CT en las dietas W_3 y W_3+H con respecto a C y H. A su vez, los niveles plasmáticos de TG y LDL fueron significativamente más bajos ($P<0,05$) en aquellas que contenían harina de chía en comparación con el control (Tabla 8), siendo los valores de H intermedios. Los resultados de este estudio referidos al uso de harina de chía, avalan lo citado por Hamzah y Mohmad (2021) y Mendonça et al. (2022), quienes hallaron menor concentración plasmática de CT, TG y LDL en pollos parrilleros con el agregado de semillas de chía y una combinación de estas con aceite de chía, respectivamente. Por otro lado, Saleh et al. (2009) y Chashnidel et al. (2010) hallaron menor concentración plasmática de colesterol, TG y LDL en pollos con el agregado de aceite de pescado a la dieta. En concordancia, Long et al. (2020) e Ibrahim et al. (2018) señalaron una disminución en los mismos metabolitos con dietas que contenían AGPI n-3 de diferente origen (aceite de lino, aceite de pescado y microalgas). El menor contenido de estos compuestos observados en las dietas que contenían harina de chía podría atribuirse, por un lado, al efecto de los ácidos grasos n-3, los cuales disminuyen las concentraciones de colesterol a través de la supresión de la síntesis de triglicéridos, incrementan la remoción de lipoproteínas de muy baja densidad por los tejidos periféricos o el hígado y aumentan la excreción de bilis en heces (Harris et al., 1990).

Tabla 8. Parámetros sanguíneos y relación LDL/HDL de pollos parrilleros machos de 41 días de edad alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol.

	C	W_3	W_3+H	H	EEM	P=
CT (mg.dL ⁻¹)	129,25 a	106,50 b	109,25 b	133,50 a	6,12	0,01
TG (mg.dL ⁻¹)	91,00 a	74,25 b	68,25 b	80,50 ab	4,78	0,04
LDL (mg.dL ⁻¹)	62,18 a	39,65 bc	34,33 c	49,77 ab	4,82	0,01
HDL (mg.dL ⁻¹)	48,88 c	52,00 bc	61,27 ab	67,63 a	3,79	0,02
LDL/HDL	1,27 a	0,76 b	0,56 b	0,74 b	0,11	0,01

C: control; W_3 : 10% harina de chía; W_3+H : 10% harina de chía + hidroxitirosol y H: hidroxitirosol. CT: colesterol total; TG: triglicéridos; LDL: lipoproteína de baja densidad; HDL: lipoproteína de alta densidad. EEM: error estándar de la media. Medias con letras distintas en la misma fila difieren significativamente ($P<0,05$). NS: no significativo.

Por otra parte, la fibra soluble contenida en la harina de chía disminuye la absorción intestinal de ácidos grasos y colesterol, incrementa la pérdida de colesterol a través del arrastre de sales biliares en las heces e inhibe su síntesis endógena (Capitani et al., 2013). Varios estudios han reportado un efecto hipocolesterémico de la fibra dietética en ratas (Li et al., 2003; Rahmatnejad y Saki, 2016) y pollos (Martinez et al., 1992). En lo que se

refiere a las concentraciones de HDL, no se observaron diferencias con la adición de harina de chía a la dieta ($P>0,05$), pero, se obtuvo una mejor relación LDL/HDL, que estaría originada por la disminución de los niveles de LDL (Tabla 8).

Los efectos referidos al adicionado aislado de hidroxitirosol a la dieta (dieta H) sobre los niveles de CT no fueron tan manifiestos como sucedió con el agregado de harina de chía, no mostrando diferencias ($P>0,05$) con la dieta control. En contrapartida, Agah et al. (2019) hallaron menores valores de CT en pollos alimentados con dietas que contenían extracto de hojas de olivo en las dosis de 200 y 400 mg/kg. En concordancia, resultados similares fueron encontrados por González-Santiago et al. (2006) con el agregado de HT aislado del aceite de oliva en la dieta de conejos; Fki et al. (2007) adicionando aguas residuales de la almazara en dieta de ratas y Jemai et al. (2008) utilizando HT extraído de hojas de olivo en ratas. En estos estudios, la condición hiperlipidémica de los animales y el período de ensayo más extenso podría justificar las diferencias con el presente experimento.

Es sabido que, los mecanismos subyacentes a los efectos hipolipidémicos de los polifenoles no están perfectamente dilucidados y requieren de estudios más profundos (Erener et al., 2020). Sin embargo, algunas investigaciones realizadas en ratas sugieren que los polifenoles podrían disminuir la solubilización micelar del colesterol a nivel intestinal inhibiendo su absorción, aumentando su excreción fecal y reduciendo por lo tanto los lípidos en sangre (Raederstorff et al., 2003). Asimismo, Priore et al. (2014) mencionan que el consumo de componentes fenólicos del extracto de aceite de olivo en ratas presenta un efecto inhibitorio directo sobre las principales enzimas hepáticas involucradas en la síntesis de ácidos grasos, colesterol y triglicéridos. Por otra parte, Krzeminiski et al. (2003) sostuvieron que los polifenoles en dietas de ratas podrían impactar en el flujo biliar, incrementando la concentración de colesterol y ácidos en la bilis, conduciendo a una mayor excreción de sales biliares por las heces. Igualmente, se conjetura que el hidroxitirosol actuaría a nivel células hepáticas e intestinales produciendo una disminución en el ensamblaje y/o secreción de lipoproteínas que contienen apoB (VLDL, LDL) reduciendo la distribución de CT a los tejidos periféricos (Yee et al., 2002; Vidal et al., 2005). Finalmente, no se puede descartar un mecanismo antioxidante dado que se ha demostrado que el estado antioxidante del hígado influye en la síntesis y metabolismo de lípidos (Botham et al., 2003). Conforme a lo expuesto, cabría aseverar de causas multifactoriales que influyen sobre la reducción de estos metabolitos.

En nuestro estudio, un factor adicional que podría haber contribuido a la ausencia de diferencias en la concentración de CT es la dosis de 7 mg.kg PV⁻¹.día⁻¹, la cual podría haber sido insuficiente para expresar cambios en la concentración de este metabolito. Además, basándonos en los resultados de TG y LDL de la dieta H, que, si bien no difirieron significativamente del tratamiento control, se ubicaron dentro de un rango intermedio de descenso (Tabla 8); lo que podría reforzar la hipótesis de que la dosis podría haber sido un factor limitante. Esta suposición se ve respaldada por estudios previos que demostraron una reducción en las concentraciones de TG y de LDL con el agregado de hidroxitirosol o extracto de hojas de olivo en la dieta de conejos o ratas (González-Santiago et al., 2006; Jemai et al., 2008; Younan et al., 2018). De manera similar, Sarica y Ürkmez (2016), Agah et al. (2019) y Erener et al. (2020) encontraron menores concentraciones de TG y LDL al adicionar extracto de hojas de olivo en la dieta de pollos parrilleros.

Teniendo en cuenta estos últimos estudios, un factor adicional que podría explicar la discrepancia con los resultados del presente trabajo, además de variables ya mencionadas como la dosis y el tiempo de suministro, es la fuente del polifenol utilizada. La composición, concentración de sustancias activas y su actividad biológica pueden variar considerablemente según el origen del compuesto. En algunos casos se utilizaron extracto de hojas o de aceite de olivos, los cuales podrían contener otros compuestos polifenoles que también influyen en los niveles de estos metabolitos, lo que dificultaría la comparación directa entre estudios. De allí que, es importante contar con la información de la formulación nutracéutica que contiene el hidroxitirosol u otro compuesto polifenólico cuando se propone realizar conclusiones y comparaciones sobre un estudio experimental de esta naturaleza, así como disponer de la dosis y del tiempo de suministro. Finalmente, de los estudios expuestos se puede reflexionar que la especie sobre la cual se trabaja podría ser otro factor que debería ser tenido en cuenta al momento de evaluar el perfil lipídico sanguíneo, debido a que existen diferencias fisiológicas en el metabolismo de los lípidos entre los mismos.

Por último, al evaluar el agregado de hidroxitirosol en la dieta H se observó un incremento ($P < 0,05$) en los niveles de HDL en comparación con C y W₃, presentando valores intermedios con respecto a W₃+H (Tabla 8). En concordancia, Younan et al., 2018 y Erener et al. (2020) hallaron mayores valores de HDL con el agregado de diferentes dosis de extracto de hojas de olivo en conejos y pollos parrilleros, respectivamente. A su vez, González-Santiago et al. (2006), Fki et al. (2007) y Jemai et al. (2008) encontraron

resultados similares con la adición de HT puro en la dieta de conejos y ratas. El aumento de los niveles de HDL podría deberse al efecto del hidroxitirosol, que ejercería una acción protectora al aumentar la resistencia de estas lipoproteínas a la lipoperoxidación. Este efecto se produciría mediante la eliminación de especies reactivas de oxígeno (EROs), contribuyendo así a preservar la integridad funcional de la HDL (Berrougui et al., 2015). Además, Hernáez et al. (2014) demostraron que los polifenoles presentes en el aceite de oliva incrementan el tamaño de las partículas de HDL, mejoran su estabilidad y reducen su estado oxidativo. Estos efectos contribuyen a una mayor fluidez de la partícula, lo que a su vez favorece la capacidad de las HDL para llevar a cabo su función de transporte inverso del colesterol. Por otro lado, el efecto promotor del hidroxitirosol en la dieta H sobre los niveles de HDL produciría, en consecuencia, una mejor relación LDL/HDL en esta dieta con respecto al control (Tabla 8).

En la actualidad, existe escasa bibliografía referida al uso de hidroxitirosol puro en la dieta de pollos parrilleros, la mayoría de los estudios son realizados en humanos o en animales de laboratorio. Por lo tanto, los datos obtenidos en el presente estudio aportan nuevos conocimientos sobre los efectos de la incorporación de este compuesto antioxidante a la dieta de pollos parrilleros. En este contexto, una contribución destacable y novedosa de la presente investigación está relacionada con la información obtenida referida a la combinación de hidroxitirosol con harina de chía, donde se registraron menores valores de CT y TG ($P < 0,05$) con respecto a la dieta C y H (Tabla 8). Asimismo, W_3+H presentó mayores valores de HDL y una mejor relación LDL/HDL ($P < 0,05$) con respecto a C. Inclusive, los valores de LDL fueron los más bajos entre todos los tratamientos (Tabla 8). En esta dieta, el antioxidante preservaría los AGPI aportados por el n-3 de la harina de chía de los procesos de oxidación, aumentando en consecuencia la concentración de los mismos y potenciando por lo tanto su efecto supresor sobre los niveles de LDL.

Analizando la adición de cada componente por separado, se puede advertir que el agregado de HT no presentó un efecto positivo sobre los niveles de CT y TG y que la inclusión de harina de chía no influiría los niveles de HDL. Sin embargo, al combinar ambos componentes dietarios se generó un efecto sinérgico que potenció el efecto positivo de cada uno, reflejando un beneficio sobre la salud hematológica del animal. Hay que tener en cuenta, que los niveles de HDL, LDL, CT y TG por ser productos del metabolismo hepático no son marcadores directos de la salud animal (Erener et al., 2020). No obstante, las alteraciones de los mismos reflejan cambios en el estado fisiológico y

metabólico del animal y son evaluados con frecuencia en estudios experimentales para determinar e interpretar los resultados relacionadas directamente con la salud animal (Toghyani et al., 2011; Ozturk et al., 2012). En el presente estudio la mejora en los parámetros sanguíneos y en la relación LDL/HDL con el uso de harina de chía en combinación con el antioxidante se asociaría con una mejor salud hematológica del animal.

4.5.4. Características tecnológicas y color de la carne

Los registros de pH a las 24 horas *post-mortem* del presente experimento, presentaron diferencias entre los distintos tratamientos (Tabla 9). Las aves alimentadas con la dieta W₃ mostraron menores ($P<0,05$) valores que C y H, correspondiendo a la dieta W₃+H datos intermedios (Tabla 9). En concordancia, Mendonça et al. (2020) informaron que la adición de semillas (16,4%) o aceite (2,5%) de chía disminuyeron el pH de la pechuga a las 24 horas *post-mortem*. Asimismo, Betti et al. (2009) y Meineri et al. (2018) hallaron resultados similares con el agregado de otras fuentes de n-3 (semillas o aceite de lino) en la dieta de pollos parrilleros.

Tabla 9. Parámetros tecnológicos y color del músculo *Pectoralis major* de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad.

Variables	C	W ₃	W ₃ +H	H	EEM	P=
pH (24 h)	5,98 a	5,88 b	5,92 ab	6,01 a	0,03	0,05
PPC	30,17 b	34,88 a	31,44 b	31,51 b	0,99	0,04
PG	2,56 c	4,69 a	3,48 b	3,16 bc	0,27	0,002
RC	71,38	69,45	69,76	68,88	0,76	NS
L*	52,43 b	58,32 a	55,94 ab	54,41 ab	1,25	0,05
a*	3,22 a	1,89 b	2,48 b	2,55 ab	0,22	0,01
b*	14,77	15,49	16,67	15,68	0,87	NS
h*	77,77 b	83,04 a	81,54 ab	80,76 ab	0,90	0,01
C*	15,12	15,60	16,85	15,89	0,86	NS

C: control; W₃: 10% harina de chía; W₃+H: 10% harina de chía + hidroxitirosol y H: hidroxitirosol. PPC: pérdida por compresión; PG: pérdida por goteo; RC: rendimiento a la cocción; L*: luminosidad; a*: enrojecimiento; b*: amarillamiento; h*: ángulo Hue (tonalidad); C* índice Chroma (saturación). EEM: error estándar de la media. Medias con letras distintas en la misma fila difieren significativamente ($P<0,05$). NS: no significativo.

Cabe destacar que, si bien los resultados de pH de este estudio fueron menores en las dietas con harina de chía, se corresponden con los valores que caracterizan la carne

normal según lo expuesto por varios autores (Khatun et al., 2018; Mendonça et al., 2020). Según Van Laack et al. (2000) y Droval et al. (2012) las carnes PSE presentan valores inferiores a las carnes consideradas normales (5,9), con estimaciones finales a las 24 h *post-mortem* de 5,7 y 5,61. Conforme a Braden (2013), el pH de carnes PSE disminuye rápidamente *post-mortem* alcanzando valores aún más bajos de 5,2 -5,4. No obstante, es importante señalar que los menores valores de pH observados en los tratamientos que contenían harina de chía sugieren que estas dietas podrían haber alterado la tasa de degradación anaeróbica del glucógeno. Este supuesto se basa en el hecho de que la pechuga es un corte formado predominantemente por fibras musculares altamente especializadas en almacenar y metabolizar el glucógeno y que la tasa de degradación del glucógeno en ácido láctico presenta una estrecha relación con el pH a 24 h *post-mortem* (Braden, 2013).

La alta concentración de AGPI de la harina de chía podría haber sido responsable del descenso en el pH, en función de que estos ácidos grasos son propensos a sufrir oxidación a gran velocidad con la consecuente producción de EROs (Temprado, 2005). Estas sustancias producidas *post-mortem* por reacciones en cadena de los AGPI catalizadas por metales en transición como el hierro (Morrissey et al., 1998; Zmijewski et al., 2005) activan la enzima AMPK (Proteín Quinasa activada por AMP) (Choi et al., 2001; Hwang et al., 2005), y en consecuencia la glicólisis anaeróbica, con acumulación de ácido láctico y un descenso del pH (Shen et al., 2007). En estas circunstancias, se originan procesos de desnaturalización y pérdida de solubilidad de las proteínas con una reducción de grupos reactivos disponibles para la unión del agua en las proteínas musculares (Mir et al., 2018). Por lo tanto, se altera la cantidad de agua retenida por el músculo, dando lugar a cortes de carne y subproductos menos jugosos y por lo tanto más secos (Honikel, 1998; Jankowski et al., 2012).

Es así que, en el presente experimento, se pudo notar que los valores de PPC son consistentes con lo hallado en pH, observándose una menor capacidad de retener agua con los pH más bajos (Tabla 9). La dieta W₃ presentó mayor (P<0,05) cantidad de jugo exudado (Tabla 9), en coincidencia con lo reportado por Betti et al. (2009) y Mir et al. (2017b), quienes adicionaron semillas o harina de lino como fuente de n-3. A su vez, en concordancia a lo observado en PPC y pH, la dieta W₃ incrementó (P<0,05) el valor de PG con respecto a la dieta C y H, siendo las dietas W₃+H intermedia (Tabla 9). Los mayores valores de PG observados en la dieta W₃ avalarían lo referido al efecto de los AGPI explicado anteriormente y se corresponden con lo observado por Mir et al. (2017

b), quienes utilizaron harina de lino como fuente de n-3. Del mismo modo, no se registraron diferencias ($P>0,05$) en términos de RC entre los diferentes tratamientos, observándose un valor promedio de 70,61 (Tabla 9). Si bien podría señalarse que existe cierto nivel de diferencias metodológicas, los registros de RC son análogos a los valores señalados por Betti et al. (2009) y Mendonça et al. (2020). Los presentes resultados están en concordancia con los estudios de Jankowski et al. (2012), quienes no reportaron diferencias significativas en PG y RC de la pechuga a las 24 horas *post-mortem* en pollos alimentados con aceite de girasol y/o aceite de palma.

Es interesante señalar que los menores valores de pH y las mayores pérdidas de agua en la dieta con harina de chía estaban relacionados con un color de pechuga más claro (L^*) y un menor valor de a^* (Tabla 9). Estos resultados avalan el supuesto que una rápida glucólisis *post-mortem* que da lugar a un descenso de pH, conduce a la desnaturalización de la mioglobina (Suman y Joseph, 2013) con la consiguiente exudación de agua, dispersión de la luz y, por lo tanto, un color más claro y menos rojizo de la carne (Juskiewicz et al., 2017). Como se mencionó anteriormente, la oxidación de AGPI serían los responsables de la disminución del pH. En este sentido, Qi et al. (2010) sugirieron que los cambios de color podrían estar relacionados con variaciones en la capacidad oxidativa en pollos que recibieron dietas con diferentes niveles de n-6/n-3. Estos autores reportaron un aumento de los valores de L^* cuando la relación n-6/n-3 disminuía de 10:1 a 5:1 y un menor valor de a^* con el aumento del contenido de AGPI n-3 (aceite de linaza) hasta el rango 5:1 y 2,5:1 en las dietas de pollos. La correlación negativa entre los valores de pH y L^* ha sido demostrada por varios autores (Van Laack et al., 2000; Petracci et al., 2004; Cori et al., 2014). Betti et al. (2009) observaron mayores valores de L^* y de a^* con la adición de semillas de lino en la dieta de pollos parrilleros; sin embargo, en el presente experimento, los valores de a^* disminuyeron. La discrepancia con el presente estudio en cuanto a los valores de a^* , podría atribuirse a que la harina de chía tiene un mayor contenido de n-3 que el lino, por lo que su efecto sobre la glucólisis *post-mortem* sería más pronunciado. Por el contrario, Terevinto et al. (2023) no observaron diferencias en los valores de L^* y a^* con el agregado de dosis crecientes (2,5%, 5%, 10%) de semillas de chía. Sin embargo, los valores de b^* , h^* y C^* en la dieta con 10% de semillas de chía fueron menores con respecto al control. En concordancia, Mendonça et al. (2020) encontraron valores de b^* decrecientes en la pechuga de pollos alimentados con dietas con aceite o semilla de chía, atribuyéndolo a una mayor diversidad en el contenido de pigmentos. En el presente estudio, los valores de b^* y C^* no fueron afectados por los

tratamientos. No obstante, los valores de h^* en todos los tratamientos estuvieron en la escala de tonalidad amarilla (70 a 100 grados) del sistema CieL*a*b* (Mendonça et al., 2020; Terevinto et al., 2023). Las diferencias observadas entre los diferentes trabajos en el color de la carne podrían deberse, como lo señala Cori et al. (2014), a variaciones en el manejo, la dieta y la genética de los animales, así como a las características del colorímetro empleado.

En el presente estudio, es relevante destacar que la adición del antioxidante, hidroxitirosol, a la harina de chía mejoró todos los parámetros de calidad tecnológica excepto el color de la carne (Tabla 9). Según Amador (2013), el antioxidante ejercería un efecto protector sobre la integridad de las membranas celulares, reduciendo las pérdidas de agua a través de los espacios intercelulares. De allí que, la dieta W_3+H presentó menores ($P<0,05$) valores de PPC y PG con respecto a la dieta W_3 , aseverando que la incorporación de HT atenuó los efectos del agregado de AGPI n-3 al evitar su oxidación, disminuyendo de este modo la formación de EROs y sus efectos sobre el descenso de pH y las pérdidas de agua. En concordancia, Olivo et al. (2001) obtuvieron menores pérdidas de agua en la pechuga con la suplementación de vitamina E, adjudicando este efecto a la mejora en la estabilidad de los AGPI y del colesterol debido a la incorporación del antioxidante en la membrana subcelular donde maximiza su función. Asimismo, hay que tener en cuenta que, los antioxidantes inhibirían la enzima glucógeno fosforilasa al suprimir la activación de la enzima AMPK y, en consecuencia, ralentizarían la glucólisis en las primeras etapas *post-mortem* previniendo el descenso del pH y la formación de carnes PSE (Shen y Du, 2005; Shen et al., 2005; Betti et al., 2009). La suplementación en aves con distintas dosis de granos destilados secos con solubles (DDGS), subproductos ricos en polifenoles, junto con harina de lino, incrementó el pH de la pechuga en comparación con el control (Mir et al., 2018), resultado que respalda el supuesto de que el antioxidante enlentece la glucólisis *post-mortem* en etapas tempranas.

Diversos estudios investigaron el efecto de diferentes antioxidantes en pollos parrilleros con resultados promisorios sobre los parámetros tecnológicos de la carne. Mir et al. (2017 b) y Kumar et al. (2020) adicionando polvo de cúrcuma a semillas de lino registraron mejoras en los valores de PPC y PG. Además, Cheah et al. (1995) sugieren que los antioxidantes inhibirían la enzima fosforilasa A2, responsable de la hidrólisis de los ácidos grasos de cadena larga, previniendo de este modo la pérdida de los mismos y manteniendo la fluidez de la membrana. En el estudio actual, se considera que el HT podría haber evitado la pérdida de AGPI de la membrana del músculo mejorando su

fluidez e integridad, hecho que estaría respaldado por el aumento significativo de los niveles de ALA en las pechugas de la dieta W₃+H.

No obstante, cabe señalar que cuando el hidroxitirosol se adiciona de manera individual, sin harina de chía (dieta H), no se observaron diferencias en los parámetros tecnológicos, ni en el color de la pechuga. Las dietas H y C no presentaron diferencias ($P>0,05$) en términos de pH, PPC, PG, L*, a* y b* (Tabla 9), coincidiendo con los resultados de Al-Harthi y Attia (2016) y Branciari et al. (2017), quienes adicionaron orujo de oliva (entre 8% y 20%) en la dieta de pollos parrilleros. Sin embargo, Marangoni et al. (2017), encontraron mejoras en la calidad tecnológica de la pechuga (pH, PG y PPC) con el adicionado de 10 g de hojas de olivo. Sin embargo, en este último estudio, los autores no observaron diferencias con el tratamiento que contenía 5 g de hojas. Este resultado podría respaldar el supuesto de que la dosis de 7 mg.kg PV⁻¹.día⁻¹ de HT utilizada en el presente estudio podría haber sido insuficiente, teniendo presente la diferencia entre las fuentes de aporte del polifenol, su composición y la concentración de sustancias activas. Por otra parte, otros autores observaron resultados favorables sobre la calidad de la carne utilizando antioxidantes no relacionados con la producción olivícola. Del Puerto et al. (2016) reportaron mejoras en el pH y la pérdida de agua con el agregado de selenio a la dieta de pollos parrilleros. De igual manera, Choct y Naylor, (2004) obtuvieron menores pérdidas por goteo en la pechuga conforme el nivel de vitamina E en la dieta se incrementaba de 50 UI a 100 UI. En estos trabajos las mejoras en la calidad tecnológica de la carne fueron atribuidas al efecto protector de los diferentes antioxidantes sobre la integridad y estabilidad de la membrana. La diferencia entre los mencionados autores y el presente trabajo podría estar fundamentada en el distinto tipo y dosis de antioxidante empleado.

De todos modos, es importante considerar que, en nuestro caso, existe escasa literatura disponible sobre el efecto del adicionado de HT puro en los parámetros tecnológicos de la carne de pollo, y aún menos sobre su posible efecto en combinación con harina de chía. De allí que, la información obtenida en este estudio reviste un carácter original y sienta las bases para futuras investigaciones que profundicen en el efecto de dosis mayores de este fenol, ya sea solo o combinado con harina de chía, y su efecto sobre el proceso de regulación de AMPK y la glucólisis *post-mortem*.

4.6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que la adición de 10% de harina de chía a la dieta no se recomienda para mejorar el crecimiento en pollos de engorde. Existe una creciente necesidad de continuar investigando el efecto del desmucilaginado de la chía o del uso de enzimas que hidrolicen la fibra soluble, como posibles estrategias en futuros estudios.

Sin embargo, el adicionado de HT a la harina de chía es una estrategia efectiva para mejorar la salud animal y la calidad tecnológica de la carne, resultando en beneficios en el tiempo de vida útil en refrigeración y en el proceso de cocción, sin pérdida apreciable del rendimiento del producto hasta 2 días.

La incorporación del antioxidante natural, HT, de manera aislada mejora la productividad de los pollos parrilleros, constituyendo una estrategia prometedora.

5. CALIDAD DE LA CARNE DE POLLOS PARRILLEROS ALIMENTADOS CON DIETAS ADICIONADAS CON HARINA DE CHÍA E HIDROXITIROSO: COMPOSICIÓN NUTRICIONAL, PERFIL LIPÍDICO, ÍNDICES DE SALUD Y COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES (CFT)

5.1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de alimentos funcionales ha impulsado la investigación sobre estrategias nutricionales que mejoren la calidad de los productos de origen animal. En este contexto, el uso de aditivos y componentes dietarios naturales en la alimentación de pollos parrilleros se presenta como una opción prometedora para mejorar el perfil nutricional de la carne y obtener productos inocuos y saludables. Una alternativa relevante es la adición de diferentes fuentes que aportan altos niveles de ácidos grasos n-3 con el fin de modificar el perfil lipídico de la carne (Ayerza et al., 2002; Anjum et al., 2013; Gallinger, 2015).

No obstante, es importante tener presente que los ácidos grasos n-3 son altamente susceptibles a la oxidación en el organismo del animal, lo que podría reducir su disponibilidad y beneficios nutricionales. Para mitigar este efecto, la inclusión de antioxidantes en la dieta, como el HT, se presenta como una estrategia para preservar estos ácidos grasos durante su metabolismo, favoreciendo un mayor depósito de n-3 en la pechuga y contribuyendo a un perfil lipídico más saludable para el consumidor.

De manera similar al perfil lipídico, los compuestos polifenólicos juegan un papel relevante en la calidad de la carne de pollo. Estos compuestos, considerados bioactivos, presentan una importante función antioxidante, lo que contribuye a la estabilidad oxidativa (Tómas-Barberán, 2003). Los polifenoles, al interactuar con los lípidos y otros componentes celulares, pueden prevenir la oxidación de los lípidos, prolongando la vida útil de la carne y preservando sus propiedades sensoriales (Isaza-Maya et al., 2013). En este contexto, la harina de chía y el HT, son fuentes naturales de polifenoles que, al ser ingeridos por los animales, podrían incrementar la concentración de estos compuestos bioactivos en la carne, mejorando así la calidad del producto final y aportando beneficios adicionales al consumidor. En los últimos años, se ha destacado el rol de los polifenoles de los alimentos en la prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer y enfermedades neurodegenerativas (Tomás-Barberán, 2003; George et al., 2012). La mayoría de las recomendaciones nutricionales para la población se centran en incrementar el consumo de frutas, hortalizas y alimentos derivados que contienen naturalmente estos

compuestos (Gamez-Villazana, 2020), sin embargo, la incorporación de estos compuestos a través de productos de origen animal representa una vía complementaria e innovadora.

El presente estudio podría sentar las bases para ofrecer un alimento de origen animal enriquecido con AGPI n-3 y compuestos bioactivos como los polifenoles a partir de fuentes dietarias naturales. De esta manera, sería posible obtener un alimento funcional con alto valor agregado y con un impacto directo y favorable sobre la salud del consumidor.

Además del perfil lipídico y la presencia de compuestos fenólicos, resulta de particular interés el estudio de los denominados índices de salud, tales como la relación AGPI/AGS, el índice aterogénico (IA) y el índice trombogénico (IT) y otros indicadores derivados de la composición de ácidos grasos. Estos parámetros permiten evaluar la calidad nutricional de la carne en relación con la salud humana, ya que reflejan el potencial efecto de los lípidos dietarios sobre el riesgo de enfermedades cardiovasculares y metabólicas (Ulbricht y Southgate, 1991; Attia et al., 2017). En este sentido, la inclusión de harina de chía y de hidroxitirosol en la dieta de pollos parrilleros podría contribuir a mejorar dichos índices, favoreciendo un alimento más saludable y funcional para el consumidor.

El análisis de la interacción entre los componentes dietarios y la concentración de polifenoles totales en la carne es fundamental para comprender los efectos de estas estrategias nutricionales y su posible impacto sobre la salud del consumidor. En este contexto, se analizan los efectos de la incorporación de hidroxitirosol y harina de chía en la dieta de pollos parrilleros sobre el perfil de ácidos grasos y el contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) y los índices de salud en la pechuga, así como su impacto en la calidad y funcionalidad del producto final.

5.2. HIPÓTESIS

- La inclusión de harina de chía junto con hidroxitirosol en la dieta de pollos parrilleros optimizaría la calidad nutricional de la carne, al disminuir el deterioro oxidativo y mejorar el perfil de ácidos grasos poliinsaturados y los índices de salud.
- La inclusión de harina de chía y/o hidroxitirosol en la dieta de pollos parrilleros aumentaría el contenido de compuestos fenólicos totales en la pechuga, mejorando la capacidad antioxidante y la calidad funcional de la carne.

5.3. OBJETIVOS

Evaluar el efecto de la inclusión de harina de chía y/o hidroxitirosol en la dieta de los pollos parrilleros sobre:

- La composición nutricional, el perfil de ácidos grasos, la actividad de enzimas del metabolismo lipídico de la pechuga y los índices de salud relacionados.
- El contenido de CFT en la pechuga.
- La oxidación de los lípidos en la pechuga.

5.4. MATERIALES Y MÉTODOS

5.4.1 Animales, condiciones experimentales y toma de muestras

Se emplearon los mismos animales y dietas descritos en el Capítulo 5 (ver sección 5.4.2), así como las pechugas de 2 machos/bloque/tratamiento (8 machos/tratamiento) que fueron faenados a los 46 días de edad. Para esta parte del estudio, las pechugas (músculo pectoralis mayor) fueron almacenadas a -20 °C hasta su análisis. Estas muestras se utilizaron para determinar la composición nutricional, el perfil de ácidos grasos, los índices de salud, el contenido de compuestos fenólicos totales y la oxidación lipídica.

5.4.2. Determinaciones

5.4.2.1. Composición nutricional y perfil de ácidos grasos de la pechuga

La determinación de los parámetros de composición nutricional se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición Animal del Depto de Agronomía de la UNS y el perfil de ácidos grasos en el Laboratorio de Carnes del Depto. de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (UBA).

Se determinó el contenido de materia seca (MS) mediante método gravimétrico con utilización de estufa a 105 °C hasta peso constante (método 985.14, AOAC, 2000), el contenido de proteína bruta (PB) por el método Kjeldahl (método 992.15, AOAC, 2000) y se utilizó la técnica Folch et al. (1957) para extraer los lípidos intramusculares totales. La determinación de los ácidos grasos se llevó a cabo mediante cromatografía de gases. Las muestras fueron inyectadas en un cromatógrafo gaseoso en modo split Shimadzu GC 14B (Shimadzu Corporation, Japón) equipado con una columna capilar (100m, 0,25mm ID, 0,20 µm df; Restek Rt 2650, USA). Se usó Helio 5.0 como gas portador y nitrógeno 5.0 como Make up. Las condiciones de corrida fueron las siguientes: temperatura inyector/detector (FID) 240 °C/290 °C. La temperatura inicial del horno fue

de 140 °C con una rampa de 4 °C/minuto hasta 240°C y de 20 minutos a 240 °C. Los datos fueron recuperados y procesados por Software LabSolutions GCSolution Realease 2.31 (Shimadzu) y el porcentaje de cada ácido graso presente fue cuantificado sobre el total de ésteres metílicos de los ácidos grasos (FAMES) identificados a través del estándar Supelco™ 37 Component FAME MIX. El total de AGS, AGMI, AGPI, AGPI n-3 y AGPI n-6 se calcularon mediante la suma de la cantidad individual de los ácidos grasos correspondientes.

5.4.2.2. Cálculo de los índices del metabolismo lipídico y de actividad enzimática como indicadores de la salud del consumidor

Los índices aterogénico (IA) y trombogénico (IT) se calcularon según Ulbricht y Southgate (1991) siguiendo las siguientes ecuaciones:

$$IA = [(4 \times C14:0) + C16:0] / [\Sigma AGMI + \Sigma(n-6) + \Sigma(n-3)]$$

$$IT = (C14:0 + C16:0 + C18:0) / [(0,5 \times \Sigma AGMI) + (0,5 \times \Sigma(n-6) + (3 \times \Sigma(n-3) + (\Sigma(n-3) / \Sigma(n-6)]$$

En términos de prevención de la salud del consumidor, estos dos índices estiman el potencial de la dieta para formar placas o coágulos en los vasos sanguíneos. Por otro lado, se determinó el índice Hipocolesterolémico/Hipercolesterolémico (h/H) según Fernández et al. (2007) con la siguiente fórmula:

$$h/H = (C14:1 + C16:1 + C18:1 + C20:1 + C22:1 + C18:2 + C18:3 + C20:3 + C20:4 + C20:5 + C22:4 + C22:5 + C22:6) / (C14:0 + C16:0)$$

Este último índice estimaría el efecto potencial de la composición de los ácidos grasos sobre el colesterol. Desde el punto de vista nutricional se esperarían valores elevados como indicadores de dietas más saludables. El índice de insaturación (UI) indica la calidad de los AGPI de la dieta, incluyendo aquellos con bajo grado de insaturación, y fue calculado según Logue et al. (2000) utilizando la fórmula:

$$UI = 1 \times (\% \text{ de monoenoicos}) + 2 \times (\% \text{ de dienoicos}) + 3 \times (\% \text{ de trienoicos}) + 4 \times (\% \text{ de tetraenoicos}) + 5 \times (\% \text{ de pentaenoicos}) + 6 \times (\% \text{ de hexaenoicos})$$

Por último, se estimó el índice de ácidos grasos trans (AGT) por medio de la suma de los AGMI trans y AGPI trans, según la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, 2010). Cabe mencionar, que en este último índice se excluyó el ácido linoleico

conjugado (CLA; C18:2 c9,t11) dado que a diferencia de los AGT, presenta una función benéfica.

Los índices de la actividad enzimática de desaturasas fueron estimados según del Puerto et al. (2017). La medición directa de la actividad de las enzimas es dificultosa, por lo cual, se utilizan mediciones indirectas, como son las relaciones entre los ácidos grasos producidos y sus precursores. La enzima $\Delta 9$ -desaturasa fue estimada mediante la relación C16:1 n-7/C16:0 y C18:1 n-9/C18:0. El índice total de $\Delta 9$ -desaturasa (C16:1 y C18:1) se estimó a través de la suma de los dos índices anteriores. La actividad de la enzima $\Delta 5$ -desaturasa y la $\Delta 6$ -desaturasa se calculó según Dal Bosco et al. (2012) utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta 5\text{-desaturasa} + \Delta 6\text{-desaturasa} = \left[\frac{\text{C20:2n-6} + \text{C20:4n-6} + \text{EPA} + \text{C22:5n-3} + \text{DHA}}{\text{C18:2n-6 (LA)} + \text{ALA} + \text{C20:2n-6} + \text{C20:4n-6} + \text{EPA} + \text{C22:5n-3} + \text{DHA}} \right] \times 100$$

Estas dos desaturasas son índices de desaturación y elongación en la serie de los AGPI n-6 y AGPI n-3 a partir de sus precursores C18:2 n-6 y C18:3 n-3. Las enzimas elongasa y tioesterasa se calcularon como la proporción entre C18:0/C16:0 y C16:0/C14:0, respectivamente (del Puerto et al., 2017).

5.4.2.3. Determinación del contenido de compuestos polifénolicos totales (CFT)

Para la determinación del contenido de CFTs, se siguió la metodología propuesta por Singleton et al. (1999), la cual consiste en una reacción de reducción/oxidación (redox) entre los polifenoles presentes en la muestra y el reactivo de Folin-Ciocalteu. Las determinaciones se realizaron tomando 100 μL de extracto acuoso que se mezclaron con 600 μL de carbonato de sodio 20%, se dejó reaccionar por 2 a 5 minutos y se adicionaron 150 μL de reactivo de Folin-Ciocalteu en una dilución 1/6 en agua. Se incubó a temperatura ambiente, tapado de la luz por 30 minutos y se registró la absorbancia a 750 nm en espectrofotómetro GENESYS 6-UV (Thermo Corporation, USA).

Los resultados fueron expresados como miligramos de ácido gálico equivalente por gramos de carne en peso seco (mg GAE/g carne (p.s.)). Para ello se realizó una curva de calibración utilizando ácido gálico como estándar de referencia (0 – 0,30 mg/mL). Todas las concentraciones de la curva fueron incubadas en la misma relación que las muestras con el reactivo de Folin-Ciocalteu por 30 minutos y se registró la absorbancia a 750 nm.

5.4.2.4. Determinación de la estabilidad oxidativa

El análisis de estabilidad oxidativa se realizó en el Laboratorio de Carnes del Depto. de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (UBA). La estabilidad a la oxidación de la carne se determinó en una muestra de 25 g de músculo pectoral homogeneizado en 64 ml de HCl 0,00475 M, siguiendo el procedimiento de Tarladgis (1960) basado en el método TBARS (sustancias reactivas del ácido tiobarbitúrico). La concentración de malonaldehído (MAD) se determinó a partir de una curva de calibración estándar con 1,1,3,3- tetraethoxypropano (Fluka, Honeywell International Inc.), y los resultados se expresaron en μg de MAD/g de carne fresca. La lectura de desarrollo de color se realizó a 530 nm en un espectrofotómetro UV-Visible Lambda 20 (Perkin Elmer Corp. – Norwalk, CT, USA).

5.4.2.5. Análisis estadístico

Para calidad nutricional (MS, PB, grasa total) se utilizó como unidad de medida la pechuga de los 2 animales llevados a faena y para CFT, estabilidad oxidativa de lípidos, perfil de ácidos grasos e índices de lípidos y de actividad de enzimas se usó la pechuga de uno de los dos animales faenados. Todas las variables fueron analizadas mediante ANOVA en bloques completos al azar. El software utilizado fue Infostat (Di Renzo et al., 2008) y la comparación entre valores medios se realizó mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

5.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.5.1. Composición nutricional y perfil lipídico

Los resultados correspondientes a materia seca, proteína y grasa total del músculo *Pectoralis* en los animales alimentados con dietas enriquecidas con n-3 y/o hidroxitirosol se muestran en la Tabla 10. En todos los casos, los valores se encuentran dentro del rango establecido como normal (Gallinger et al., 2016).

En el presente experimento, los diferentes tratamientos no influyeron ($P > 0,05$) en el contenido de proteína del músculo de la pechuga atribuyéndolo a la condición isoproteica de las dietas. A su vez, los valores de MS tampoco se vieron afectados ($P > 0,05$). Resultados similares fueron obtenidos por Crespo and Esteve-García (2001), Branciarri et al. (2017) y Mridula et al. (2015), quienes adicionando diferentes fuentes de ácidos grasos n-3, con o sin el agregado de antioxidantes a la dieta no hallaron diferencias en el contenido de los mismos en pechugas de pollo. Por otra parte, Dal Bosco et al. (2012)

tampoco observaron variaciones en el contenido de proteína y MS en carne de conejos alimentados con orujo de oliva. En concordancia con lo observado en proteína y MS, el contenido de grasa total no fue afectado por los distintos tratamientos ($P>0,05$). Estos resultados podrían deberse al efecto limitado que presenta la dieta sobre el contenido lipídico intramuscular, puesto que los ácidos grasos son componentes estructurales de las membranas celulares que limitan sus niveles de deposición, con el propósito de mantener la fluidez y permeabilidad de los diferentes componentes (Cortinas et al., 2004). Resultados similares fueron observados por Aziza et al. (2010) y Rahimi et al. (2011), independientemente de la fuente de n-3 suministrada. Asimismo, Crespo y Esteve-García (2001) demostraron que el nivel de poliinsaturación presente en la grasa de la dieta no influye sobre el contenido de grasa intramuscular de la pechuga. Inclusive, Taşdelen y Ceylan (2017) y Cortinas et al. (2004) no hallaron ningún efecto al combinar diferentes fuentes de AGPI con vitamina E en pollos parrilleros. Del mismo modo, Branciarri et al., (2017) indicaron resultados similares en carne de pollos alimentados con torta de oliva.

Tabla 10. Parámetros nutricionales del músculo *Pectoralis major* de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad.

	C	W ₃	W ₃ +H	H	EEM	P=
Materia seca (%)	26,32	25,77	26,16	25,21	0,30	NS
Proteína (%)	22,05	21,01	22,24	21,40	0,48	NS
Lípidos (%)	1,91	1,87	1,92	2,27	0,11	NS

C: control; W₃: 10% harina de chía; W₃+H: 10% harina de chía + hidroxitirosol y H: hidroxitirosol. EEM: error estándar de la media. NS: no significativo ($P>0,05$).

En relación al perfil lipídico en este estudio, se observó que el tipo de dieta suministrada no modificó ($P>0,05$) el contenido de AGS entre los diferentes tratamientos, representados principalmente por C16:0 y, en menor escala, por C18:0 (Tabla 11). Según Rahimi et al. (2011), la capacidad de los pollos de engorde para alterar el contenido de AGS en el músculo de la pechuga es limitada. Sin embargo, estudios previos realizados por Ayerza et al. (2002) con semilla de chía y Azcona et al. (2008) con semilla y harina de chía informaron que el contenido de AGS en pechugas de pollo disminuía, atribuyéndolo a la reducción del ácido palmítico. A su vez, Mendonça et al. (2020), y da Silva et al. (2024) observaron resultados similares con el adicionado de 16,4% y 5% de semillas de chía en la dieta de pollos parrilleros, respectivamente. Las diferencias con nuestro trabajo podrían deberse a que, estos últimos estudios se realizaron con semilla de

chía enteras y, además, en el estudio de Mendonça et al. (2020), la proporción incorporada a la dieta de las aves fue mayor. Por otro lado, el adicionado de otros ingredientes como fuente de AGPI n-3, como las harinas de *Camelina sativa* y semillas de lino y/o canola, no afectaron los valores de AGS en el músculo de la pechuga, concordando con nuestros resultados (Aziza et al., 2010; Rahimi et al., 2011).

Tabla 11. Composición de ácidos grasos (% total de ácidos grasos) en la pechuga de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad.

Ácido graso	C	W ₃	W ₃ +H	H	EEM	P=
14:0	0,27	0,27	0,25	0,34	0,02	NS
14:1	0,07	0,06	0,06	0,09	0,01	NS
16:0	25,91	26,17	26,28	26,38	0,82	NS
16:1 n-7	4,27	4,34	4,49	4,41	0,47	NS
17:0	0,19	0,33	0,16	0,26	0,09	NS
17:1	0,10	0,11	0,10	0,12	0,02	NS
18:0	4,46	5,04	4,60	5,57	0,43	NS
18:1 n-9	48,20 a	39,77 c	40,95 bc	44,98 ab	1,53	0,013
18:2 n-6	11,44 b	14,05 a	14,24 a	12,29 b	0,55	0,014
20:0	0,08	0,07	0,09	0,09	0,02	NS
20:1	0,19 a	0,14 b	0,13 b	0,21 a	0,01	0,008
18:3 n6	0,07	0,05	0,06	0,09	0,01	NS
18:3 n-3	0,21 c	3,61 b	4,54 a	0,30 c	0,29	0,0001
20:2 n6	0,04 ab	0,02 c	0,03 bc	0,05 a	0,01	0,008
22:0	0,08	0,12	0,11	0,11	0,02	NS
20:3 n6	0,29	0,23	0,21	0,34	0,05	NS
20:4 n-6 (AA)	1,08	1,07	0,82	1,32	0,17	NS
20:5 n-3 (EPA)	0,06 b	0,37 a	0,25 a	0,06 b	0,05	0,028
22:5 n3 (DPA)	0,13 b	0,53 a	0,39 a	0,13 b	0,07	0,012
22:6 n3 (DHA)	0,06 b	0,23 a	0,14 ab	0,09 b	0,05	0,049
AGS	30,98	32,01	31,52	32,62	1,08	NS
AGMI	53,37 a	44,93 c	46,22 bc	50,43 ab	1,70	0,023
AGPI	13,45 b	20,23 a	20,78 a	14,76 b	0,61	0,0001

C: control; W₃: 10% harina de chía; W₃+H: 10% harina de chía + hidroxitirosol y H: hidroxitirosol. EEM: error estándar de la media. Medias con letras distintas en la misma fila difieren significativamente (P< 0,05). NS: no significativo. AGS: ácido graso saturado; AGMI: ácido graso monoinsaturado y AGPI: ácido graso poliinsaturado.

Con respecto al efecto del agregado de antioxidantes a la dieta sobre los AGS, la información disponible es motivo de discusión. De acuerdo con nuestro estudio, Tufarelli et al. (2022) no encontraron diferencias en los valores de AGS al adicionar diferentes dosis (5% y 10%) de pulpa de oliva seca en la dieta de pollos parrilleros. Sin embargo, Papadomichelakis et al. (2019) observaron una reducción de los mismos con la adición de pulpa de oliva (50 g.kg⁻¹ iniciador y 80 g.kg⁻¹ terminador) en la dieta de pollos de engorde. Por otro lado, Dias et al. (2024) observaron resultados similares con la adición de HT puro en la dosis de 50 mg.kg⁻¹ en pollos. A su vez, cuando se combina una fuente de n-3 con antioxidantes, los resultados continúan siendo discrepantes. Ajuyah et al. (1993), observaron menores valores de AGS en la pechuga al agregar a la dieta semillas de lino en combinación con tocoferol y/o cantaxantina, mientras que Tomažin et al. (2013) y Gallinger (2015) no encontraron diferencias al adicionar aceite de lino con vitamina E y selenio como antioxidantes. La discrepancia entre los distintos autores podría estar relacionada con los diferentes tipos y fuentes de antioxidantes, su composición química y el nivel de inclusión en la dieta. En nuestro caso, la información disponible sobre el posible efecto del antioxidante obtenido de la agroindustria olivícola, el HT, sobre los AGS del músculo pectoral del pollo es limitada. Por consiguiente, en este estudio se puede inferir que la dosis de 7 mg.kg PV⁻¹.día⁻¹ no ha sido utilizada previamente y no presenta ningún efecto sobre la concentración de AGS en la pechuga de pollo.

Los AGMI, estuvieron representados principalmente por el ácido oleico (C18:1 n-9) y, en menor escala, por el ácido palmitoleico (C16:1 n-7) y en muy baja concentración por el ácido miristoleico (C14:1). En el presente estudio, los pollos que recibieron la dieta W₃ y W₃+H presentaron menor contenido (P<0,05) de AGMI con respecto a la dieta control, siendo la dieta H intermedia (Tabla 11). La disminución del contenido de C18:1 n-9 registrada en las dietas que contenían harina de chía podría estar relacionado con el efecto inhibitorio que presentan los AGPI sobre la actividad de la $\Delta 9$ - desaturasa, impidiendo la formación de AGMI a partir de sus precursores (Ayerza et al., 2002). La $\Delta 9$ -desaturasa se asocia principalmente con la biosíntesis de C18:1 n-9 a partir de C18:0 e incluso de C16:1 sobre la base de C16:0 (Brenner, 1989). Este hallazgo concuerda con los resultados de Ayerza et al. (2002) y da Silva et al (2024) e incluso nuestros valores estuvieron en un rango similar a los observados por estos autores. Por otra parte, la inclusión de HT a la dieta no modificó (P>0,05) los niveles de AGMI en comparación con la dieta control. Estos resultados respaldan los hallazgos de Tomazin et al. (2013) y Tufarelli et al. (2022), quienes utilizaron vitamina E o pulpa de oliva seca como fuente

antioxidante en la dieta de pollos parrilleros. Sin embargo, Papadomichelakis et al. (2019) reportaron que la adición de pulpa de oliva, presentó un aumento en los niveles de AGMI, mientras Dias et al. (2024) encontraron una reducción al incluir HT en la dieta. Al igual que con los AGS, los resultados reportados en la literatura para los AGMI dependen del tipo y nivel de antioxidante utilizado, por lo que es necesario continuar investigando y estandarizando estos factores para maximizar los beneficios en pollos parrilleros.

Los AGPI en la carne de pollo alimentados con cualquiera de las dietas, estuvieron representados mayoritariamente por AL y ALA. Sin embargo, en el presente estudio, las dietas que contenían harina de chía (W_3 y W_3+H) mostraron los mayores contenidos ($P<0,05$) de estos dos AGPI esenciales en la pechuga (Tabla 11). Específicamente, la dieta W_3 aumentó el contenido de ácido linoleico en un 22,8%, y el contenido de ácido linolénico en un 1619% en comparación con el control. Los mayores niveles de ALA hallados podrían explicarse por el hecho de que el ácido linolénico es el principal ácido graso de la harina y de las semillas de chía, concordando con los resultados de varios autores (Ayerza et al., 2002; Azcona et al., 2008; Salazar-Vega et al., 2009; Mendonça et al., 2020; Çelikoğlu y Karakas Oguz. 2024; da Silva et al., 2024).

Por otro lado, cabe destacar, que cuando se añadió hidroxitirosol en combinación con harina de chía (W_3+H), los niveles de C18:3 n-3 fueron aún mayores (+25,76%; $P<0,05$) que los observados en la dieta W_3 (Tabla 11). Este último resultado avalaría la hipótesis propuesta sobre la capacidad antioxidante del hidroxitirosol de proteger estos ácidos grasos de la peroxidación lipídica. Resultados similares fueron observados por Ajuyah et al. (1993) utilizando una fuente diferente de n-3 (semillas de lino) y otros antioxidantes como tocoferol y/o cantaxantina. Sin embargo, Cherian et al. (1996) y Leskovec et al. (2018), no encontraron diferencias al agregar vitamina E a dietas enriquecidas con n-3 (aceite de pescado y lino). La diferencia con los citados autores podría estar dada por la variada fuente y dosis de antioxidante utilizada. En nuestro caso, el hidroxitirosol es uno de los antioxidantes más poderoso de la naturaleza y según nuestros datos podemos afirmar que la dosis de 7 mg.kg $PV^{-1} \cdot día^{-1}$ podría aumentar el contenido de ALA cuando se combina con un 10% de harina de chía, no reportándose información previa en pollos parrilleros.

Como se mencionó en la introducción (Figura 2), los AGPI de cadena larga n-3 (AGPI-CLn-3), EPA, DPA y el docosexaenoico (DHA; C22:6n-3) se sintetizan a partir de su precursor el ácido linolénico, mientras que el ácido araquidónico se produce del ácido linoleico, mediante la acción de las desaturasas $\Delta 5$ y $\Delta 6$ (Simopoulos et al., 2016; Kumar

et al., 2019). En el actual experimento, el AA se mantuvo sin modificaciones ($P>0,05$), y los restantes AGPI n-6 mostraron pequeñas o nulas variaciones. Como puede observarse, las modificaciones de los diferentes AGPI n-6 en las dietas que contenían harina de chía, no fue tan prominente como el incremento de los AGPI n-3, resultado que podría deberse a la competencia por las enzimas $\Delta 5$ - $\Delta 6$ implicadas en la desaturación y elongación de estos dos AGPI (Jing et al., 2013). Estos resultados concuerdan con los observados por Azcona et al. (2008) y da Silva et al. (2024), quienes utilizaron semillas de chía como fuente de n-3.

Particularmente, en lo referido a los AGPI-CLn-3, se observó un aumento ($P<0,05$) en el contenido de EPA, DHA, DPA en la dieta W_3 y de EPA y DPA en la dieta W_3+H en contraste con las dietas control y H (Tabla 11). Los resultados de la presente investigación respaldarían la hipótesis de que el pollo puede convertir, aunque a una baja tasa, el ALA en sus derivados AGPI-CLn-3 como lo sugieren Kompdra et al. (2013) y Simopoulos et al. (2016). La conversión de ALA en estos ácidos grasos dependería de múltiples factores como, la competencia entre AL y ALA por las mismas enzimas de sus vías metabólicas, la preferencia de la enzima $\Delta 6$ -desaturasa por ALA, la expresión génica de enzimas elongasas y desaturasas, la relación de AL/ALA en la dieta, así como, la proporción de ALA, AL, AGPI n-3 o AGPI n-6. Asimismo, la retroalimentación negativa de la síntesis de AGPI mediada por productos y factores hormonales como la insulina, que estimula la expresión de la enzima $\Delta 6$ -desaturasa afecta esta conversión, entre otros factores (Reyna et al., 2018). En concordancia con nuestros resultados, da Silva et al. (2024) hallaron un aumento de EPA, DHA, DPA y Mendonça et al. (2020) de EPA y DHA en la pechuga y el muslo de pollos de engorde alimentados con aceite o semilla de chía. Además, el uso de otras fuentes de n-3, como aceite de pescado o lino, que contienen un alto nivel de AGPI n-3, producen un incremento en los niveles de EPA, DPA y DHA (López-Ferrer et al., 2001; Long et al., 2020).

En el presente estudio, es importante resaltar que la adición de hidroxitirosol en forma combinada con la harina de chía (dieta W_3+H), aumentó los niveles de ALA respecto a la dieta W_3 , pero no promovió los niveles de EPA y DPA. En concordancia, Botsoglou et al. (2013), no obtuvieron cambios en el perfil de AGPI-CLn-3 en huevos de gallinas al adicionar como antioxidante hojas de olivo o α -tocoferol en combinación con aceite de pescado. A su vez, Leskovec et al. (2018) reportaron resultados similares al utilizar diferentes antioxidantes combinados con aceite de lino en la dieta de pollos de engorde. En contraste, Ajuyah et al. (1993) encontraron mayores valores de EPA, DPA y DHA al

combinar semillas de lino con o sin tocoferol y/o cantaxantina en la dieta de las aves. En concordancia con este último estudio, Kumar et al. (2020) observaron que la suplementación de semillas de lino en combinación con un antioxidante (cúrcuma) aumento en las concentraciones de EPA, DPA y DHA a expensas de una disminución de los niveles de AGPI n-6. En el presente estudio, una de las posibles razones parecería indicar que el hidroxitirosol meramente consiguió proteger los n-3 presentes en la dieta por lo cual el contenido de C18:3 en la pechuga aumentó, no obstante, no actuó como resguardo de los AGPI-CL n-3 (EPA, DHA, DPA) de manera que a medida que se sintetizaban, se oxidaban. A su vez, se podría postular que la dosis de 7 mg.kg PV⁻¹.día⁻¹ de hidroxitirosol podría haber sido insuficiente para expresar la actividad antioxidante del HT sobre los AGPI-CLn-3.

En cuanto al nivel de DHA, no se registraron diferencias entre la dieta W₃+H en comparación con W₃, H y C, presentando valores intermedios (Tabla 11). Estudios realizados por Smink et al. (2012) mostraron que un alto consumo de ALA podría reducir la concentración de DHA en el hígado de cerdos. La reducción en la síntesis de este ácido graso podría explicarse por la mayor afinidad de la $\Delta 6$ -desaturasa por el ALA respecto al C24:5n-3 (ácido tetracosapentaenoico), el cual es un intermedio en la síntesis del DHA a partir del DPA. En consecuencia, la desaturación del C24:5n-3 se inhibiría, condicionando la síntesis de DHA (Smink et al., 2012). En base a estos antecedentes, se podría sugerir que el antioxidante hidroxitirosol, promovió un aumento del aporte de ALA con la dieta y, por consiguiente, un mayor nivel en la pechuga, limitando de este modo, la síntesis de DHA. Reyna et al. (2016) observaron que la alta dosis de aceite de chía como fuente de ALA en la dieta de las ratas inhibía la expresión génica de la $\Delta 5$ y la $\Delta 6$ -desaturasa. Asimismo, Ounnas et al. (2014) determinaron que la conversión de EPA a DHA es probablemente menor que la de ALA a EPA debido a que involucran reacciones adicionales de elongación, desaturación y β -oxidación, sujetas a regulación hormonal. Además, vale considerar que el ALA se alarga y desatura de forma dependiente del tejido (Barceló-Coblijn y Murphy, 2009). No obstante, el efecto del hidroxitirosol sobre la composición de ácidos grasos de la pechuga en dietas enriquecidas con n-3 ha sido escasamente estudiado. Por ello, es importante profundizar en este controvertido tema para comprender la función específica de los compuestos antioxidantes sobre ALA y su conversión a otros AGPI. A su vez, el mecanismo subyacente implicado en la conversión de los AGPI requiere de una mayor investigación.

Respecto al nivel de AGPI-CL n-3 en la dieta H, el agregado de hidroxitirosol como aditivo no modificó ($P > 0,05$) el contenido de ALA, EPA, DPA respecto a la dieta C (Tabla 11). Resultados similares fueron obtenidos por Tomazin et al. (2013) y Paiva-Martins et al. (2009) al adicionar vitamina E u hojas de olivo en la alimentación de pollos o cerdos, respectivamente. Por el contrario, del Puerto et al. (2017) observaron un aumento en el nivel de ácido linolénico y ácidos grasos EPA, DPA y DHA en el músculo gastrocnemio con la suplementación de selenio en la dieta de aves. Estos resultados diferentes podrían explicarse por los distintos tipos, composición química, vida media y dosis de antioxidantes utilizados, que probablemente afecten la absorción, conversión y deposición de estos AGPI.

5.5.2. Índices del metabolismo lipídico y de actividad enzimática como indicadores de la salud del consumidor

En el presente estudio, se estimaron los índices lipídicos con el fin de asociarlos con la calidad nutricional de la carne, los riesgos de enfermedad y el impacto sobre la salud de los consumidores (Tabla 12). Las dietas enriquecidas con W_3 (W_3 y W_3+H) mejoraron ($P < 0,05$) la relación AGPI/AGS de la pechuga, hecho que resulta de relevancia debido a que el consumo de una dieta alta en AGS se asocia con un mayor nivel de colesterol plasmático, especialmente con el contenido de LDL, vinculado a la ocurrencia de enfermedades coronarias (Ulbricht y Southgate, 1991; Ruiz-Nuñez et al., 2016). Según los resultados obtenidos, los valores de este índice en todos los tratamientos fueron inferiores a 1, lo cual se alinea con la proporción recomendada en relación con la salud de los consumidores (Saadoun y Cabrera, 2008; da Silva et al., 2024). En general, las dietas occidentales se caracterizan por un consumo elevado de alimentos ricos en grasas, especialmente AGS, así como AGPI n-6, generando en consecuencia, una relación AGPI/AGS baja y un índice n-6/n-3 elevado (15-20/1). Diversos estudios, sugieren que la relación n-6/n-3 no debe ser superior a 4:1 con el fin de prevenir la obesidad, el cáncer, la depresión, las enfermedades antiinflamatorias y cardiovasculares, siendo la proporción ideal 1:1 (Simopoulos, 2008; Simopoulos, 2016; Long et al., 2020; Liput et al., 2021).

En este estudio, los valores de n-6/n-3 en pechugas de pollos alimentados con las dietas adicionadas con un 10% de harina de chía fueron inferiores a 4, lo que concuerda con los estudios de Ayerza et al. (2002) y da Silva et al. (2024), quienes, en cambio, utilizaron semillas de chía. Por otro lado, en el estudio de Azcona et al. (2008), los valores de este índice con la adición de harina de chía fueron aún menores. Sin embargo, la dosis utilizada

en ese caso fue mayor (15%) en comparación con la de nuestro estudio. Por lo tanto, los resultados del presente estudio son relevantes, ya que indican que la inclusión de harina de chía en la dieta de pollos parrilleros mejoró la relación n-6/n-3 al aumentar la deposición de AGPI n-3 en el músculo de la pechuga. Este hallazgo no solo destaca el potencial beneficio nutricional para el consumidor, sino que también enfatiza la importancia de optimizar la alimentación avícola como estrategia para mejorar la calidad del producto final.

Tabla 12. Relación AGPI/AGS, n-3, n-6 y sus relaciones e índices lipídicos en la pechuga de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad.

	C	W ₃	W ₃ +H	H	EEM	P=
AGPI/AGS	0,44 b	0,63 a	0,66 a	0,45 b	0,02	0,0001
AGPI n-3	0,47 b	4,67 a	5,29 a	0,58 b	0,26	0,0001
AGPI n-6	12,95	15,47	15,39	14,14	0,64	NS
n-6/n-3	29,87 a	3,36 b	2,95 b	25,52 a	2,92	0,0001
LA/ALA	54,55 a	3,98 b	3,21 b	41,77 a	3,28	0,0001
IA	0,41	0,42	0,41	0,43	0,02	NS
IT	0,89 a	0,71 b	0,66 b	0,95 a	0,05	0,0018
h/H	2,53	2,46	2,51	2,41	0,12	NS
UI	83,30 b	94,76 a	96,34 a	83,65 b	1,25	0,0001
AGT	0,47 a	0,34 b	0,33 b	0,53 a	0,05	0,009
CLA	0,03 a	0,09 b	0,10 b	0,04 a	0,01	0,008

C: control; W₃: 10% harina de chía; W₃+H: 10% harina de chía + hidroxitirosol y H: hidroxitirosol. EEM: error estándar de la media. Medias con letras distintas en la misma fila difieren significativamente (P< 0,05). NS: no significativo. AGPI/AGS: ácido graso poliinsaturado/ácido graso saturado; IA: índice aterogénico; IT: índice trombogénico; h/H: relación hipocolesterolémico/hipercolestérolémico; UI: índice de insaturación; índice de ácidos grasos trans. AGT: ácidos grasos trans; CLA: ácido linoleico conjugado.

El índice AGPI/AGS es el más comúnmente utilizado para evaluar la calidad de los ácidos grasos en la carne. Sin embargo, en dicha fórmula no se incluyen los AGMI; razón por la cual en este estudio se calcularon los índices IA, IT y la relación h/H. La importancia de incluir estos ácidos grasos, radica en el efecto que ejercen sobre la salud del consumidor, caso contrario se considera que se estaría subestimando los beneficios aportados por la dieta.

Analizando individualmente los AGMI, se observa que el ácido oleico (C18:1 n-9 cis) es el más abundante y se lo asocia con menores niveles de colesterol y triglicéridos previniendo de este modo, la incidencia a enfermedades cardíacas (Natali et al., 2007; Lopez-Huertas, 2010). En la presente experiencia, no se registraron diferencias (P>0,05)

en el índice IA y la relación h/H entre los diferentes tratamientos (Tabla 12). No obstante, se observó un menor IT ($P<0,05$) en la dieta enriquecida con AGPI n-3, lo cual es significativo, ya que este índice estima el potencial de formación de coágulos en los vasos sanguíneos. Un nivel más bajo se asocia con un menor riesgo de enfermedades cardiovasculares y directamente con una alimentación más saludable (Ulbricht y Southgate, 1991). En nuestro estudio, los índices de IA e IT se encontraban en el rango de valores reportados por da Silva et al. (2024); sin embargo, nuestros valores de h/H fueron menores.

La totalidad de los índices mencionados incluyen los ácidos grasos insaturados en su fórmula y se emplean a la hora de evaluar el impacto potencial sobre la salud cardiovascular humana; no obstante, no consideran el grado de insaturación de los mismos. En nuestro estudio, con el fin de determinar el efecto de la proporción de ácidos grasos con diferentes grados de insaturación en la composición total de ácidos grasos, se incluyó el IU. De este modo, considerando que el mayor grado de insaturación de los ácidos grasos de la membrana mantiene la permeabilidad y la fluidez, y dado que, se registró un mayor ($P<0,05$) IU en las dietas W_3 y W_3+H , se deduce un alto grado de insaturación y una mejor calidad nutricional de la pechuga en estas dietas (Tabla 12). En la actualidad, según el conocimiento de los autores, no hay datos registrados sobre los niveles de UI en la pechuga de pollos parrilleros, por lo que la información presentada se coteja con datos de carne de cerdo, encontrándose valores entre 111 y 124 (Realini et al., 2013).

Por otro lado, es importante señalar que el IU se enfoca únicamente en el grado de insaturación de los ácidos grasos sin discernir entre los ácidos grasos n-6 y n-3, condición que también se repite en los índices anteriores. Es crucial diferenciar estos dos grupos de ácidos grasos, ya que presentan efectos fisiológicos diferentes en el cuerpo del ser humano (Kang et al., 2001; Chen y Liu, 2020).

En nuestro experimento, los AGPI n-6 no presentaron diferencias ($P>0,05$) entre los tratamientos evaluados. En cambio, los AGPI n-3 aumentaron ($P<0,05$) en las dietas W_3 y W_3+H en contraste con las dietas C y H (Tabla 12). En los últimos años, el consumo de carne enriquecida con estos ácidos grasos ha cobrado importancia debido al creciente conocimiento sobre sus efectos hipocolesterolémicos y antiinflamatorios y su capacidad para prevenir enfermedades cardiovasculares, autoinmunes y el cáncer (Simopoulous, 1991; Manson et al., 2019). Una forma de relacionar los n-6 y n-3 es determinar la relación AL/ALA considerando que estos dos ácidos grasos son los principales dentro de la serie n-6 y n-3, respectivamente. Ambos ácidos grasos son considerados esenciales y deben ser

suministrados a través de la dieta (Glick et al., 2013). En el presente estudio, se detectó un menor índice AL/ALA ($P < 0,05$) en las dietas W_3 y W_3+H como consecuencia del mayor contenido de ALA en la harina de chía, circunstancia que indicaría un mejor balance entre estos dos ácidos grasos y un alimento más saludable para el ser humano. Este índice ha sido utilizado en ovinos (Majdoub-Mathlouthi et al., 2015) y bovinos (Sharma et al., 2018) para determinar la calidad de la carne y de la leche, respectivamente. En la actualidad, y hasta donde tienen conocimiento los autores, no se dispone de información en pollos parrilleros relacionada con el índice mencionado, por lo que no existen datos disponibles con los cuales comparar los resultados obtenidos.

Además, en el presente estudio, se tuvieron en cuenta los AGT, considerando que el consumo de estos ácidos grasos puede ser perjudicial para la salud humana (Micha y Mozaffarian, 2009; Chen y Liu, 2020). La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda una ingesta de grasas trans inferior al 1% de la ingesta calórica total, lo que se traduce en menos de 2,2 g/día en un régimen alimentario de 2000 calorías. Debido al efecto negativo de los AGT sobre las funciones vitales humanas, podrían ser considerados como indicador de seguridad alimentaria (Chen y Liu, 2020). En nuestro hallazgo, se reportaron menores valores ($P < 0,05$) de AGT para las dietas W_3 y W_3+H , caso que demostraría el beneficio de la adición de harina de chía en la dieta sobre la calidad nutricional final de la carne. Es de destacar que el ácido graso CLA, a pesar de contener un doble enlace trans, no es tenido en cuenta en la fórmula de AGT, debido a que diversos estudios han demostrado un efecto beneficioso sobre la salud como anticancerígeno, antihipertensivo y antiaterosclerótico (Knekt et al., 1996; Koba y Yanagita, 2014; den Hartigh, 2019). Cuando se consideró el efecto principal de la dieta, el CLA mostró un mayor nivel ($P < 0,05$) en las dietas con agregado de harina de chía en comparación con las dietas C y H (Tabla 12), evidenciando una mejora en el perfil de ácidos grasos de la carne.

En el presente estudio, los índices y relaciones obtenidos en el músculo de la pechuga se ajustaron según las recomendaciones de diversos autores (Ayerza et al., 2002; Azcona et al., 2008; Long et al., 2020; Chen y Liu, 2020; da Silva et al., 2024). Los resultados sugieren que la carne de aves alimentadas con dietas a base de harina de chía presenta una mejor calidad nutricional, ofreciendo beneficios para el consumidor. De allí que es recomendable en estudios sobre esta temática evaluar la composición de ácidos grasos de la carne, con la finalidad de valorar su valor nutricional y medicinal, especialmente en aquellos casos de dietas enriquecidas con AGPI n-3.

Por último, se calcularon los índices relacionados con la actividad de las enzimas desaturasas, elongasas y tioesterasas, para investigar el posible efecto de estas enzimas en la elongación y desaturación de los ácidos grasos presentes en las dietas experimentales. No obstante, es importante aclarar que todos los índices son mediciones indirectas y no se debería asumir que invariablemente reflejan directamente la actividad enzimática (Hodson y Fielding, 2013). En el presente estudio, para todos los índices enzimáticos considerados, no se evidenciaron efectos significativos ($P>0,05$), independientemente de la dieta suministrada (Tabla 13). Para avanzar en el conocimiento sobre este tema, es necesario continuar investigando los mecanismos que subyacen a la acción de estas enzimas en la síntesis de AGPI en pollos parrilleros.

Tabla 13. Índices de actividad enzimática del metabolismo lipídico estimado sobre la base de la composición de ácidos grasos en la pechuga de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad.

	C	W ₃	W ₃ +H	H	EEM	P=
Δ -9 desaturase						
16:1/16:0	0,16	0,17	0,17	0,17	0,02	NS
18:1/18:0	10,90	8,24	9,18	8,45	0,91	NS
16:1 + 18:1/16:0 + 18:0	1,74	1,43	1,48	1,55	0,10	NS
Δ -5 + Δ -6 desaturases	10,40	10,80	7,91	11,50	1,66	NS
Elongase 18:0/16:0	0,17	0,19	0,17	0,21	0,01	NS
Thioesterase 16:0/14:0	99,71	106,40	107,04	79,78	10,12	NS

C: control; W₃: 10% harina de chía; W₃+H: 10% harina de chía + hidroxitirosol y H: hidroxitirosol. EEM: error estándar de la media. Medias con letras distintas en la misma fila difieren significativamente ($P<0,05$). NS: no significativo.

5.5.3. Contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) de la pechuga

Los compuestos fenólicos son moléculas naturales del metabolismo secundario de las plantas, que comparten una estructura molecular común, la cual incluye uno (fenol) o más (polifenoles) anillos aromáticos unidos a al menos un grupo hidroxilo (Balasundram et al., 2006). Constituyen un grupo muy numeroso de sustancias que incluyen familias de compuestos con estructuras diversas, desde algunas relativamente simples, como los derivados de ácidos fenólicos, hasta moléculas poliméricas de relativamente elevada masa molecular (Valencia-Avilés et al., 2017). Estos compuestos son reconocidos por su marcada capacidad antioxidante para captar EROs, lo cual es fundamental para combatir

el estrés oxidativo (Peñarrieta et al., 2014). En el presente estudio, se cuantificó el contenido total de polifenoles, sin diferenciar entre los diferentes fenoles y polifenoles.

Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 6. Se puede observar que la inclusión de HT (dieta H) resultó en un incremento ($P<0,05$) de la concentración de CFT en la pechuga de pollos parrilleros en comparación con el grupo control, presentando las dieta con harina de chía valores intermedios (Figura 6). El aumento en el contenido de compuestos bioactivos observado en la dieta H podría atribuirse a la concentración de HT, el cual es una fuente concentrada de fenoles con potente propiedad antioxidante. Además, el HT es el único fitoquímico con beneficios para la salud aprobados por la EFSA y con seguridad confirmada (EFSA, 2017).

En este contexto, el aumento en la concentración de fenoles en la carne podría traducirse en una mayor capacidad antioxidante, lo que no solo mejoraría su estabilidad y vida útil, sino que también aportaría beneficios para la salud del consumidor, al proporcionar compuestos bioactivos con efectos protectores frente al estrés oxidativo. En consecuencia, el consumo de esta carne significaría un efecto beneficioso en términos de impacto sobre la salud humana.

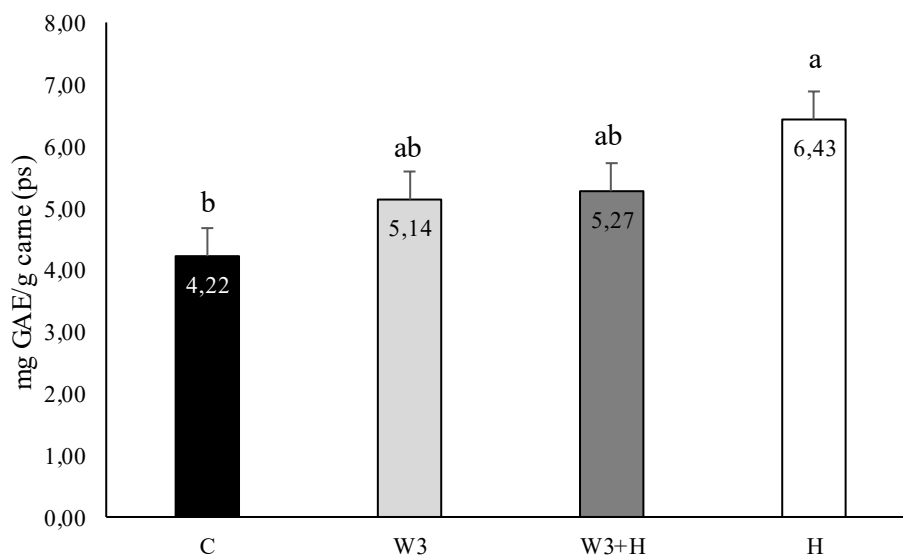


Figura 6. Contenido de compuestos fenólicos totales en músculo *Pectoralis major* de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

En contraste, las dietas que contenían harina de chía (W_3 y W_3+H) mostraron valores intermedios de CFT ($P<0,05$; Figura 6), sin presentar diferencias significativas entre las

mismas. Este resultado podría explicarse por la interacción entre los AGPI presentes en la harina de chía y el HT. Como se mencionó anteriormente, el HT podría haber actuado como antioxidante, protegiendo los ácidos grasos n-3 presentes en la chía de la peroxidación. Esta actividad antioxidante podría haber llevado al consumo del HT, quedando reducido su contenido en el tejido muscular de los pollos. Así, aunque se esperaba un efecto sinérgico en la combinación de HT y harina de chía, los resultados sugieren que el hidroxitirosol podría haber sido utilizado principalmente en la estabilización de los ácidos grasos n-3, limitando su contribución al contenido total de polifenoles en los tejidos.

5.5.4. Estabilidad oxidativa de la pechuga

Un factor importante a considerar es que la presencia de AGPI de 5 o 6 dobles enlaces aumenta considerablemente la susceptibilidad a la peroxidación lipídica (Gutiérrez, 2015; Reboredo et al., 2010). En particular, en la carne de pollo, la oxidación lipídica es una de las principales causas de la disminución de su calidad nutricional (Carreras Ferrer, 2004; Yu et al., 2021). En nuestro estudio, las pechugas correspondientes a la dieta W₃ mostraron un mayor valor de MAD ($P < 0,05$), lo que indica una menor estabilidad oxidativa en comparación con los otros tratamientos (Figura 5).

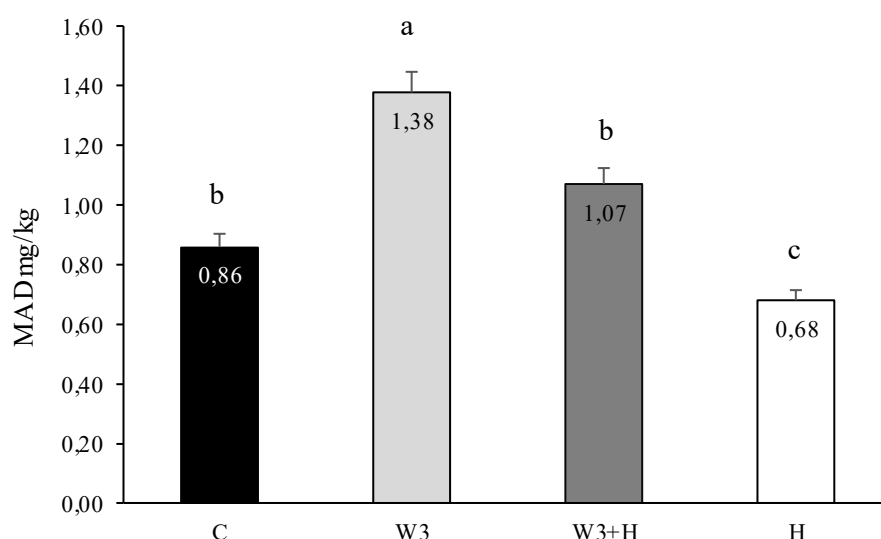


Figura 5. Oxidación lipídica (MDA, mg/kg carne) en el músculo *Pectoralis major* de pollos parrilleros alimentados con dietas adicionadas con harina de chía y/o hidroxitirosol desde los 22 hasta los 46 días de edad. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

Este hallazgo podría ser una consecuencia directa del aumento del contenido de AGPI n-3 proporcionado por la harina de chía, concordando con los resultados de Anjum et al. (2013) y Zanini et al. (2006) y, contrastando con los reportados por Long et al. (2020).

En relación con los valores de referencia, no existen umbrales universales definidos para TBARS en carne de pollo, ya que estos pueden variar en función del tipo de carne, el método de almacenamiento y las condiciones específicas del estudio (cruda, vacío, envuelta en film o cocida) (Moura Alves et al., 2023). Además, la percepción sensorial de la rancidez puede estar influenciada por factores individuales y culturales. Sin embargo, varios autores han señalado que valores entre 1 y 2 mg MDA/kg constituyen los máximos aceptables, a partir de los cuales los sabores rancios se vuelven notorios (Dalvandi et al., 2020; Mahdavi et al., 2018). En la misma línea, otros trabajos han indicado que la carne de pollo se percibe como rancia cuando los valores de TBARS superan el rango de 0,6 a 2,0 mg MDA/kg (Sujiwo et al., 2018). En este contexto, los valores obtenidos en nuestro estudio (0,63–1,38 mg MDA/kg) se encuentran dentro de los rangos reportados por estos autores. Sin embargo, Esposito et al. (2022) y Kim et al. (2020) establecen un umbral sensorial menor en torno a 0,8–0,9 mg MDA/kg. En este sentido, los tratamientos W₃ y W₃+HT superaron estos valores, lo que sugiere una posible percepción de rancidez. Por el contrario, el tratamiento HT, presentó valores por debajo del nivel de detección sensorial, lo que indicaría una mejor estabilidad en condiciones de almacenamiento.

Una estrategia para aumentar la capacidad antioxidante en la carne y prevenir valores críticos de oxidación podría ser el uso de suplementos derivados de plantas como aditivos en las dietas de los pollos de engorde, ya que estos contienen numerosos compuestos bioactivos con potencial antioxidante (Vlaicu et al., 2022). Se estima que los antioxidantes naturales desempeñan un papel clave en la mejora de la estabilidad y la calidad de la carne, siendo incluso más seguros que los sintéticos (Arshad et al., 2013). En este sentido, el agregado de HT a la dieta (dieta H) presentó menores valores ($P<0,05$) de MAD en la pechuga con respecto al resto de los tratamientos. Además, la dieta W₃+H mostró menor oxidación que la dieta W₃, sin diferenciarse de la dieta C (Figura 5). Estos resultados sugieren que la incorporación de hidroxitirosol en la dieta podría ser una forma eficaz de favorecer la estabilidad de la carne de pollos parrilleros enriquecida con AGPI n-3 frente al daño oxidativo.

Estudios previos, realizados por Cardinali et al. (2012) y Gerasopoulos et al. (2015), Rubio-Senent et al. (2015) demostraron que algunos de los principales polifenoles de

aguas residuales derivadas de la extracción del aceite de oliva, incluido el hidroxitirosol, reducen eficazmente la peroxidación lipídica. Posteriormente, Leskovek et al. (2018) y Taşdelen y Ceylan (2017) reportaron una observación similar al adicionar vitamina E a una dieta enriquecida con pescado o aceite de colza, respectivamente.

5.6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que la fuente de ácidos grasos en la dieta de los animales determina el perfil de ácidos grasos en la carne. La inclusión de 10% de harina de chía en la dieta de pollos parrilleros enriquece la pechuga con AGPI n-3, y, aunque conlleva un ligero aumento en la generación de radicales libres, no compromete la estabilidad oxidativa de los lípidos.

El adicionado de HT a la harina de chía es una estrategia efectiva para aumentar la estabilidad oxidativa de los AGPI n-3 e incluso mejora los niveles de ácido linolénico, conduciendo a una mejora en la calidad nutricional de la carne con beneficios en la salud del consumidor.

El HT incorporado de manera aislada a la dieta imprime un mejor estado oxidativo con un mayor aporte de compuestos bioactivos antioxidantes en la carne de pollos parrilleros, siendo favorable desde el punto de vista de la salud humana. La información sobre el efecto del hidroxitirosol, un producto de la industria del aceite de oliva, sobre la calidad de la carne de pollos de engorde es limitada, por lo que se recomienda continuar profundizando en estudios que involucren la medición de otros metabolitos y enzimas oxidativas

6. INTERRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL ANIMAL Y LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA CARNE BAJO LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES

6.1. Introducción

Con el objetivo de integrar y visualizar de forma conjunta las relaciones entre las variables productivas del animal y los parámetros de calidad de la carne, se aplicó un análisis de componentes principales (ACP). Esta herramienta multivariante permite reducir la complejidad de los datos, identificar patrones de asociación y representar las variables y tratamientos en un espacio de menor dimensión, conservando la mayor variabilidad posible.

6.2. Análisis estadístico

Con el fin de interrelacionar las variables evaluadas en el animal y los parámetros de calidad de la carne bajo los diferentes tratamientos experimentales, se realizó un análisis descriptivo de componentes principales y representación esquemática (Biplot) de los datos multivariantes en dos y tres dimensiones. Las variables fueron representadas con vectores y los individuos bajo los distintos tratamientos por símbolos y distintos colores. Las variables animales seleccionadas fueron GP, peso de la pechuga (Pe), peso de las vísceras (PVis= molleja + proventrículo + ID + ciegos + páncreas), LDL, HDL y para calidad de carne CFT, ALA, MAD, pH, PG y L*. La selección de las mismas se realizó en base a aquellas variables que fueran representativas de cada uno de los efectos que se quería destacar y que tuvieran suficiente correlación entre ellas para poder ser representadas en pocas dimensiones.

Partiendo de las correlaciones entre las variables seleccionadas, y como resultado de un análisis de componentes principales, se graficaron las mismas en los planos CP1 -CP2 y CP1-CP3; junto a los efectos de los diferentes tratamientos (biplots: Figura 7 y Figura 8).

6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de componentes principales se resumen en la Tabla 14, donde se presenta de manera descriptiva la correlación entre cada variable y las tres primeras componentes. Además, se muestra el porcentaje de reconstrucción de cada una de ellas en los planos que fueron graficados. Las tres primeras componentes explican el

78% de la varianza (CP1 el 48%, CP2 el 18% y CP3 el 12%) (Tabla 14). Según los % de reconstrucción, en CP1-CP2, las variables HDL, LDL, MAD, ALA tienen la mejor representación; y en CP1-CP3, las variables GP, Pe, Visceras, pH, PG, L* y polifenoles son las que están mejor reconstruidas.

Tabla 14. Correlación entre las variables y los componentes; y el porcentaje de reconstrucción de cada variable en el plano de las dos primeras componentes principales o entre la primera y la tercera componente principal.

Variables	CP1	CP2	CP3	% reconstrucción CP1 y CP2	% reconstrucción CP1 y CP3
GP	-0,8651	-0,1459	-0,0196	76,97	74,88
Pe	-0,6356	0,2251	0,5995	45,47	76,34
Visceras	0,7518	0,0082	-0,4389	56,53	75,78
HDL	-0,2311	0,9049	-0,1841	87,23	8,73
LDL	-0,6544	-0,5149	0,189	69,34	46,40
MAD	0,8493	-0,3175	0,1351	82,21	73,96
ALA	0,8706	0,2038	-0,2289	79,95	81,03
pH	-0,7563	0,1789	-0,2088	60,40	61,56
PG	0,6789	0,0758	0,6105	46,67	83,36
L*	0,7697	0,2408	0,4079	65,04	75,88
Polifenoles	-0,1736	0,7286	0,1538	56,10	5,38

CP1: componente principal 1. CP2: componente principal 2. CP3: componente principal 3. GP: ganancia de peso. Pe: peso de la pechuga. HDL: lipoproteína alta densidad. LDL: lipoproteína baja densidad. MAD: malonaldehído. ALA: ácido linolénico. PG: pérdida por goteo. L*: luminosidad.

Analizando las Figuras 7 y 8 se puede observar que, las aves alimentadas con la dieta W3, presentaron una menor GP y un mayor peso de vísceras, resultado de la correlación negativa entre ambas, situación que se traduce en un rechazo parcial de la hipótesis 1. No obstante, estos animales manifestaron una mejor salud hematológica evidenciada por los menores niveles de LDL (Figura 7) aceptando parcialmente la hipótesis 1. Cuando estos resultados se asocian a las variables de calidad de carne, la dieta W3 muestra la presencia de una carne con mayor contenido de ALA y, debido a la correlación positiva con MAD, una mayor oxidación (Figuras 7 y 8). Además, en esta dieta, se exhibe una pechuga con mayor exudación (mayor PG) y de color más claro (mayor L*), producto de la correlación negativa entre pH-PG y, pH-L* (Figura 8). De este modo, se acepta la hipótesis 2.

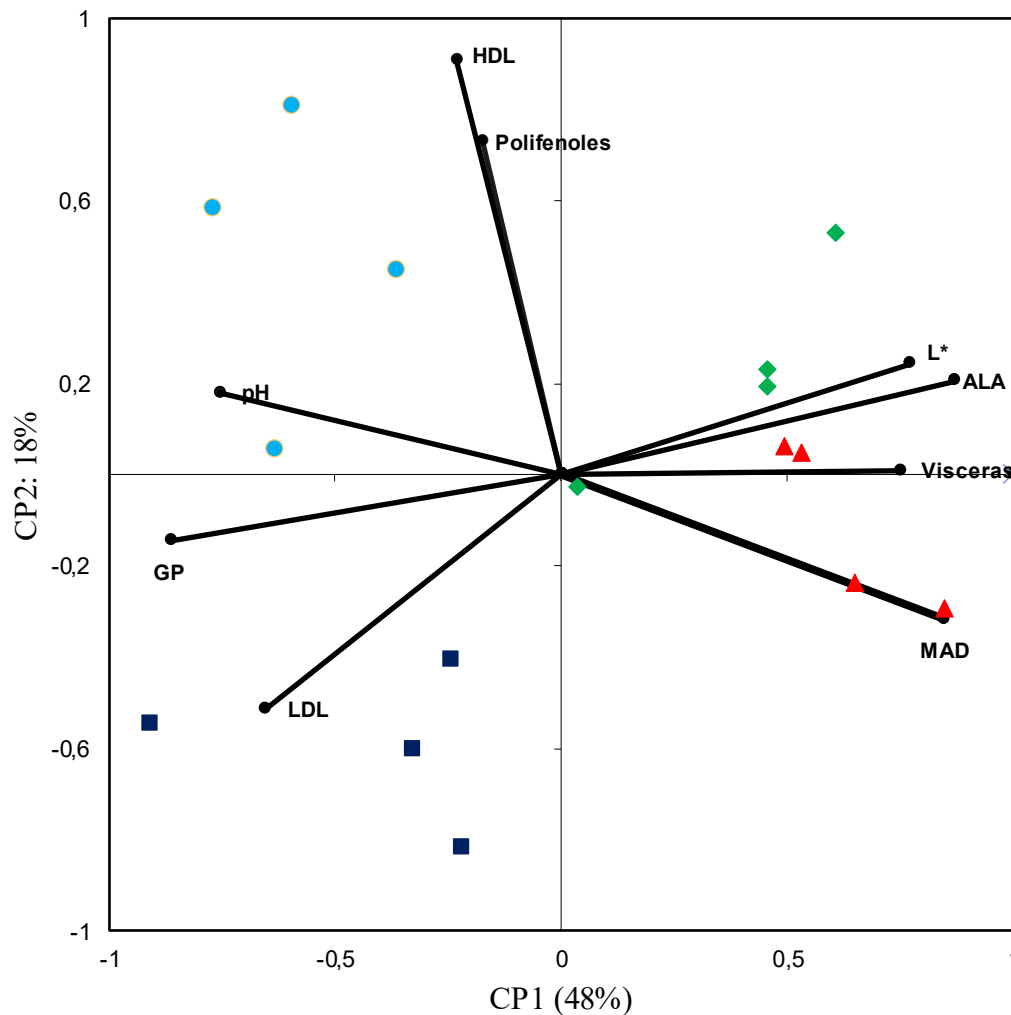


Figura 7. Biplot de los diferentes tratamientos (cuadrado azul: control; triángulo rojo: W₃; rombo verde: W₃+H; punto celeste: H) y las variables (vectores) medidas en el animal y en la calidad de la carne representadas por las dos componentes principales (CP1 y CP2). Solo se presentaron las variables que tienen más del 50% de reconstrucción en este plano.

En resumen, los pollos parrilleros alimentados con la dieta W₃, presentan una baja performance animal, pero una carne más nutritiva. Sin embargo, esta última muestra un ligero aumento en el contenido de radicales libres (RLs) y un menor tiempo de conservación.

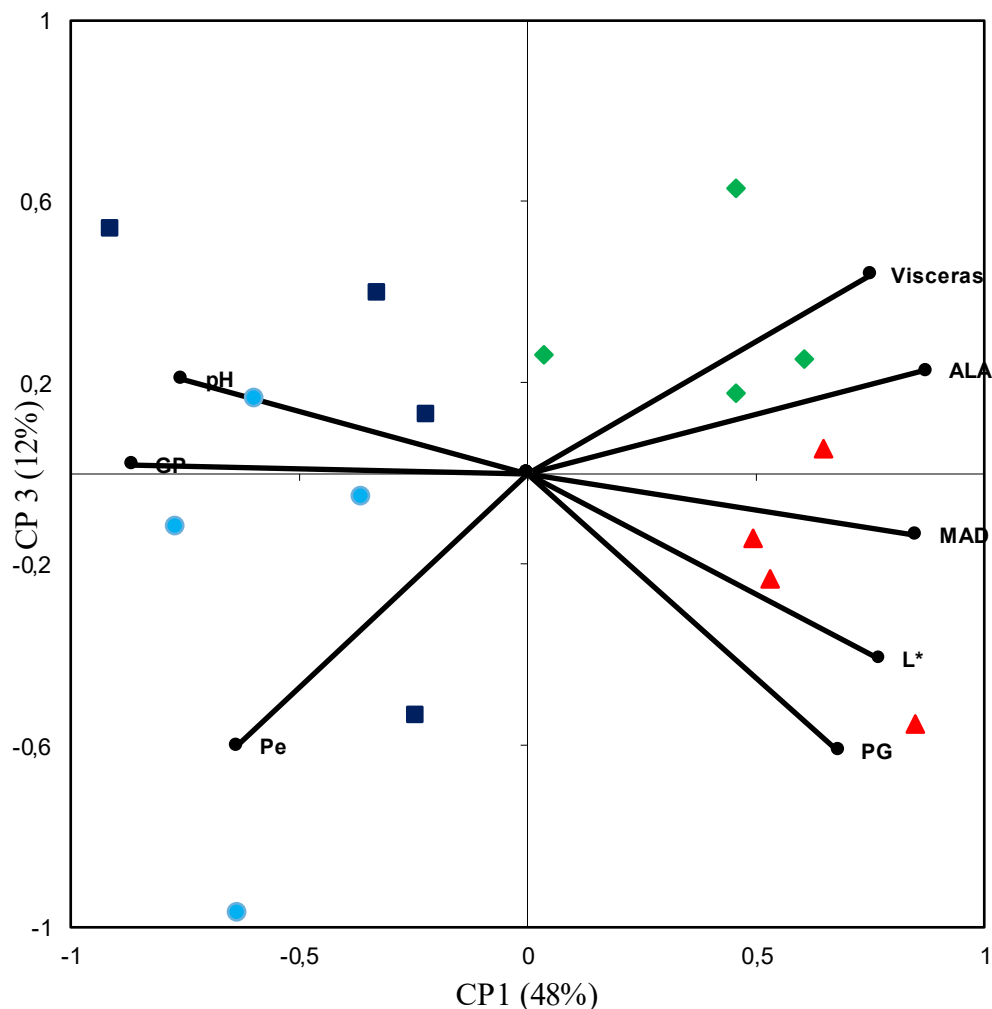


Figura 8. Biplot de los diferentes tratamientos (cuadrado azul: control; triángulo rojo: W_3 ; rombo verde: W_3+H ; punto celeste: H) y las variables (vectores) medidas en el animal y en la calidad de la carne representadas por las dos componentes principales (CP1 y CP3). Solo se presentaron las variables que tienen más del 50% de reconstrucción en este plano.

Cabe señalar que cuando la harina de chía se adiciona en conjunto con el HT, se observan los mismos resultados en cuanto a las variables productivas (Figuras 7 y 8) rechazando parcialmente la hipótesis 3 en lo referido a performance animal. No obstante, la combinación de estos componentes dietarios mejoró aún más la salud del animal al observarse un aumento en los valores de HDL, y una mayor disminución en los niveles de LDL (Figura 7). Si bien los test estadísticos demuestran una diferencia significativa en las concentraciones de ALA entre las pechugas de los animales alimentados con la dieta W_3 y W_3+H (Tabla 11), en las figuras 7 y 8, no se advierte claramente dicho resultado

(son proyecciones de un espacio de dimensión mayor). Sin embargo, se observa el potencial antioxidante del HT al disminuir los valores de MAD (Figura 7 y 8), las pérdidas de agua (PG) y los valores de L^* en las pechugas de los animales alimentados con dieta W_3+H con respecto a la dieta W_3 (Figura 8). Inclusive, se observa un incremento en los niveles de CFT (Figura 7). Por lo tanto, en base a estos últimos resultados, se acepta parcialmente la hipótesis 3 en lo referido a calidad de carne. En conclusión, la combinación de harina de chía e hidroxitirosol en la dieta de pollos parrilleros produciría una carne funcional, con menor proporción de RLs, y mejores cualidades tecnológicas para extender su vida útil y rendimiento del producto durante los primeros dos días.

Por otro lado, el adicionado del HT al testigo mejoró el peso de la pechuga (Pe), sin modificar la calidad nutritiva (ALA) y tecnológica de la carne (pH; PG; L^*) (Figura 8). Ahora bien, los niveles de MAD se redujeron y las concentraciones de polifenoles (Figura 7) se incrementaron produciendo una carne con menor contenido de RLs. Este equilibrio entre la reducción de la oxidación y el aumento de compuestos bioactivos contribuye a una carne con mejores características funcionales y beneficios para la salud del consumidor.

7. CONCLUSIONES FINALES

En base a la adición de un subproducto de la agroindustria, la harina de chía, y/o un antioxidante en la dieta de pollos parrilleros, y considerando la importancia de la composición de la dieta en la optimización de la producción y obtención de carnes nutritivas y funcionales, se extraen las siguientes conclusiones.

La harina de chía, combinada con hidroxitirosol, mostró un gran potencial para mejorar la salud animal y la producción de carne funcional, constituyéndose como una posible nueva combinación de ingredientes en la dieta de pollos parrilleros. Desde el punto de vista productivo, en este estudio no se observaron efectos significativos sobre los parámetros productivos al incluir ambos componentes dietarios simultáneamente.

La dosis de $7 \text{ mg.kg PV}^{-1}.\text{día}^{-1}$ de HT resultó ser novedosa y promisoría, mostrando un gran potencial para su aplicación en la producción avícola. No obstante, se requieren más estudios que evalúen el impacto de dosis mayores de este antioxidante sobre la productividad, la susceptibilidad de los AGPI n-3 a la peroxidación lipídica, el perfil de ácidos grasos y el contenido de compuestos bioactivos antioxidantes.

El hidroxitirosol se presenta como otro posible antioxidante a ser incluido en la dieta de pollos parrilleros. Los hallazgos obtenidos en esta tesis, no solo contribuyen al conocimiento sobre la optimización de la calidad de la carne aviar, sino que también abren nuevas posibilidades para implementar alternativas más seguras y efectivas frente a los antioxidantes sintéticos.

8. CONSIDERACIONES FINALES

La investigación presentada en esta tesis evidenció la viabilidad de incorporar un subproducto como la harina de chía y un producto derivado de la industria olivícola, el hidroxitirosol, como estrategia para su revalorización y para maximizar el aprovechamiento de los recursos agroindustriales. Este enfoque no solo promueve la sostenibilidad, sino que ofrece una alternativa viable para mejorar la alimentación aviar, y abre la posibilidad de explorar otras fuentes de n-3 y/o subproductos de la industria olivícola en futuras investigaciones.

En un contexto en el que los consumidores demandan cada vez más productos saludables y sustentables, los resultados de este estudio adquieren aún mayor relevancia, proporcionando un posible modelo para futuras iniciativas en la industria avícola. De este modo, se contribuye a la construcción de un sistema agroalimentario que prioriza tanto la eficiencia en la producción animal como la salud del consumidor y el cuidado del medio ambiente.

En síntesis, se trata de avanzar hacia una producción que integre eficiencia, sostenibilidad y salud, en línea con el concepto de One Health, donde la salud humana, animal y ambiental están profundamente interconectadas.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Moneim, A. M. E., Shehata, A. M., Khidr, R. E., Paswan, V. K., Ibrahim, N. S., El-Ghoul, A. A., Aldhumri S. A., Gabr, S. A., Mesalam, N. M., Elbaz, A. M., Elsayed, M. A., Wakwak, M. M., and Ebeid, T. A. (2021). Nutritional manipulation to combat heat stress in poultry—A comprehensive review. *Journal of Thermal Biology*, 98, 102915.
- Abu Hafsa, S. H., and Ibrahim, S. A. (2017). Effect of dietary polyphenol-rich grape seed on growth performance, antioxidant capacity and ileal microflora in broiler chicks. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(1), 268-275.
- Agah, M.J., Mirakzehi, M.T., and Saleh, H. (2019). Effects of olive leaf extract (*olea europea* L) on growth performance, blood metabolites and antioxidant activities in broiler chickens under heat stress. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 29(3), 657-666.
- Ajuyah, A. O., Hardin, R. T., and Sim, J. S. (1993). Effect of dietary full-fat flax seed with and without antioxidant on the fatty acid composition of major lipid classes of chicken meats. *Poultry Science*, 72(1), 125-136.
- Alagawany, M., Elnesr, S. S., Farag, M. R., Abd El-Hack, M. E., Khafaga, A. F., Taha, A. E., Tiwari, R., Yatoo, M. I., Bhatt, P., Khurana, S. K., and Dhama, K. (2019). Omega-3 and omega-6 fatty acids in poultry nutrition: effect on production performance and health. *Animals*, 9(8), 573.
- Alagawany, M., Nasr, M., Al-Abdullatif, A., Alhotan, R. A., Azzam, M. M., and Reda, F. M. (2020). Impact of dietary cold-pressed chia oil on growth, blood chemistry, haematology, immunity and antioxidant status of growing Japanese quail. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 896-904.
- Al-Harathi, M. A., and Attia, Y. A. (2016). Effect of citric acid on the nutritive value of olive cake in broiler diets. *European Poultry Science*, 80, 1-14.
- Al-Harathi, M.A. (2017). The effect of olive cake, with or without enzymes supplementation, on growth performance, carcass characteristics, lymphoid organs and lipid metabolism of broiler chickens. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 19, 83-90.
- Al-Khalifa, H., Givens, D. I., Rymer, C., and Yaqoob, P. (2012). Effect of n-3 fatty acids on immune function in broiler chickens. *Poultry Science*, 91(1), 74-88.
- Al-Musawi, S. L., Lock, F., Simbi, B. H., Bayol, S. A., and Stickland, N. C. (2011). Muscle specific differences in the regulation of myogenic differentiation in chickens genetically selected for divergent growth rates. *Differentiation*, 82(3), 127-135.
- Amador, S. A. (2013). Aspectos físicos da carne do peito, da coxa e da sobrecoxa de frango alimentados com dietas contendo antioxidantes naturais. Tesis de grado, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. Disponible en: <https://bdm.unb.br/handle/10483/5943>
- Anjum, F. M., Haider, M. F., Khan, M. I., Sohaib, M., and Arshad, M. S. (2013). Impact

of extruded flaxseed meal supplemented diet on growth performance, oxidative stability and quality of broiler meat and meat products. *Lipids in Health and Disease*, 12(1), 1-12.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th (ed) AOAC International, Washington, DC, USA, Official Method.

Arceo, M., Fassa, V., Conte, A., Iglesias, G., Demarco, A., Romano, E., Huguet, E., Lamouroux, F., Canet, Z., Fain Vinda, V., Trassorras, V., Caldevilla, M., and Melo, J. (2009). Predicción de peso y proporción de grasa abdominal a partir de mediciones in vivo en pollos campero-INTA. *Revista Argentina de Producción Animal*, 29(1), 69-73.

Arshad, M. S., Anjum, F. M., Khan, M. I., Shahid, M., Akhtar, S., and Sohaib, M. (2013). Wheat germ oil enrichment in broiler feed with α -lipoic acid to enhance the antioxidant potential and lipid stability of meat. *Lipids in health and disease*, 12, 1-14.

Attia, Y. A., Al-Harthi, M. A., Korish, M. A., and Shiboob, M. M. (2017). Fatty acid and cholesterol profiles, hypocholesterolemic, atherogenic, and thrombogenic indices of broiler meat in the retail market. *Lipids in health and disease*, 16(1), 40.

Avello, M., and Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea (Concepción)*, (494), 161-172.

Ayerza, R. (1995). Oil content and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) from five northwestern locations in argentina. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72(9), 1079-1081.

Ayerza, R., and Coates, W. (2000). Dietary levels of chia: influence on yolk cholesterol, lipid content and fatty acid composition for two strains of hens. *Poultry Science*, 79(5), 724-739.

Ayerza, R., and Coates, W. (2001). Omega-3 enriched eggs: the influence of dietary α -linolenic fatty acid source on egg production and composition. *Canadian Journal of Animal Science*, 81(3), 355-362.

Ayerza, R., and Coates, W. (2005). Ground chia seed and chia oil effects on plasma lipids and fatty acids in the rat. *Nutrition Research*, 25(11), 995-1003.

Ayerza, R., Coates, W., and Lauria, M. (2002). Chia as an ω -3 fatty acid source for broilers: Influence on fatty acid composition, cholesterol and fat content of white and dark meat, on growth performance and on meat flavor. *Poultry Science*, 81, 826-837.

Azcona, J. O., Schang, M. J., Garcia, P. T., Gallinger, C., Ayerza Jr, R., and Coates, W. (2008). Omega-3 enriched broiler meat: The influence of dietary α -linolenic- ω -3 fatty acid sources on growth, performance and meat fatty acid composition. *Canadian Journal of Animal Science*, 88(2), 257-269.

Aziza, A. E., Quezada, N., and Cherian, G. (2010). Feeding *Camelina sativa* meal to meat-type chickens: Effect on production performance and tissue fatty acid composition. *Journal of Applied Poultry Research*, 19(2), 157-168.

- Bai, C., Yan, X., Takenaka, M., Sekiya, K., and Nagata, T. (1998). Determination of synthetic hydroxytyrosol in rat plasma by GC-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 3998-4001.
- Baillie, A. G., and Garlick, P. J. (1991). Responses of protein synthesis in different skeletal muscles to fasting and insulin in rats. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 260(6), E891-E896.
- Bakshi, A., Chhabra, S., and Kaur, R. (2020). Consumers' Attitudes Toward Functional Foods: A Review. *Current topics in nutraceutical research*, 18(4), 343-348.
- Balasundram, N., Sundram, K., and Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food chemistry*, 99(1), 191-203
- Barceló-Coblijn, G., and Murphy, E. J. (2009). Alpha-linolenic acid and its conversion to longer chain n-3 fatty acids: Benefits for human health and a role in maintaining tissue n-3 fatty acid levels. *Progress in Lipid Research*, 48(6), 355-374
- Basaga, H. S. (1990). Biochemical aspects of free radicals. *Biochemistry and Cell Biology*, 68(7-8), 989-998.
- Berrougui, H., Ikhlef, S., and Khalil, A. (2015). Extra virgin olive oil polyphenols promote cholesterol efflux and improve HDL functionality. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015(1), 208062.
- Betti, M., Schneider, B. L., Wismer, W. V., Carney, V. L., Zuidhof, M. J., and Renema, R. A. (2009). Omega-3-enriched broiler meat: 2. Functional properties, oxidative stability, and consumer acceptance. *Poultry Science*, 88(5), 1085-1095.
- Bolsa de Comercio de Rosario. 2021. La importancia de la ganadería para la economía Argentina. Desiré Sigauco y Emilce Terré. AÑO XXXIX - Edición N° 2004 - Especial Ganadería - 04 de Junio de 2021. Disponible en: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/la-48>
- Botham, K. M., Zheng, X., Napolitano, M., Avella, M., Cavallari, C., Rivabene, R., and Bravo, E. (2003). The effects of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids delivered in chylomicron remnants on the transcription of genes regulating synthesis and secretion of very-low-density lipoprotein by the liver: modulation by cellular oxidative state. *Experimental Biology and Medicine*, 228(2), 143-151.
- Botsoglou, E. N., Govaris, A. K., Ambrosiadis, I. A., and Fletouris, D. J. (2013). Olive leaves (*Olea europaea* L.) versus α -tocopheryl acetate as dietary supplements for enhancing the oxidative stability of eggs enriched with very-long-chain n-3 fatty acids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(8), 2053-2060.
- Braden, K. W. (2013). Converting Muscle to Meat: The Physiology of Rigor. In C. R. Kerth (Ed) *The Science of Meat Quality* (pp. 79-96). Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781118530726.ch5>.

- Branciari, R., Galarini, R., Giusepponi, D., Trbalza-Marinucci, M., Forte, C., Roila, R., Miraglia, D., Servili, M., Acuti, G., and Valiani, A. (2017). Oxidative status and presence of bioactive compounds in meat from chickens fed polyphenols extracted from olive oil industry waste. *Sustainability*, 9(9), 1566.
- Braña Varela, D. B., Rodríguez, E. R., Lozano, M. D. L. S. R., Escalante, A. S., Urrutia, G. T., de Moreno, M. L. A., de la Peña, J.A.P., Alquicira, E.P., and Rincón, F. G. R. (2011). Manual de análisis de Calidad en muestras de Carne. Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Querétaro, México. ISBN: 978-607-425-612-3
- Brenes, A., Marquardt, R. R., Guenter, W., and Viveros, A. (2002). Effect of enzyme addition on the performance and gastrointestinal tract size of chicks fed lupin seed and their fractions. *Poultry Science*, 81(5), 670-678.
- Brenner, R. R. (1989). Factors influencing fatty acid chain elongation and desaturation. In Vergroesen, A.J. and Crawford M. (Ed.) *The role of fats in human nutrition* (pp. 45-79). Academic Press (ed). London, UK. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-718051-9.50006-8>
- Calder, P. C. (2007). Immunomodulation by omega-3 fatty acids. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 77(5-6), 327-335.
- Calder, P. C. (2010). Omega-3 fatty acids and inflammatory processes. *Nutrients*, 2(3), 355-374.
- Calder, P. C. (2020). Eicosanoids. *Essays in Biochemistry*, 64(3), 423-441. <https://doi.org/10.1042/EBC20190083>
- Capitani, M. I., Nolasco, S. M., & Tomás, M. C. (2013). Effect of mucilage extraction on the functional properties of Chia meals. Muzzalupo Food Industry. InTech, Croacia, 421-437. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5772/53171>.
- Cardinali, A., Pati, S., Minervini, F., D'Antuono, I., Linsalata, V., and Lattanzio, V. (2012). Verbascoside, isoverbascoside, and their derivatives recovered from olive mill wastewater as possible food antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(7), 1822-1829.
- Carocho, M., Barreiro, M. F., Morales, P., and Ferreira, I. C. (2014). Adding molecules to food, pros and cons: A review on synthetic and natural food additives. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 13(4), 377-399.
- Carreras Ferrer, I. (2004). Influencia de la suplementación de antioxidantes y de la administración de enrofloxacin en la calidad y seguridad de la carne de ave. Tesis Universidad de Girona. Disponible en: <https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/4717/Ticf.pdf?sequence=5>
- Carrero, C. M., Oróstegui, M. A., Escorcía, L. R., y Aldana, E. (2018). Papel de las grasas esenciales en los procesos inflamatorios asociados a la artritis reumatoide. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 37(3), 298-305.

- Carvajal Carvajal, C. (2019). Especies reactivas del oxígeno: formación, función y estrés oxidativo. *Medicina Legal de Costa Rica*, 36(1), 91-100.
- Castro-González, M. I. (2002). Ácidos grasos omega 3: beneficios y fuentes. *Interciencia*, 27(3), 128-136.
- Çelikoğlu, O., and Karakas Oguz, F. (2024). The Effect of Chia Seed on Fattening Performance and Meat Shelf Life of Broiler Chickens. In review: *Tropical Animal Health and Production*. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0002-9077-8531>
- Chashmi, N. A., Emadi, S., and Khastar, H. (2017). Protective effects of hydroxytyrosol on gentamicin induced nephrotoxicity in mice. *Biochemical and biophysical research communications*, 482(4), 1427-1429.
- Chashnidel, Y., Moravej, H., Towhidi, A., Asadi, F., and Zeinodini, S. (2010). Influence of different levels of n-3 supplemented (fish oil) diet on performance, carcass quality and fat status in broilers. *African Journal of Biotechnology*, 9(5):687-691.
- Cheah, K. S., Cheah, A. M., and Krausgrill, D. I. (1995). Effect of dietary supplementation of vitamin E on pig meat quality. *Meat Science*, 39(2), 255-264.
- Chekani-Azar, S., Maheri-Sis, N., Shahriar, H. A., and Ahmadzadeh, A. (2007). Effects of different substitution levels of fish oil and poultry fat on performance and parts of carcass on male broiler chicks. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 6(12), 1405-1408.
- Chen, H., Wang, H., Qi, J., Wang, M., Xu, X., and Zhou, G. (2017). Chicken breast quality—normal, pale, soft and exudative (PSE) and woody—influences the functional properties of meat batters. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(3), 654-664.
- Chen, J., and Liu, H. (2020). Nutritional indices for assessing fatty acids: A mini-review. *International journal of molecular sciences*, 21(16), 5695.
- Chen, Y., Qiao, Y., Xiao, Y. U., Chen, H., Zhao, L., Huang, M., and Zhou, G. (2016). Differences in physicochemical and nutritional properties of breast and thigh meat from crossbred chickens, commercial broilers, and spent hens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(6), 855-864.
- Cherian, G., Wolfe, F. W., and Sim, J. S. (1996). Dietary oils with added tocopherols: effects on egg or tissue tocopherols, fatty acids, and oxidative stability. *Poultry Science*, 75(3), 423-431.
- Chila Covachina, M.J. 2014. Efecto de Hidroxitirosol de origen natural sobre el desempeño de las aves. Tesis grado Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_aves/produccion_avicola/136-hidroxitirosol.pdf
- Choct, M., and Naylor, A. J. (2004). The effect of dietary selenium source and vitamin E levels on performance of male broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 17(7), 1000-1006.

- Choi, S. L., Kim, S. J., Lee, K. T., Kim, J., Mu, J., Birnbaum, M. J., Soo Kim, S. and Ha, J. (2001). The regulation of AMP-activated protein kinase by H₂O₂. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 287(1), 92-97.
- Christie, W. W., and Harwood, J. L. (2020). Oxidation of polyunsaturated fatty acids to produce lipid mediators. *Essays in biochemistry*, 64(3), 401-421.
- CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). 1976. Recommendations on uniform color spaces—color difference equations, psychometric color terms. Supplement No. 2 to CIE Publication No. 15 (E-1.3.1.) 1978, 1971/(TC-1-3). Commission Internationale de l'Eclairage, Paris, France.
- Cisternas, C., Farías, C., Muñoz, L., Morales, G., and Valenzuela, R. (2022). Composición química, características nutricionales y beneficios asociados al consumo de chía (*Salvia hispanica* L.). *Revista Chilena de Nutrición*, 49(5), 625-636.
- Clandinin, M. T., Field, C. J., Hargreaves, K., Morson, L., and Zsigmond, E. (1985). Role of diet fat in subcellular structure and function. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 63(5), 546-556.
- Clavijo, V. and Flórez, M. J. V. (2018). The gastrointestinal microbiome and its association with the control of pathogens in broiler chicken production: A review. *Poultry Science*, 97(3), 1006-1021.
- CODEX, S. 192 (1995) Norma general para los aditivos alimentarios. Codex Alimentarius. Normas Internacionales de los Alimentos. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252FCodex%252Fstandards%252FCXS%2B192-1995%252FCXS_192s.pdf
- Código Alimentario Argentino, art. 1407 bis (Res. Conj. 86/2009 SPReI y 711/2009 SAGPyA). (2009). Ministerio de Salud. Secretaría de Políticas, Regulación e Institutos Disponible en: http://www.puntofocal.gov.ar/notific_otros_miembros/Arg/241_t.pdf
- Connor, W. E. (2000). Importance of n-3 fatty acids in health and disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(1), 171S-175S.
- Cori, M.E., Michelangeli, C., De Basilio, V., Figueroa, R., y Rivas, N. (2014). Solubilidad proteica, contenido de mioglobina, color y ph de la carne de pollo, gallina y codomiz. *Archivos de Zootecnia*, 63(241): 133-143.
- Cortinas, L., Villaverde, C., Galobart, J., Baucells, M. D., Codony, R., and Barroeta, A. C. (2004). Fatty acid content in chicken thigh and breast as affected by dietary polyunsaturation level. *Poultry Science*, 83(7), 1155-1164.
- Crespo, N., and Esteve-Garcia, E. (2001). Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens. *Poultry science*, 80(1), 71-78. <https://doi.org/10.1093/ps/80.1.71>
- Cuervo, M., Gómez, C., and Romero, H. (2002). Efecto de la utilización de un suplemento nutricional hidratado en pollos de engorde recién nacidos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(3), 319-329.

- Culioli, J., Berri, C., and Mourot, J. (2003). Muscle foods: consumption, composition and quality. *Sciences Des Aliments*, 23(1), 13-36.
- Da Silva, A., Cabrera, M. C., Olivero, R., del Puerto, M., Terevinto, A., & Saadoun, A. (2024). The incorporation of Chia seeds (*Salvia hispanica* L.) in the chicken diet promotes the enrichment of meat with n-3 fatty acids, particularly EPA and DHA. *Applied Food Research*, 4(1), 100416.
- Dagla, I., Benaki, D., Baira, E., Lemonakis, N., Poudyal, H., Brown, L., Tsaibopoulou, A., Skaltsounis, A., Mikrosa, E., and Gikas, E. (2018). Alteration in the liver metabolome of rats with metabolic syndrome after treatment with Hydroxytyrosol. A Mass Spectrometry And Nuclear Magnetic Resonance-based metabolomics study. *Talanta*, 178, 246-257.
- Dal Bosco, A., Mugnai, C., Ruggeri, S., Mattioli, S., and Castellini, C. (2012). Fatty acid composition of meat and estimated indices of lipid metabolism in different poultry genotypes reared under organic system. *Poultry Science*, 91(8), 2039-2045. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02228>
- Dalvandi, F., Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., Hosseini, H., and Karimian Khosroshahi, N. (2020). Effect of vacuum packaging and edible coating containing black pepper seeds and turmeric extracts on shelf life extension of chicken breast fillets. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*, 3(1), 69-78.
- D'Angelo, S., Manna, C., Migliardi, V., Mazzoni, O., Morrica, P., Capasso, G., Pontoni, G., Galletti, P., and Zappia, V. (2001). Pharmacokinetics and metabolism of hydroxytyrosol, a natural antioxidant from olive oil. *Drug Metabolism and Disposition*, 29(11), 1492-1498.
- De la Fuente, P., Chamorro, P., Moreno, M., and Poza, M.A. 2004. Propiedades antioxidantes del hidroxitirosol procedente de la hoja de olivo (*Olea europaea* L.). *Revista de Fitoterapia* 4 (2): 139-147.
- De Oliveira, C. O., Roll, A. A. P., Medeiros Gonçalves, F. M., Lopes, D. C. N., and Xavier, E. G. (2021). Olive pomace for the feeding of commercial poultry: effects on performance, meat and eggs quality, haematological parameters, microbiota and immunity. *World's Poultry Science Journal*, 77(2), 363-376.
- Del Puerto, M., Cabrera, M. C., and Saadoun, A. (2017). A Note on Fatty Acids Profile of Meat from Broiler Chickens Supplemented with Inorganic or Organic Selenium. *International Journal of Food Science*, 2017, 7613069. <https://doi.org/10.1155/2017/7613069>
- Del Puerto, M., Olivero, R., Terevinto, A., Saadoun, A., and Cabrera, M. C. (2016). Dietary organic and inorganic selenium on liver glycogen and lactate, pHu, color and drip loss of chicken *pectoralis* and *gastrocnemius* muscles. *Open Journal of Animal Sciences*, 6(1), 59-67.

- den Hartigh, L. J. (2019). Conjugated linoleic acid effects on cancer, obesity, and atherosclerosis: A review of pre-clinical and human trials with current perspectives. *Nutrients*, 11(2), 370.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. R. C. W., and Robledo, C. W. (2008). InfoStat, versión 2008. Grupo infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 115.
- Dias, K. M., de Oliveira, C. H., Calderano, A. A., Rostagno, H. S., O'Connor, K. E., Davis, R., Walsh, M., Britton, J., Altieri, E. A., and Albino, L. F. (2024). Effects of Hydroxytyrosol Supplementation on Performance, Fat and Blood Parameters of Broiler Chickens. *Animals*, 14(1), 119.
- Diplock, A. T., Aggett, P. J., Ashwell, M., Bornet, F., Fern, E. B., and Roberfroid, M. B. (1999). Scientific concepts of functional foods in Europe consensus document. *British Journal of Nutrition*, 81, S1-S27.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., and Lorenzo, J. M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8(10), 429.
- Droval, A. A., Benassi, V. T., Rossa, A., Prudencio, S. H., Paião, F. G., and Shimokomaki, M. (2012). Consumer attitudes and preferences regarding pale, soft, and exudative broiler breast meat. *Journal of Applied Poultry Research*, 21(3), 502-507.
- Dublecz, K., Pal, L., Wagner, L., Banyai, A., Bartos, A., and Toth, S. (2007). Modification of the n-3 fatty acid profile of meat-and liver-type geese tissues. 16th European Symposium on Poultry Nutrition, 677-680. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://www.cabi.org/Uploads/animal-science/worlds-poultry-science-association/WPSA-france-2007/99.pdf>
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). (2010). Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA Journal*, 8(3), 1461-1568.
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2017). Turck D, Bresson J-L, Burlingame B, Dean T, Fairweather-Tait S, Heinonen M, Hirsch-Ernst KI, Mangelsdorf I, McArdle HJ, Naska A, Neuhäuser-Berthold M, Nowicka G, Pentieva K, Sanz Y, Siani A, Sjödin A, Stern M, Tome D, Vinceti M, Willatts P, Engel K-H, Marchelli R, Pöting A, Poulsen M, Schlatter J, Turla E and van Loveren H, 2017. Scientific opinion on safety of hydroxytyrosol as a novel food pursuant to regulation (EC) No 258/97. *EFSA Journal* 15(3), 4728-4751.
- El-Bahr, S., Shousha, S., Shehab, A., Khattab, W., Ahmed-Farid, O., Sabike, I., El-Garhy O, Albokhadaim I., and Albosadah, K. (2020). Effect of dietary microalgae on growth performance, profiles of amino and fatty acids, antioxidant status, and meat quality of broiler chickens. *Animals*, 10(5), 761.

- El-Katcha, M. I., El-Kholy, M. E., Soltan, M. A., and El-Gayar, A. H. (2014). Effect of dietary omega-3 to omega-6 ratio on growth performance, immune response, carcass traits and meat fatty acids profile of broiler chickens. *Poultry Science Journal* (2): 71-94.
- Enser, M., 1984. The chemistry, biochemistry and nutritional importance of animal fats. In: *Fats in Animal Nutrition* (pp. 23–51). J. Wiseman, (ed.) London, UK. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-408-10864-5.50008-5>
- Erener, G., Ocak, N., Ozturk, E., Cankaya, S., Ozkanca, R., and Altop, A. (2020). Evaluation of olive leaf extract as a growth promoter on the performance, blood biochemical parameters, and caecal microflora of broiler chickens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 49, e20180300. <https://doi.org/10.37496/rbz492018030>.
- Esposito, L., Mastrocola, D., and Martuscelli, M. (2022). Approaching to biogenic amines as quality markers in packaged chicken meat. *Frontiers in Nutrition*, 9, 966790. [www.frontiersin.org/doi: 10.3389/fnut.2022.966790](http://www.frontiersin.org/doi/10.3389/fnut.2022.966790).
- FAO, E. (2019). Moving forward on food loss and waste reduction. The state of food and agriculture. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca6030en>
- Fernández, H., Morales, M., Amela, M.I., Salerno, C., Arenaz, F. y Zamponi, A. (2015 a). Utilización del probiótico *Bacillus subtilis* y harina de chía en pollos parrilleros. II. Peso de diferentes órganos. *Rev. Arg. Prod. Anim* 35 (1): 284.
- Fernández, H., Morales, M., Amela, M. I., Salerno, C., Flemmer, A. y Díaz Andrade, M. (2015 b). Utilización del probiótico *Bacillus subtilis* y harina de chía en pollos parrilleros. III. Histomorfometría intestinal. *Revista Argentina de Producción Animal*, 35 (1): 285.
- Fernández, H., Kasper, M., Amela, M. I., Salerno, C., Flemmer, A., y Zamponi, A. (2016). Efectos de la adición de *Saccharomyces cerevisiae* y harina de chía en la dieta de pollos parrilleros. III. Peso de órganos internos. *Revista Argentina de Producción Animal*, 36 (1): 226.
- Fernández, M., Ordóñez, J. A., Cambero, I., Santos, C., Pin, C., and de la Hoz, L. (2007). Fatty acid compositions of selected varieties of Spanish dry ham related to their nutritional implications. *Food Chemistry*, 101(1), 107-112.
- Fernández-Bolaños, J., Rodríguez, G., Rodríguez, R., Heredia, A., Guillén, R., and Jiménez, A. (2002). Production in large quantities of highly purified hydroxytyrosol from liquid–solid waste of two-phase olive oil processing or “Alperujo”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(23), 6804-6811.
- Ferran Font, M. D. (2015). Hidroxitirosol, el mejor antioxidante natural y el más desconocido: Estudio comparativo con otros antioxidantes. Tesis Máster Nutrición y Salud Universitat Oberta de Catalunya. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10609/43501>.

- Ferreira, D. M., Nunes, M. A., Santo, L. E., Machado, S., Costa, A. S., Álvarez-Ortí, M., Pardo, J.E., Oliveira, M.B. P., and Alves, R. C. (2023). Characterization of chia seeds, cold-pressed oil, and defatted cake: An ancient grain for modern food production. *Molecules*, 28(2), 723.
- Fki, I., Sahnoun, Z., and Sayadi, S. (2007). Hypocholesterolemic effects of phenolic extracts and purified hydroxytyrosol recovered from olive mill wastewater in rats fed a cholesterol-rich diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(3), 624-631.
- Folch, J., Lees, M., and Sloane Stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226(1), 497-509.
- Fouladi, P., Nobar, S. D., Ahmadzade, A. R., Shahriar, A., and Agajanzade, A. H. (2011). Effect of canola oil on the internal organs and carcass weight of Japanese quail. *Annals of Biological Research*, 2(5), 478-484.
- Friedewald, W. T., Levy, R. I., and Fredrickson, D. S. (1972). Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. *Clinical Chemistry*, 18(6), 499-502.
- Galli, G. M., Gerbet, R. R., Griss, L. G., Fortuoso, B. F., Petrolli, T. G., Boiago, M. M., Souza, C.F.; Baldissera, M.D.; Mesadri, J.; Wagner, R., da Rosaa, G., Mendesf, E., Grisf, A., and Da Silva, A. S. (2020). Combination of herbal components (curcumin, carvacrol, thymol, cinnamaldehyde) in broiler chicken feed: Impacts on response parameters, performance, fatty acid profiles, meat quality and control of coccidia and bacteria. *Microbial Pathogenesis*, 139, 103916.
- Gallinger, C. I. (2015). Estabilidad oxidativa y calidad sensorial de carne de pollo enriquecida con ácidos grasos n-3 proveniente de fuentes de origen vegetal y animal, protegida con vitamina E y selenio orgánico. Tesis Doctoral Universitat Politècnica de València. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/59250>
- Gallinger, C. I., Federico, F. J., Pighin, D. G., Cazaux, N., Trossero, M., Marsó, A., and Sinesi, C. (2016). Determinación de la composición nutricional de la carne de pollo argentina. *Diaeta*, 34(156), 10-18.
- Gámez-Villazana, J. (2020). Avances en la determinación de compuestos bioactivos en alimentos. *Revista de Ciencia y Tecnología Agrollania*, 19, 7-17.
- Gao, C. Q., Zhang, H. J., Yan, H. C., Yuan, L., Dahanayaka, S., Li, H. C., and Wang, X. Q. (2016). Satellite cells isolated from skeletal muscle will proliferate faster in WENS yellow feather chicks. *Animal Science Journal*, 87(1), 126-133.
- Gao, M., Cieślak, A., Kierończyk, B., Huang, H., Yanza, Y. R., Zaworska-Zakrzewska, A., Józefiak, D., and Szumacher-Strabel, M. (2020). Effects of raw and fermented rapeseed cake on growth performance, methane production, and breast meat fatty acid composition in broiler chickens. *Animals*, 10(12), 2250.
- García-Ruiz, A., Bartolomé, B., Martínez-Rodríguez, A. J., Pueyo, E., Martín-Álvarez, P. J., and Moreno-Arribas, M. V. (2008). Potential of phenolic compounds for controlling lactic acid bacteria growth in wine. *Food Control*, 19(9), 835-841.

- George, T. W., Paterson, E., Waroonphan, S., Gordon, M. H., and Lovegrove, J. A. (2012). Effects of chronic consumption of fruit and vegetable puree-based drinks on vasodilation, plasma oxidative stability and antioxidant status. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 25(5), 477-487.
- Gerasopoulos, K., Stagos, D., Kokkas, S., Petrotos, K., Kantas, D., Goulas, P., and Kouretas, D. (2015). Feed supplemented with byproducts from olive oil mill wastewater processing increases antioxidant capacity in broiler chickens. *Food and Chemical Toxicology*, 82, 42-49.
- Ghobashy, M. G., Gaafar, K. M., Fathalla, S. I., Abu-Alya, I. S., and Abou-elkhair, R. (2023). Beneficial effects of n-3 fatty acids as feed additive on broiler chicken. *Matrouh Journal of Veterinary Medicine*, 3(1), 58-69.
- Glick, N. R., and Fischer, M. H. (2013). The role of essential fatty acids in human health. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, 18(4), 268-289.
- Golanski, J., Szymanska, P., and Rozalski, M. (2021). Effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids and their metabolites on haemostasis—current perspectives in cardiovascular disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(5), 2394.
- González Santiago, M. P. (2005). Estudio de los efectos cardiovasculares y la absorción oral del hidroxitirosol en modelos animales y humano. Tesis Doctoral Universidad de Granada. Disponible en: <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/610/15467569.pdf?sequence=1>
- González-Alvarado, J. M., Jiménez-Moreno, E., Lázaro, R., and Mateos, G. G. (2007). Effect of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. *Poultry Science*, 86(8), 1705-1715.
- González-Santiago, M., Martín-Bautista, E., Carrero, J. J., Fonollá, J., Baró, L., Bartolomé, M. V., Gil-Loyzaga, P., and Lopez-Huertas, E. (2006). One-month administration of hydroxytyrosol, a phenolic antioxidant present in olive oil, to hyperlipemic rabbits improves blood lipid profile, antioxidant status and reduces atherosclerosis development. *Atherosclerosis*, 188(1), 35-42.
- Gutiérrez, AM (2015). Composición de ácidos grasos y peroxidación lipídica de mitocondrias y microsomas aislados de hígado, corazón y cerebro de aves de diferentes especies: relación con el tamaño corporal. Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/45722>.
- Hadzhieva, B., Dimitrov, M., Obreshkova, D., Petkova, V., Atanasov, P., and Kasnakova, P. (2016). Omega-3 polyunsaturated fatty acids metabolism and prevention of some socially significant diseases. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5, 304–316.
- Hamzah, H. A. K., and Mohmad, M. F. (2021). Influence of chia seeds (*Salvia hispanica*. L) on performance and lipid content of broiler plasma. *Biochemical & Cellular Archives*, 21(2), 3693-3701.

- Harris, W. S., Connor, W. E., Illingworth, D. R., Rothrock, D. W., and Foster, D. M. (1990). Effects of fish oil on VLDL triglyceride kinetics in humans. *Journal of Lipid Research*, 31(9), 1549-1558.
- Hernández, Á., Fernández-Castillejo, S., Farràs, M., Catalán, Ú., Subirana, I., Montes, R., Solà, R., Muñoz-Aguayo, D., Gelabert-Gorgues, A., Díaz-Gil, Ó., Nyssönen, K., Zunft, H. J., de la Torre, R., Martín-Peláez, S., Pedret, A., Remaley, A. T., Covas, M. I., and Fitó, M. (2014). Olive oil polyphenols enhance high-density lipoprotein function in humans: a randomized controlled trial. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 34(9), 2115–2119.
- Hernández Espinosa, D. R., Barrera Morín, V., Briz Tena, O., González Herrera, E. A., Laguna Maldonado, K. D., Jardínez Díaz, A. S., Sánchez Olivares, M., y Matuz Mares, D. (2019). El papel de las especies reactivas de oxígeno y de nitrógeno en algunas enfermedades neurodegenerativas. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 62(3), 6-19.
- Hodson, L., and Fielding, B. A. (2013). Stearoyl-CoA desaturase: rogue or innocent bystander?. *Progress in lipid research*, 52(1), 15-42.
- Honikel, K. O. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49(4), 447-457.
- Hu, T., He, X. W., Jiang, J. G., and Xu, X. L. (2014). Hydroxytyrosol and its potential therapeutic effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(7), 1449-1455.
- Hwang J. T., J. Ha and O.J. Park. 2005. Combination of 5-fluorouracil and genistein induces apoptosis synergistically in chemo-resistant cancer cells through the modulation of AMPK and COX-2 signaling pathways. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 332(2):433-440.
- Ibrahim, D., El-Sayed, R., Khater, S. I., Said, E. N., and El-Mandrawy, S. A. (2018). Changing dietary n-6: n-3 ratio using different oil sources affects performance, behavior, cytokines mRNA expression and meat fatty acid profile of broiler chickens. *Animal Nutrition*, 4(1), 44-51.
- Ibrahim, D., Moustafa, A., Shahin, S. E., Sherief, W. R., Abdallah, K., Farag, M. F., Nassan M. A., and Ibrahim, S. M. (2021). Impact of fermented or enzymatically fermented dried olive pomace on growth, expression of digestive enzyme and glucose transporter genes, oxidative stability of frozen meat, and economic efficiency of broiler chickens. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 644325.
- Iji, P. A., Saki, A. A., and Tivey, D. R. (2001). Intestinal development and body growth of broiler chicks on diets supplemented with non-starch polysaccharides. *Animal Feed Science and Technology*, 89(3-4), 175-188.
- Ikegami, S., Tsuchihashi, F., Harada, H., Tsuchihashi, N., Nishide, E., and Innami, S. (1990). Effect of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats. *The Journal of Nutrition*, 120(4), 353-360.

- ILSI Europe Concise Monograph: From Science to Health and Claims. (2008). Disponible en: [file:///D:/Users/User/Downloads/Functional-Foods%20\(1\).pdf](file:///D:/Users/User/Downloads/Functional-Foods%20(1).pdf)
- Isaksson, G., Lilja, P., Lundquist, I., and Ihse, I. (1983). Influence of dietary fiber on exocrine pancreatic function in the rat. *Digestion*, 27(2), 57-62.
- Isaza-Maya, Y. L., Restrepo Molina, D. A., and López Vargas, J. H. (2013). Oxidación lipídica y antioxidantes naturales en derivados cárnicos. *Journal of Engineering and Technology*, 2(2), 50-56.
- Jamshidi, A. M., Amato, M., Ahmadi, A., Bochicchio, R., and Rossi, R. (2019). Chia (*Salvia hispanica* L.) as a novel forage and feed source: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 14(1), 1-18.
- Jankowski, J., Zdunczyk, Z., Mikulski, D., Juskiewicz, J., Naczmanski, J., Pomianowski, J. F., and Zdunczyk, P. (2012). Fatty acid profile, oxidative stability, and sensory properties of breast meat from turkeys fed diets with a different n-6/n-3 PUFA ratio. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 114(9), 1025-1035.
- Jemai, H., Fki, I., Bouaziz, M., Bouallagui, Z., El Feki, A., Isoda, H., and Sayadi, S. (2008). Lipid-lowering and antioxidant effects of hydroxytyrosol and its triacetylated derivative recovered from olive tree leaves in cholesterol-fed rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(8), 2630-2636.
- Jha, R., and Mishra, P. (2021). Dietary fiber in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, performance, gut health, and on the environment: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12, 1-16.
- Jha, R., Foughse, J. M., Tiwari, U. P., Li, L., and Willing, B. P. (2019). Dietary fiber and intestinal health of monogastric animals. *Frontiers in Veterinary Science*, 6, 48.
- Jiménez-Moreno, E., Frikha, M., de Coca-Sinova, A., Lázaro, R. P., and Mateos, G. G. (2013). Oat hulls and sugar beet pulp in diets for broilers. 2. Effects on the development of the gastrointestinal tract and on the structure of the jejunal mucosa. *Animal Feed Science and Technology*, 182(1-4), 44-52.
- Jiménez-Moreno, E., González-Alvarado, J. M., González-Sánchez, D., Lázaro, R., and Mateos, G. G. (2010). Effects of type and particle size of dietary fiber on growth performance and digestive traits of broilers from 1 to 21 days of age. *Poultry Science*, 89(10), 2197-2212.
- Jin, S. K., Kim, G. D., and Jeong, J. Y. (2021). Evaluation of the effect of inhibiting lipid oxidation of natural plant sources in a meat model system. *Journal of Food Quality*, 2021(1), 6636335.
- Jing, M., Gakhar, N., Gibson, R. A., and House, J. D. (2013). Dietary and ontogenic regulation of fatty acid desaturase and elongase expression in broiler chickens. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 89(2-3), 107-113.
- John, J. L. (1994). The avian spleen: a neglected organ. *The Quarterly Review of Biology*, 69(3), 327-351.

- John, K. A., Maalouf, J., B. Barsness, C., Yuan, K., Cogswell, M. E., and Gunn, J. P. (2016). Do lower calorie or lower fat foods have more sodium than their regular counterparts?. *Nutrients*, 8(8), 511.
- Juskiewicz, J., Jankowski, J., Zielinski, H., Zdunczyk, Z., Mikulski, D., Antoszkiewicz, Z., Kosmala, M., and Zdunczyk, P. (2017). The fatty acid profile and oxidative stability of meat from turkeys fed diets enriched with n-3 polyunsaturated fatty acids and dried fruit pomaces as a source of polyphenols. *PLoS One*, 12(1), e0170074.
- Kang, Z. B., Ge, Y., Chen, Z., Cluette-Brown, J., Laposata, M., Leaf, A., and Kang, J. X. (2001). Adenoviral gene transfer of *Caenorhabditis elegans* n-3 fatty acid desaturase optimizes fatty acid composition in mammalian cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(7), 4050-4054.
- Khatun, J., Loh, T. C., Akit, H., Foo, H. L., and Mohamad, R. (2018). Influence of different sources of oil on performance, meat quality, gut morphology, ileal digestibility and serum lipid profile in broilers. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 479-485.
- Kim, H., Barton, E., Muja, N., Yakar, S., Pennisi, P., and LeRoith, D. (2005). Intact insulin and insulin-like growth factor-I receptor signaling is required for growth hormone effects on skeletal muscle growth and function in vivo. *Endocrinology*, 146(4), 1772-1779.
- Kim, H. J., Kim, H. J., Jeon, J., Nam, K. C., Shim, K. S., Jung, J. H., Kim, K. S., Choi, Y., Kim S., and Jang, A. (2020). Comparison of the quality characteristics of chicken breast meat from conventional and animal welfare farms under refrigerated storage. *Poultry science*, 99(3), 1788-1796.
- King, A. J., Griffin, J. K., and Roslan, F. (2014). In vivo and in vitro addition of dried olive extract in poultry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(31), 7915-7919.
- Knekt, P., Järvinen, R., Seppänen, R., Pukkala, E., and Aromaa, A. (1996). Intake of dairy products and the risk of breast cancer. *British Journal of Cancer*, 73(5), 687-691.
- Koba, K., and Yanagita, T. (2014). Health benefits of conjugated linoleic acid (CLA). *Obesity research & clinical practice*, 8(6), e525-e532.
- Komprda, T., Zorníková, G., Rozíková, V., Borkovcová, M., and Przywarová, A. (2013). The effect of dietary *Salvia hispanica* seed on the content of n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in tissues of selected animal species, including edible insects. *Journal of Food Composition and Analysis*, 32(1), 36-43.
- Krzeminski, R., Gorinstein, S., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Gralak, M., Czerwinski, J., Lojek, A., Číž, M., Martín-belloso, O., Gligelmo-Miguel, N., and Trakhtenberg, S. (2003). Effect of different olive oils on bile excretion in rats fed cholesterol-containing and cholesterol-free diets. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(19), 5774-5779.

- Kumar, F., Tyagi, P. K., Mir, N. A., Dev, K., Begum, J., Biswas, A., Sheikh, S. A., Tyagi, P. K., Sharma, D., Sahuc, B., Biswas A. K., Deo, C., and Mandal, A. B. (2020). Dietary flaxseed and turmeric is a novel strategy to enrich chicken meat with long chain ω -3 polyunsaturated fatty acids with better oxidative stability and functional properties. *Food Chemistry*, 305, 125458.
- Kumar, F., Tyagi, P. K., Mir, N. A., Tyagi, P. K., Dev, K., Bera, I., Biswas. A. K., Sharma, D., Baran, A. B., and Deo, C. (2019). Role of flaxseed meal feeding for different durations in the lipid deposition and meat quality in broiler chickens. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 96(3), 261-271.
- Lan, Y. M. W. A., Verstegen, M. W. A., Tamminga, S., and Williams, B. A. (2005). The role of the commensal gut microbial community in broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*, 61(1), 95-104.
- Leskovec, J., Levart, A., Svete, A. N., Perić, L., Stojčić, M. Đ., Žikić, D., Salobir, J., and Rezar, V. (2018). Effects of supplementation with α -tocopherol, ascorbic acid, selenium, or their combination in linseed oil-enriched diets on the oxidative status in broilers. *Poultry Science*, 97(5), 1641-1650.
- Li, J., Kaneko, T., Qin, L. Q., Wang, J., Wang, Y., and Sato, A. (2003). Long-term effects of high dietary fiber intake on glucose tolerance and lipid metabolism in GK rats: comparison among barley, rice, and cornstarch. *Metabolism*, 52(9), 1206-1210.
- Li, W. F., Feng, J., Xu, Z. R., and Yang, C. M. (2004). Effects of non-starch polysaccharides enzymes on pancreatic and small intestinal digestive enzyme activities in piglet fed diets containing high amounts of barley. *World Journal of Gastroenterology*, 10(6), 856.
- Lin, P. H., Shih, B. L., and Hsu, J. C. (2010). Effects of different sources of dietary non-starch polysaccharides on the growth performance, development of digestive tract and activities of pancreatic enzymes in goslings. *British Poultry Science*, 51(2), 270-277.
- Liput, K. P., Lepczyński, A., Ogłuszka, M., Nawrocka, A., Poławska, E., Grzesiak, A., ... and Pierzchała, M. (2021). Effects of dietary n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids in inflammation and cancerogenesis. *International journal of molecular sciences*, 22(13), 6965.
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., and Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy reviews*, 4(8), 118.
- Logue, J. A., De Vries, A. L., Fodor, E. L. F. R. I. E. D. A., and Cossins, A. R. (2000). Lipid compositional correlates of temperature-adaptive interspecific differences in membrane physical structure. *Journal of Experimental Biology*, 203(14), 2105-2115.
- Long, S. F., Kang, S., Wang, Q. Q., Xu, Y. T., Pan, L., Hu, J. X., Li, M., and Piao, X. S. (2018). Dietary supplementation with DHA-rich microalgae improves performance, serum composition, carcass trait, antioxidant status, and fatty acid profile of broilers. *Poultry science*, 97(6), 1881-1890.

- Long, S., Liu, S., Wu, D., Mahfuz, S., and Piao, X. (2020). Effects of dietary fatty acids from different sources on growth performance, meat quality, muscle fatty acid deposition, and antioxidant capacity in broilers. *Animals*, 10(3), 508.
- López, A., Fernando, C., Lazaro, Z., Bañuelos, R., y Sánchez, S. (2012). Antioxidantes, un paradigma en el tratamiento de enfermedades. *Revista ANACEM*, 6(1), 48-53.
- López-Ferrer, S., Baucells, M. D., Barroeta, A. C., Galobart, J., and Grashorn, M. (2001). n-3 enrichment of chicken meat. 2. Use of precursors of long-chain polyunsaturated fatty acids: linseed oil. *Poultry Science*, 80(6), 753-761.
- Lopez-Huertas, E. (2010). Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies. *Pharmacological research*, 61(3), 200-207.
- Mahasneh, Z. M., Abdelnour, S., Ebrahim, A., Almasodi, A. G., Moustafa, M., Alshaharni, M. O., Algopish, U., Tellez-Isaias, G., and Abd El-Hack, M. E. (2024). Olive oil and its derivatives for promoting performance, health and struggling thermal stress effects on broiler. *Poultry Science*, 103348.
- Mahdavi, V., Hosseini, S. E., and Sharifan, A. (2018). Effect of edible chitosan film enriched with anise (*Pimpinella anisum* L.) essential oil on shelf life and quality of the chicken burger. *Food science & nutrition*, 6(2), 269-279.
- Majdoub-Mathlouthi, L., Saïd, B., and Kraiem, K. (2015). Carcass traits and meat fatty acid composition of Barbarine lambs reared on rangelands or indoors on hay and concentrate. *Animal*, 9(12), 2065-2071.
- Manna, C., Galletti, P., Maisto, G., Cucciolla, V., D'Angelo, S., and Zappia, V. (2000). Transport mechanism and metabolism of olive oil hydroxytyrosol in Caco-2 cells. *FEBS letters*, 470(3), 341-344.
- Manson, J. E., Cook, N. R., Lee, I. M., Christen, W., Bassuk, S. S., Mora, S., Gibson, H., Albert, C. M., Gordon, D., Copeland, T., D'Agostino, D., Friedenberg, ... and Buring, J. E. (2019). Marine n-3 fatty acids and prevention of cardiovascular disease and cancer. *New England Journal of Medicine*, 380(1), 23-32.
- Marangoni, C., Cichoski, A. J., and Barin, J. S. (2017). Effect of olive leaves on the quality of chicken meat during frozen storage. *International Food Research Journal*, 24(1), 164.
- Marangoni, F., Corsello, G., Cricelli, C., Ferrara, N., Ghiselli, A., Lucchin, L., and Poli, A. (2015). Role of poultry meat in a balanced diet aimed at maintaining health and wellbeing: an Italian consensus document. *Food & Nutrition Research*, 59(1), 27606.
- Martinez, V. M., Newman, R. K., and Newman, C. W. (1992). Barley diets with different fat sources have hypocholesterolemic effects in chicks. *The Journal of Nutrition*, 122(5), 1070-1076.
- Mateos, R., Sarria, B., and Bravo, L. (2020). Nutritional and other health properties of olive pomace oil. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(20), 3506-3521.

- Meineri, G., Longato, E., and Peiretti, P. G. (2018). Effects of diets containing linseed oil or lard and supplemented with pumpkin seeds on oxidative status, blood serum metabolites, growth performance, and meat quality of naked neck chickens. *Canadian Journal of Animal Science*, 98(4), 607-618.
- Mendonça, N. B. D. S. N., Sobrane Filho, S. T., de Oliveira, D. H., Lima, E. M. C., e Rosa, P. V., Faria, P. B., Naves, L.P., and Rodrigues, P. B. (2020). Dietary chia (*Salvia hispanica* L.) improves the nutritional quality of broiler meat. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(8), 1310.
- Mendonça, N. B. D. S. N., Sobrane Filho, S. T., Lima, E. M. C., de Oliveira, D. H. D., Coelho, F. D. A., Cruz, F. L., Bernardes L. F., Moreira, R. H. R., de Paula Naves, L., and Rodrigues, P. B. (2022). Nutritional evaluation of chia (*Salvia hispanica*) seeds and oil in broiler diets. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 51, e20220005.
- Micha, R., and Mozaffarian, D. (2009). Trans fatty acids: effects on metabolic syndrome, heart disease and diabetes. *Nature Reviews Endocrinology*, 5(6), 335-344.
- Min, B., and Ahn, D. U. (2005). Mechanism of lipid peroxidation in meat and meat products-A review. *Food Science and Biotechnology*, 14(1), 152-163.
- Ministerio de Economía. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (2024). Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/economia/agricultura/ganaderia>
- Mir, N. A., Rafiq, A., Kumar, F., Singh, V., and Shukla, V. (2017 a). Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 2997-3009.
- Mir, N. A., Tyagi, P. K., Biswas, A. K., Tyagi, P. K., Mandal, A. B., Sheikh, S. A., Deo, C., Sharma, D., and Verma, A. K. (2017 b). Impact of feeding chromium supplemented flaxseed based diet on fatty acid profile, oxidative stability and other functional properties of broiler chicken meat. *Journal of Food Science and Technology*, 54(12), 3899-3907.
- Mir, N. A., Tyagi, P. K., Biswas, A. K., Tyagi, P. K., Mandal, A. B., Wani, M. A., Deo, C., Biswas, A., and Verma, A. K. (2018). Performance and meat quality of broiler chicken fed a ration containing flaxseed meal and higher dietary lysine levels. *The Journal of Agricultural Science*, 156(2), 291-299.
- Mishra, R., and Bisht, S. S. (2011). Antioxidants and their characterization. *Journal Pharmacy Research*, 4(8), 2744-2746.
- Mohd Ali, N., Yeap, S. K., Ho, W. Y., Beh, B. K., Tan, S. W., and Tan, S. G. (2012). The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. *Journal of Biomedicine & Biotechnology*, 2012, 171956. <https://doi.org/10.1155/2012/171956>
- Montagne, L., Pluske, J. R., and Hampson, D. J. (2003). A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Animal Feed Science and Technology*, 108(1-4), 95-117.
- Morrissey, P. A., Sheehy, P. J. A., Galvin, K., Kerry, J. P., and Buckley, D. J. (1998). Lipid stability in meat and meat products. *Meat science*, 49, S73-S86.

- Moura-Alves, M., Esteves, A., Ciriaco, M., Silva, J. A., and Saraiva, C. (2023). Antimicrobial and antioxidant edible films and coatings in the shelf-life improvement of chicken meat. *Foods*, 12(12), 2308.
- Mridula, D., Kaur, D., Nagra, S. S., Barnwal, P., Gurumayum, S., and Singh, K. K. (2015). Growth performance and quality characteristics of flaxseed-fed broiler chicks. *Journal of Applied Animal Research*, 43(3), 345-351.
- Muñoz, L. A. (2012). Mucilage from chia seeds (*Salvia hispanica*): Microestructure, physico-chemical characterization and applications in food industry. Tesis Doctoral Pontificia Universidad Catolica de Chile. Disponible en: <https://doi.org/10.7764/tesisUC/ING/1889>
- Muñoz, L. A., Cobos, A., Diaz, O., and Aguilera, J. M. (2013). Chia seed (*Salvia hispanica*): an ancient grain and a new functional food. *Food Reviews International*, 29(4), 394-408.
- Murray, R. S., Munner, M., Sánchez, M., Echegaray, N., and Roviroso, A. (2014). Hormonas exógenas en carne de pollo, creencias populares y evidencias científicas con relación a la crianza de aves de corral. *Actualización en Nutrición*, 15(3), 63-76.
- Nabi, F., Arain, M. A., Rajput, N., Alagawany, M., Soomro, J., Umer, M., Soomro, F., Wang, Z., Ye, R., and Liu, J. (2020). Health benefits of carotenoids and potential application in poultry industry: A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(6), 1809-1818.
- Natali, F., Siculella, L., Salvati, S., and Gnani, G. V. (2007). Oleic acid is a potent inhibitor of fatty acid and cholesterol synthesis in C6 glioma cells. *Journal of Lipid Research*, 48(9), 1966-1975.
- Navidshad, B. (2009). Effects of fish oil on growth performance and carcass characteristics of broiler chicks fed a low-protein diet. *International Journal of Agriculture Biology*, 11(5), 635-638.
- Ng, O. K. W., Hamid, S. N. A., Wong, S. R., Chee, S. L., and Augustine, C. A. (2012). Omega-6 and omega-3 fatty acid nutrition amongst Malaysians are far from desirable. *International E-Journal of Science, Medicine and Education*, 6(2), 4-9.
- Nobakht, A., Tabatbaei, S., and Khodaei, S. (2011). Effects of different sources and levels of vegetable oils on performance, carcass traits and accumulation of vitamin E in breast meat of broilers. *Current Research Journal of Biology Science*, 3(6), 601-605.
- Okuyama, H., Kobayashi, T., and Watanabe, S. (1997). Carcinogenesis and metastasis are affected by dietary n-6/n-3 fatty acids. In *Food Factors for Cancer Prevention* (pp. 509-512). Springer Japan. https://doi.org/10.1007/978-4-431-67017-9_100
- Oke, O. E., Emeshili, U. K., Iyasere, O. S., Abioja, M. O., Daramola, J. O., Ladokun, A. O., Abiona, J. A., Williams, T. J., Rahman, S. A., Rotimi, S. O., Balogun, S. I., and Adejuyigbe, A. E. (2017). Physiological responses and performance of broiler

- chickens offered olive leaf extract under a hot humid tropical climate. *Journal of Applied Poultry Research*, 26(3), 376-382.
- Olivo, R., Scares, A. L., Ida, E. I., and Shimokomaki, M. (2001). Dietary vitamin E inhibits poultry PSE and improves meat functional properties. *Journal of Food Biochemistry*, 25(4), 271-283.
- Omar, J. M. A. (2005). Carcass composition and visceral organ mass of broiler chicks fed different levels of olive pulp. *IUG Journal of Natural Studies*, 13(2), 175-184.
- Ounnas, F., Privé, F., Salen, P., Hazane-Puch, F., Laporte, F., Fontaine, E., Rio, DD, Calani, L, Melegari, C, Bianchi, MA, Demeilliers, C., and de Lorgeril, M. (2014). Wheat aleurone polyphenols increase plasma eicosapentaenoic acid in rats. *Food & nutrition Research*, 58(1), 24604-24621.
- Ozturk, E., Ocak, N., Turan, A., Erener, G., Altop, A., and Cankaya, S. (2012). Performance, carcass, gastrointestinal tract and meat quality traits, and selected blood parameters of broilers fed diets supplemented with humic substances. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(1), 59-65.
- Paiva-Martins, F., Barbosa, S., Pinheiro, V., Mourão, J. L., and Outor-Monteiro, D. (2009). The effect of olive leaves supplementation on the feed digestibility, growth performances of pigs and quality of pork meat. *Meat Science*, 82(4), 438-443.
- Pallafacchina, G., Blaauw, B., and Schiaffino, S. (2013). Role of satellite cells in muscle growth and maintenance of muscle mass. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 23, S12-S18.
- Panda, A. K., Sridhar, K., Lavanya, G., Prakash, B., Rama Rao, S. V., and Raju, M. V. L. N. (2015). Growth performance, carcass characteristics, fatty acid composition and sensory attributes of meat of broiler chickens fed diet incorporated with linseed oil. *Indian Journal of Animal Science*, 85(12), 1354-1357.
- Papadomichelakis, G., Pappas, A. C., Tsiplakou, E., Symeon, G. K., Sotirakoglou, K., Mpekis, V., Fegerosa, K., and Zervas, G. (2019). Effects of dietary dried olive pulp inclusion on growth performance and meat quality of broiler chickens. *Livestock Science*, 221, 115-122.
- Peñarrieta, J. M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., and Bravo, J. A. (2014). Phenolic compounds in food. *Revista Boliviana de Química*, 31(2), 68-81.
- Pereira, A. L. F., and Abreu, V. K. G. (2018). Lipid peroxidation in meat and meat products. In M.A. Mansour (Ed.) *Lipid Peroxidation Research* (pp. 1–14). IntechOpen (ed.). London, UK. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20190430212907id /https://cdn.intechopen.com/pdfs/63958.pdf>
- Perera, W. N. U., Abdollahi, M. R., Zaefarian, F., Wester, T. J., Ravindran, G., and Ravindran, V. (2019). Influence of inclusion level of barley in wheat-based diets and supplementation of carbohydrase on growth performance, nutrient utilisation and gut morphometry in broiler starters. *British poultry science*, 60(6), 736-748.

- Pérido, C., Cases, M., Bueno, M., Di Sapio, O., Busilacchi, H., and Severin, C. (2011). Caracterización de harinas de chía (*Salvia hispanica* L.) comercializadas en Rosario (Santa Fe, Argentina). *Dominguezia*, 27(2), 21-26.
- Petracci, M., Betti, M., Bianchi, M., and Cavani, C. (2004). Color variation and characterization of broiler breast meat during processing in Italy. *Poultry Science*, 83(12), 2086-2092.
- Poorghasemi, M., Seidavi, A., Qotbi, A. A. A., Laudadio, V., and Tufarelli, V. (2013). Influence of dietary fat source on growth performance responses and carcass traits of broiler chicks. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(5), 705.
- Poudyal, H., Panchal, S. K., Waanders, J., Ward, L., and Brown, L. (2012). Lipid redistribution by α -linolenic acid-rich chia seed inhibits stearoyl-CoA desaturase-1 and induces cardiac and hepatic protection in diet-induced obese rats. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 23(2), 153-162.
- Prado-Acebo, I., Cubero-Cardoso, J., Lu-Chau, T. A., and Eibes, G. (2024). Integral multi-valorization of agro-industrial wastes: A review. *Waste Management*, 183, 42-52.
- Priore, P., Gnoni, A., Natali, F., Testini, M., Gnoni, G. V., Siculella, L., and Damiano, F. (2017). Oleic acid and hydroxytyrosol inhibit cholesterol and fatty acid synthesis in C6 glioma cells. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017(1), 9076052.
- Priore, P., Siculella, L., and Gnoni, G. V. (2014). Extra virgin olive oil phenols down-regulate lipid synthesis in primary-cultured rat-hepatocytes. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 25(7), 683-691.
- Purrinos, L., Bermúdez, R., Franco, D., Carballo, J., and Lorenzo, J. M. (2011). Development of volatile compounds during the manufacture of dry-cured “Lacón,” a Spanish traditional meat product. *Journal of Food Science*, 76(1), C89-C97.
- Puvadolpirod, S., and Thaxton, J. P. (2000). Model of physiological stress in chickens 4. Digestion and metabolism. *Poultry Science*, 79(3), 383-390.
- Qi, K. K., Chen, J. L., Zhao, G. P., Zheng, M. Q., and Wen, J. (2010). Effect of dietary $\omega 6/\omega 3$ on growth performance, carcass traits, meat quality and fatty acid profiles of Beijing-you chicken. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94(4), 474-485.
- Qiao, X., Zhang, H. J., Wu, S. G., Yue, H. Y., Zuo, J. J., Feng, D. Y., and Qi, G. H. (2013). Effect of β -hydroxy- β -methylbutyrate calcium on growth, blood parameters, and carcass qualities of broiler chickens. *Poultry Science*, 92(3), 753-759.
- Raederstorff, D. G., Schlachter, M. F., Elste, V., and Weber, P. (2003). Effect of EGCG on lipid absorption and plasma lipid levels in rats. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 14(6), 326-332.
- Rahimi, S., Kamran, A. S., & Karimi, T. M. (2011). Omega-3 enrichment of broiler meat by using two oil seeds. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13, 353-365.

- Rahmatnejad, E., and Saki, A. A. (2016). Effect of dietary fibres on small intestine histomorphology and lipid metabolism in young broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(4), 665-672.
- Rajput, I. R., Li YaLi, L. Y., Xu Xin, X. X., Huang Yi, H. Y., Zhi WenCui, Z. W., Yu DongYou, Y. D., and Li WeiFen, L. W. (2013). Supplementary effects of *Saccharomyces boulardii* and *Bacillus subtilis* B10 on digestive enzyme activities, antioxidation capacity and blood homeostasis in broilers. *International Journal of Agriculture & Biology*, 15, 231-237.
- Realini, C. E., Pérez-Juan, M., Gou, P., Díaz, I., Sárraga, C., Gatellier, P., and García-Regueiro, J. A. (2013). Characterization of *Longissimus thoracis*, *Semitendinosus* and *Masseter* muscles and relationships with technological quality in pigs. 2. Composition of muscles. *Meat Science*, 94(3), 417-423.
- Reboredo, G. R., Gutiérrez, A. M., Piergiacomini, V. A., Zeinsteger, P. A., and Palacios, A. (2010). Resistencia a la peroxidación lipídica en organelas de ovario e hígado de gallinas ponedoras Brown Nick jóvenes. *Revista Veterinaria*, 21(2), 86-92.
- Reyes-Caudillo, E., Tecante, A., and Valdivia-Lopez, M. A. (2008). Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Food chemistry*, 107(2), 656-663.
- Reyna, G., Gonazles Ch, C., Valenzuela, B., Villanueva, E., and Elena, M. (2016). Effect of purple corn extract on gene expression of *srebp-1*, *Delta 5d* y *Delta 6d* in mammary gland of nursing rats supplemented with chia oil (*Salvia Hispanica* L.). *Revista Chilena de Nutrición*, 43(3), 296-302.
- Reyna, S., Valenzuela, R., and Villanueva, M. E. (2018). Acción de flavonoides sobre la conversión de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga a partir de ácidos grasos esenciales. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(2), 153-162.
- Rietjens, S. J., Bast, A., and Haenen, G. R. (2007). New insights into controversies on the antioxidant potential of the olive oil antioxidant hydroxytyrosol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(18), 7609-7614.
- Roberfroid, M. B. (2000). A European consensus of scientific concepts of functional foods. *Nutrition*, 7(16), 689-691.
- Robles-Almazan, M., Pulido-Moran, M., Moreno-Fernandez, J., Ramirez-Tortosa, C., Rodriguez-Garcia, C., Quiles, J. L., and Ramirez-Tortosa, M. (2018). Hydroxytyrosol: Bioavailability, toxicity, and clinical applications. *Food Research International*, 105, 654-667.
- Rodríguez Perón, J. M., Menéndez López, J. R., and Trujillo López, Y. (2001). Radicales libres en la biomedicina y estrés oxidativo. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 30(1), 15-20.
- Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Donzele, J.L., Gomes, P.C., de Oliveira, R.F., Lopes, D.C., Ferreira, A.S., Barreto, S.L.T., Euclides, R.F. (2011). Brazilian Tables for

- Poultry and Swine: Composition of Feedstuffs and Nutritional Requirements, 3rd ed. UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brazil. 2011, 252 p.
- Rubio-Senent, F., de Roos, B., Duthie, G., Fernández-Bolaños, J., and Rodríguez-Gutiérrez, G. (2015). Inhibitory and synergistic effects of natural olive phenols on human platelet aggregation and lipid peroxidation of microsomes from vitamin E-deficient rats. *European Journal of Nutrition*, 54, 1287-1295.
- Ruiz-Núñez, B., Dijck-Brouwer, D. J., and Muskiet, F. A. (2016). The relation of saturated fatty acids with low-grade inflammation and cardiovascular disease. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 36, 1-20.
- Saadatmand, N., Toghyani, M., and Gheisari, A. (2019). Effects of dietary fiber and threonine on performance, intestinal morphology and immune responses in broiler chickens. *Animal Nutrition*, 5(3), 248-255.
- Saadoun, A., and Cabrera, M. C. (2008). A review of the nutritional content and technological parameters of indigenous sources of meat in South America. *Meat Science*, 80(3), 570-581.
- Sabino, M., Cappelli, K., Capomaccio, S., Pascucci, L., Biasato, I., Verini-Supplizi, A., Valiani, A., and Trabalza-Marinucci, M. (2018). Dietary supplementation with olive mill wastewaters induces modifications on chicken jejunum epithelial cell transcriptome and modulates jejunum morphology. *BMC genomics*, 19, 1-14.
- Sadeghi, A. A., Mirmohseni, M., Shawrang, P., and Aminafshar, M. (2013). The effect of soy oil addition to the diet of broiler chicks on the immune response. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 37(3), 264-270.
- Sadeghi, A., Toghyani, M., and Gheisari, A. (2015). Effect of various fiber types and choice feeding of fiber on performance, gut development, humoral immunity, and fiber preference in broiler chicks. *Poultry Science*, 94(11), 2734-2743.
- Sadh, P. K., Duhan, S., and Duhan, J. S. (2018). Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresources and bioprocessing*, 5(1), 1-15.
- Sahito, H. A., Soomro, R. N., Memon, A., Abro, M. R., Ujjan, N. A., & Rahman, A. (2012). Effect of fat supplementation on the growth, body temperature and blood cholesterol level of broiler. *Global Advanced Research Journal of Chemistry and Material Science*, 1(2), 023-034.
- Salazar-Vega, M. I., Rosado-Rubio, J. G., Chel-Guerrero, L. A., Betancur-Ancona, D. A., and Castellanos-Ruelas, A. F. (2009). Composición en ácido graso alfa linolénico (w3) en huevo y carne de aves empleando chia (*Salvia hispanica* L.) en el alimento. *Interciencia*, 34(3), 209-213.
- Saleh, A., and Alzawqari, M. (2021). Effects of replacing yellow corn with olive cake meal on growth performance, plasma lipid profile, and muscle fatty acid content in broilers. *Animals*, 11(8), 2240.

- Saleh, H., Rahimi, S. H., and Karimi, T. M. (2009). The effect of diet that contained fish oil on performance, serum parameters, the immune system and the fatty acid composition of meat in broilers. *International Journal of Veterinary Research*, 3(2), 69-75.
- Salerno, C., Pessini Moran J., Fernández, H., Amela, M. I., Alvarado, M. y Schmidt, S. (2018). Impacto de los aditivos: harina de chía e hidroxitirosol, en la microflora intestinal de pollos parrilleros. En *Actas 41° Congreso Argentino de Producción Animal*. Mar del Plata. Disponible en: <http://www.aapa.org.ar/>
- Sarıca, Ş., and Ürkmez, D. (2016). The use of grape seed-, olive leaf-and pomegranate peel-extracts as alternative natural antimicrobial feed additives in broiler diets. *European Poultry Science/Archiv für Geflügelkunde*, 80(121).
- Sateri, S., Seidavi, A., Bouyeh, M., Kutzler, M., Neumann, P., Laudadio, V., Loperfido, F., and Tufarelli, V. (2017). Effect of olive meal and supplemental enzymes on performance traits, blood biochemistry, humoral immunity response and caecal microbiota of broilers. *South African Journal of Animal Science*, 47(6), 804-812.
- Sayehban, P., Seidavi, A., Dadashbeiki, M., Ghorbani, A., de Araújo, W. A. G., Durazzo, A., Lucarini, M., Gabrielli, P., Omri, B., Teixeira Albino, L., Souto, E and Santini, A. (2020). Olive pulp and exogenous enzymes feed supplementation effect on the carcass and offal in broilers: a preliminary study. *Agriculture*, 10(8), 359.
- Scalise, J. (2014). Caracterización y diagnóstico de la cadena de valor de la Chía en la Argentina. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/procanor-caracterizacion-diagnostico-de-la-cadena-de-valor-de-la-chia-en-argentina.pdf>
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). (2015). Manual de bienestar animal. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/bienestar_animal.pdf
- Shafey, T. M., Al-Ruqaei, I. M., and Almufarij, S. I. (2013). Effect of feeding olive leaves extract (Oleuropein) on the performance, nutrient utilization, small intestine and carcass characteristics of broiler chickens. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 12(6), 740-746.
- Shan, C., and Miao, F. (2022). Immunomodulatory and antioxidant effects of hydroxytyrosol in cyclophosphamide-induced immunosuppressed broilers. *Poultry Science*, 101(1), 101516.
- Sharma, R., Ahlawat, S., Aggarwal, R. A. K., Dua, A., Sharma, V., and Tania, M. S. (2018). Comparative milk metabolite profiling for exploring superiority of indigenous Indian cow milk over exotic and crossbred counterparts. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 4232-4243.
- Shehata, A. A., Yalçın, S., Latorre, J. D., Basiouni, S., Attia, Y. A., Abd El-Wahab, A., Visscher, C., El-Seedi, H., Huber, C., Hafez, H.M., Eisenreich, W., and Tellez-Isaías, G. (2022). Probiotics, prebiotics, and phytochemical substances for optimizing gut health in poultry. *Microorganisms*, 10(2), 395.

- Shen, Q. W., and Du, M. (2005). Effects of dietary α -lipoic acid on glycolysis of postmortem muscle. *Meat Science*, 71(2), 306-311.
- Shen, Q. W., Jones, C. S., Kalchayanand, N., Zhu, M. J., and Du, M. (2005). Effect of dietary α -lipoic acid on growth, body composition, muscle pH, and AMP-activated protein kinase phosphorylation in mice. *Journal of animal science*, 83(11), 2611-2617.
- Shen, Q. W., Underwood, K. R., Means, W. J., McCormick, R. J., and Du, M. (2007). The halothane gene, energy metabolism, adenosine monophosphate-activated protein kinase, and glycolysis in postmortem pig longissimus dorsi muscle. *Journal of Animal Science*, 85(4), 1054-1061.
- Siddiqui, R. A., Shaikh, S. R., Sech, L. A., Yount, H. R., Stillwell, W., and Zaloga, G. P. (2004). Omega 3-fatty acids: health benefits and cellular mechanisms of action. *Mini reviews in medicinal chemistry*, 4(8), 859-871. <https://doi.org/10.2174/1389557043403431>
- Siegel-Causey, D. (1990). On Use of Size of the Bursa of Fabricius as an Index of Age and Development (El Uso del Tamaño de la Bolsa de Fabricio como Índice de Desarrollo y Edad). *Journal of Field Ornithology*, 61(4), 441-444.
- Simopoulos, A. P. (1991). Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *The American journal of clinical nutrition*, 54(3), 438-463.
- Simopoulos, A. P. (2008). The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Experimental Biology and Medicine*, 233(6), 674-688.
- Simopoulos, A. P. (2016). An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity. *Nutrients*, 8(3), 128-145.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., and Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In L. Packer (Ed) *Methods in Enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press (ed). Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Smet, K., Raes, K., Huyghebaert, G., Haak, L., Arnouts, S., and De Smet, S. (2008). Lipid and protein oxidation of broiler meat as influenced by dietary natural antioxidant supplementation. *Poultry Science*, 87(8), 1682-1688.
- Smink, W., Verstegen, M. W. A., and Gerrits, W. J. J. (2013). Effect of intake of linoleic acid and α -linolenic acid levels on conversion into long-chain polyunsaturated fatty acids in backfat and in intramuscular fat of growing pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97(3), 558-565.
- Sokoła-Wysoczańska, E., Wysoczański, T., Wagner, J., Czyż, K., Bodkowski, R., Lochyński, S., and Patkowska-Sokoła, B. (2018). Polyunsaturated fatty acids and their potential therapeutic role in cardiovascular system disorders—a review. *Nutrients*, 10(10), 1561.
- Stanley, D., Geier, M. S., Hughes, R. J., Denman, S. E., and Moore, R. J. (2013). Highly variable microbiota development in the chicken gastrointestinal tract. *PloS ONE*, 8(12), e84290. <http://doi:10.1371/journal.pone.0084290>.

- Stark, A. H., Crawford, M. A., and Reifen, R. (2008). Update on alpha-linolenic acid. *Nutrition Reviews*, 66(6), 326-332. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2008.00040.x>
- Stefaniak, O., Dobrzyńska, M., Drzymała-Czyż, S., and Przysławski, J. (2022). Diet in the prevention of Alzheimer's disease: current knowledge and future research requirements. *Nutrients*, 14(21), 4564.
- Suchý, P., Jelínek, P., Straková, E., and Hucl, J. (2002). Chemical composition of muscles of hybrid broiler chickens during prolonged feeding. *Czech Journal of Animal Science*, 47(12), 511-518.
- Sujiwo, J., Kim, D., and Jang, A. (2018). Relation among quality traits of chicken breast meat during cold storage: correlations between freshness traits and torrymeter values. *Poultry science*, 97(8), 2887-2894.
- Suman, S. P., and Joseph, P. (2013). Myoglobin chemistry and meat color. *Annual Review of Food Science and Technology*, 4(1), 79-99.
- Surai, P. F., Kochish, I. I., Fisinin, V. I., and Kidd, M. T. (2019). Antioxidant defence systems and oxidative stress in poultry biology: An update. *Antioxidants*, 8(7), 235.
- Tabook, N. M., Kadim, I. T., Mahgoub, O., and Al-Marzooqi, W. (2006). The effect of date fibre supplemented with an exogenous enzyme on the performance and meat quality of broiler chickens. *British Poultry Science*, 47(1), 73-82.
- Tarladgis, B. G., Watts, B. M., Younathan, M. T., and Dugan Jr, L. (1960). A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 37(1), 44-48.
- Taşdelen, E. Ö., and Ceylan, N. (2017). Effects of dietary inclusion of oil sources with or without vitamin E on body composition and meat oxidation level in broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 19, 103-116.
- Thanabalan, A., and Kiarie, E. G. (2022). Body weight, organ development and jejunal histomorphology in broiler breeder pullets fed n-3 fatty acids enriched diets from hatch through to 22 weeks of age. *Poultry Science*, 101(1), 101514.
- Tejeda, O. J., and Kim, W. K. (2021). Role of dietary fiber in poultry nutrition. *Animals*, 11(2), 461.
- Tellez, G., Higgins, S. E., Donoghue, A. M., and Hargis, B. M. (2006). Digestive physiology and the role of microorganisms. *Journal of Applied Poultry Research*, 15(1), 136-144.
- Temprado, R. M. (2005). Calidad de la carne de pollo. *Selecciones avícolas*, 47(7), 423-430.
- Terevinto, A., del Puerto, M., da Silva, A., Cabrera, M. C., and Saadoun, A. (2023). Effect of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) inclusion in poultry diet on n-3 enrichment and oxidative status of meat during retail display. *CyTA-Journal of Food*, 21(1), 93-100.

- Thirumalaisamy, G., Muralidharan, J., Senthilkumar, S., Hema Sayee, R., and Priyadharsini, M. (2016). Cost-effective feeding of poultry. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 5(6), 3997-4005.
- Toghyani, M., Toghyani, M., Gheisari, A., Ghalamkari, G., and Eghbalsaied, S. (2011). Evaluation of cinnamon and garlic as antibiotic growth promoter substitutions on performance, immune responses, serum biochemical and haematological parameters in broiler chicks. *Livestock Science*, 138(1-3), 167-173.
- Tomás-Barberán, F. (2003). Los polifenoles de los alimentos y la salud. *Alimentación Nutrición y Salud*, 10(2), 41-53.
- Tomažin, U., Frankič, T., Voljč, M., Rezar, V., Levart, A., and Salobir, J. (2013). The potency of α - and γ -tocopherol, and their combination, in reducing dietary induced oxidative stress in vivo and improving meat lipid stability in broilers. *Archiv für Geflügelkunde*, 77, 266-274.
- Tripoli, E., Giammanco, M., Tabacchi, G., Di Majo, D., Giammanco, S., and La Guardia, M. (2005). The phenolic compounds of olive oil: structure, biological activity and beneficial effects on human health. *Nutrition Research Reviews*, 18(1), 98-112.
- Tuck, K. L., and Hayball, P. J. (2002). Major phenolic compounds in olive oil: metabolism and health effects. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 13(11), 636-644.
- Tufarelli, V., Laudadio, V., and Casalino, E. (2016). An extra-virgin olive oil rich in polyphenolic compounds has antioxidant effects in meat-type broiler chickens. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 6197-6204.
- Tufarelli, V., Passantino, L., Zupa, R., Crupi, P., and Laudadio, V. (2022). Suitability of dried olive pulp in slow-growing broilers: Performance, meat quality, oxidation products, and intestinal mucosa features. *Poultry Science*, 101(12), 102230.
- Tvrzicka, E., Kremmyda, L. S., Stankova, B., and Zak, A. (2011). Fatty acids as biocompounds: their role in human metabolism, health and disease-a review. part 1: classification, dietary sources and biological functions. *Biomedical Papers of the Medical Faculty of Palacky University in Olomouc*, 155(2).
- Ulbricht, T. L. V., and Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, 338(8773), 985-992.
- Valencia-Avilés, E., Ignacio-Figueroa, I., Sosa-Martínez, E., Bartolomé-Camacho, M. C., Martínez-Flores, H. E., and García-Pérez, M. E. (2017). Polifenoles: propiedades antioxidantes y toxicológicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, (16), 15-29.
- Valenzuela, R., Echeverria, F., Ortiz, M., Rincón-Cervera, M. Á., Espinosa, A., Hernandez-Rodas, M. C., Illesca, P., Valenzuela, A., and Videla, L. A. (2017). Hydroxytyrosol prevents reduction in liver activity of Δ -5 and Δ -6 desaturases, oxidative stress, and depletion in long chain polyunsaturated fatty acid content in different tissues of high-fat diet fed mice. *Lipids in Health and Disease*, 16, 1-16.

- Van Laack, R. L. J. M., Liu, C. H., Smith, M. O., and Loveday, H. D. (2000). Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poultry Science*, 79(7), 1057-1061.
- Vidal, R., Hernandez-Vallejo, S., Pauquai, T., Texier, O., Rousset, M., Chambaz, J., Demignot, S., and Lacorte, J. M. (2005). Apple procyanidins decrease cholesterol esterification and lipoprotein secretion in Caco-2/TC7 enterocytes. *Journal of Lipid Research*, 46(2), 258-268.
- Visioli, F., and Galli, C. (1998). The effect of minor constituents of olive oil on cardiovascular disease: new findings. *Nutrition Reviews*, 56(5), 142-147.
- Vissers, M. N., Zock, P. L., Roodenburg, A. J., Leenen, R., and Katan, M. B. (2002). Olive oil phenols are absorbed in humans. *The Journal of Nutrition*, 132(3), 409-417.
- Viveros, A., Chamorro, S., Pizarro, M., Arija, I., Centeno, C., and Brenes, A. (2011). Effects of dietary polyphenol-rich grape products on intestinal microflora and gut morphology in broiler chicks. *Poultry science*, 90(3), 566-578.
- Vlaicu, P. A., Untea, A. E., Turcu, R. P., Saracila, M., Panaite, T. D., and Cornescu, G. M. (2022). Nutritional composition and bioactive compounds of basil, thyme and sage plant additives and their functionality on broiler thigh meat quality. *Foods*, 11(8), 1105.
- Vlaicu, P. A., Untea, A. E., Varzaru, I., Saracila, M., and Oancea, A. G. (2023). Designing nutrition for health—Incorporating dietary by-products into poultry feeds to create functional foods with insights into health benefits, risks, bioactive compounds, food component functionality and safety regulations. *Foods*, 12(21), 4001.
- Volpato, M., and Hull, M. A. (2018). Omega-3 polyunsaturated fatty acids as adjuvant therapy of colorectal cancer. *Cancer and Metastasis Reviews*, 37, 545-555.
- Wang, L., Piao, X. L., Kim, S. W., Piao, X. S., Shen, Y. B., and Lee, H. S. (2008). Effects of *Forsythia suspensa* extract on growth performance, nutrient digestibility, and antioxidant activities in broiler chickens under high ambient temperature. *Poultry Science*, 87(7), 1287-1294.
- Wang, Y. W., Field, C. J., and Sim, J. S. (2000). Dietary polyunsaturated fatty acids alter lymphocyte subset proportion and proliferation, serum immunoglobulin G concentration, and immune tissue development in chicks. *Poultry science*, 79(12), 1741–1748.
- Wei, Y. H., Kao, S. H., and Lee, H. C. (1996). Simultaneous increase of mitochondrial DNA deletions and lipid peroxidation in human aging. *Annals of the New York Academy of Sciences-Paper Edition*, 786, 24-43.
- WHO, A. (2023). World Health Statistics 2023: monitoring health for the SDGs sustainable development goals. World Health Organization. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240074323>

- Wideman, N., O'bryan, C. A., and Crandall, P. G. (2016). Factors affecting poultry meat colour and consumer preferences-A review. *World's Poultry Science Journal*, 72(2), 353-366.
- Williams, B. A., Grant, L. J., Gidley, M. J., and Mikkelsen, D. (2017). Gut fermentation of dietary fibres: physico-chemistry of plant cell walls and implications for health. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(10), 2203.
- Xia, Z. G., Guo, Y. M., Chen, S. Y., and Yuan, J. M. (2003). Effects of dietary polyunsaturated fatty acids on antibody production and lymphocyte proliferation of laying hens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 16(9), 1320-1325.
- Xie, P., Cecchi, L., Bellumori, M., Balli, D., Giovannelli, L., Huang, L., and Mulinacci, N. (2021). Phenolic compounds and triterpenes in different olive tissues and olive oil by-products, and cytotoxicity on human colorectal cancer cells: The case of frantoio, moraiolo and leccino cultivars (*Olea europaea* L.). *Foods*, 10(11), 2823.
- Xie, P., Deng, Y., Huang, L., and Zhang, C. (2022). Effect of olive leaf (*Olea europaea* L.) extract addition to broiler diets on the growth performance, breast meat quality, antioxidant capacity and caecal bacterial populations. *Italian Journal of Animal Science*, 21(1), 1246-1258.
- Xiong, Y., Dong, S., Zhao, X., Guo, K. J., Gasco, L., and Zoccarato, I. (2016). Gene expressions and metabolomic research on the effects of polyphenols from the involucre of *Castanea mollissima* Blume on heat-stressed broilers chicks. *Poultry Science*, 95(8), 1869-1880.
- Xu, E., Chen, C., Fu, J., Zhu, L., Shu, J., Jin, M., Wang, Y., and Zong, X. (2021). Dietary fatty acids in gut health: Absorption, metabolism and function. *Animal Nutrition*, 7(4), 1337-1344.
- Yaghobfar, A., and Kalantar, M. (2017). Effect of non-starch polysaccharide (NSP) of wheat and barley supplemented with exogenous enzyme blend on growth performance, gut microbial, pancreatic enzyme activities, expression of glucose transporter (SGLT1) and mucin producer (MUC2) genes of broiler chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 19, 629-638.
- Yau, J. C., Denton, J. H., Bailey, C. A., and Sams, A. R. (1991). Customizing the fatty acid content of broiler tissues. *Poultry Science*, 70(1), 167-172.
- Yee, W. L., Wang, Q., Agdinaoy, T., Dang, K. O., Chang, H., Grandinetti, A., Franke, A., and Theriault, A. (2002). Green tea catechins decrease apolipoprotein B-100 secretion from HepG2 cells. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 229(1-2), 85-92.
- Younan, G. E., Mohamed, M. S., and Morsy, W. A. (2018). Effect of dietary supplementation of olive leaf extract on productive performance, blood parameters and carcass traits of growing rabbits. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 22(1), 173-182.

- Yu, B., Tsai, C. C., Hsu, J. C., and Chiou, P. S. (1998). Effect of different sources of dietary fibre on growth performance, intestinal morphology and caecal carbohydrases of domestic geese. *British Poultry Science*, 39(4), 560-567.
- Yu, H. H., Chin, Y. W., and Paik, H. D. (2021). Application of natural preservatives for meat and meat products against food-borne pathogens and spoilage bacteria: A review. *Foods*, 10(10), 2418.
- Zanini, S. F., Colnago, G. L., Bastos, M. R., Pessotti, B. M. S., Casagrande, F. P., and Lima, V. R. (2006). Oxidative stability and total lipids on thigh and breast meat of broilers fed diets with two fat sources and supplemented with conjugated linoleic acid. *LWT-Food Science and Technology*, 39(7), 717-723.
- Zhang, Z. F., Zhou, T. X., and Kim, I. H. (2013). Effects of dietary olive oil on growth performance, carcass parameters, serum characteristics, and fatty acid composition of breast and drumstick meat in broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(3), 416-422.
- Zajac, M., Kiczorowska, B., Samolińska, W., Kowalczyk-Pecka, D., Andrejko, D., and Kiczorowski, P. (2021). Effect of inclusion of micronized camelina, sunflower, and flax seeds in the broiler chicken diet on performance productivity, nutrient utilization, and intestinal microbial populations. *Poultry Science*, 100(7), 101118.
- Zmijewski, J. W., Landar, A., Watanabe, N., Dickinson, D. A., Noguchi, N., and Darley-Usmar, V. M. (2005). Cell signalling by oxidized lipids and the role of reactive oxygen species in the endothelium. *Biochemical Society Transactions*, 33(6), 1385-1389.

10. ANEXO

ANEXO I. Primer artículo

Publicado en: Archivos de Zootecnia. 2022. 71(276), 250-260

Publicado on-line: 15.10.2022

SJR: Q4

DOI: <http://dx.doi.org/10.21071/az.v71i276.5689>



Archivos de Zootecnia

Journal website: <https://www.uco.es/ucopress/az/index.php/az/>

Impact of chia meal and hydroxytyrosol on the nutritional quality of broiler chicken meat

Fernández, H.T.^{1*}; Echevarría, G.¹; Saadoun, A.^{2,3} and Cabrera, M.C.^{2,3}

¹ Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina.

² Facultad de Ciencias. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.

³ Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.

ADDITIONAL KEYWORDS

Broiler.
Antioxidant.
Omega n-3.
Fatty acid profile.
Health indices.

SUMMARY

In poultry production, the composition of the diet directly influences the meat quality of birds. The present research deals with the effect of the addition in the diet of two byproducts, chia meal and/or hydroxytyrosol, on lipid content, fatty acids profile, lipids indices and enzymes activity and lipid oxidation in the breast. Ninety-six broiler chicks were randomly divided into 16 groups of 6 animals, which were distributed in 4 blocks. In each block experimental treatments were randomly allocated 1) C: control; 2) CM: 10% chia meal; 3) CM+HT: 10% chia meal + hydroxytyrosol and 4) HT: hydroxytyrosol. The experimental period lasted from day 22 to day 46, at which the slaughter was carried out and breast samples were obtained. The dietary chia meal increased total PUFA, total n-3 PUFA, α -linolenic, n-3 PUFA:LC (EPA, DPA, DHA), PUFA/SFA, UI and reduced the n-6/n-3, LA/ALA, thrombogenicity index and TFA, although worsened lipid peroxidation. However, the addition of hydroxytyrosol and its combination with chia meal increased α -linolenic levels and decreases the lipid oxidation value of the breast, exhibiting its action as an antioxidant. Therefore, the results outline the potential effect of chia meal combined with hydroxytyrosol, in the modification of the composition of fatty acids and their oxidative stability in chicken breast, thereby resulting in meat with higher nutritional quality for human health.

ANEXO II. Segundo artículo

Publicado en: Chilean Journal of Agricultural and Animal Science
2024. 40(2):195-201

Publicado on-line: 30.08.2024

SJR: Q4

DOI: <https://doi.org/10.29393/CHJAAS40-22DCHM60022>



Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia (2024) 40(2): 251-265.
<https://doi.org/10.29393/CHJAAS40-22DCHM60022>

251

ISSN 0719-3890 online

DIETARY CHIA MEAL AND HYDROXYTYROSOL OUTCOMES IN BROILER PERFORMANCE, LIPID BLOOD SERUM PARAMETERS AND MEAT QUALITY

Hebe Fernández^{1a,*}, Victoria Fernández Etchegaray^{1b,1}, Rocío Torracca Argüelles^{1c,1}, Claudia de Abreu Rosas^{1d}, Ali Saadoun^{4a,2a}, and María Cristina Cabrera^{4b,2b}

^{1a} Unidad de Experimentación Avícola (UEA), Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-0856-7055>

^{1b} Unidad de Experimentación Avícola (UEA), Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-4609-5538>

^{1c} Unidad de Experimentación Avícola (UEA), Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina
<https://orcid.org/0009-0005-0390-0631>

^{1d} Unidad de Experimentación Avícola (UEA), Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina
<http://orcid.org/0009-0004-8876-3797>

² Laboratorio de Estudios Apícolas (LabEA-CIC), Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina

^{4a} Laboratorio de Fisiología y Nutrición, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay
<https://orcid.org/0000-0003-2251-6748>

^{4b} Laboratorio de Fisiología y Nutrición, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay
<https://orcid.org/0000-0002-7964-6669>

^{2a} Laboratorio de Nutrición, Calidad de Alimentos y Productos, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

^{2b} Laboratorio de Nutrición, Calidad de Alimentos y Productos, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

* Corresponding author: hfernandez@criba.edu.ar

ABSTRACT

In poultry production, diet is an essential factor that must be considered to achieve optimal animal growth, directly influencing carcass characteristics and broiler health. The present research evaluated the effect of the addition in the diet of two by-products, chia meal and/or hydroxytyrosol, on broiler growth performance, serum metabolites, technological meat quality and color of the breast. Ninety-six broiler chicks were randomly assigned to 16 groups of 6 animals, randomly placed in 1 x 1 m pens, which were distributed in 4 blocks. In each block, experimental treatments were randomly assigned: 1) C: control; 2) CM: 10% chia meal; 3) CM+HT: 10% chia meal + hydroxytyrosol; and 4) HT: hydroxytyrosol. The inclusion of hydroxytyrosol improved carcass and breast yield ($P<0.05$). Dietary chia meal addition may induce growth depression and higher organ weight ($P<0.05$). Broilers fed