



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

Enriquecimiento de la carne de ave con ácidos grasos poliinsaturados de la serie n-3 utilizando ingeniería nutricional

Ayrton da Silva

Diciembre / 2021

Enriquecimiento de la carne de ave con ácidos grasos poliinsaturados de la serie n-3 utilizando ingeniería nutricional

Autor de la Tesis: Ayrton da Silva Fernandez (adasilva@fagro.edu.uy)

Director/a de la tesis: Dr: Ali Saadoun (asaadoun@fcien.edu.uy), Dra: Cristina Cabrera (mcab@fagro.edu.uy).

Resumen

En este trabajo se enriqueció la carne de ave con ácidos grasos n-3, incorporando niveles crecientes de semillas de chía en la dieta de las aves. Se criaron 96 pollos machos Ross, 24 por tratamiento, los cuales fueron alimentados con una de las siguientes dietas: dieta control maíz-soja y 0%; 2,5%; 5% y 10% de semillas de chía durante los 21 - 49 días de edad. Se determinó peso vivo a la faena, ganancia de peso, consumo y la eficiencia de conversión. A las 24 horas post sacrificio se extrajeron los músculos *Pectoralis major*, *Gastrocnemius* e *Ileotibialis lateralis*. Se determinó pH_u, color (L*,a*,b*), pérdida de agua. Las muestras se envasaron al vacío y se congelaron hasta su análisis. Los lípidos se extrajeron por Folch (carne) o Soxhlet (chía y alimento), se metilaron y cuantificaron los ácidos grasos por cromatografía de gases (Clarus 500, columna CPsil-88). Los datos se analizaron por ANOVA GLM (NCSS 12), para dieta y músculo. La inclusión de chía en la dieta de las aves afectó el consumo y la conversión, no el peso vivo ni la ganancia de peso, ni el pH_u ó la pérdida de agua. El color L* no varió, si a* y b*, disminuyendo con la inclusión de chía. La chía produce un aumento significativo y creciente de ácido α -linolénico, EPA, DPA y DHA, en la medida que se incrementa el nivel de chía en la dieta. Mejora la relación n-6 / n-3, y la Σ AGPI, en todos los músculos, produciendo una carne baja en lípidos. Por lo tanto se concluye que con una precisa ingeniería nutricional se diseñó una carne de ave rica en ácidos grasos poliinsaturados de alto beneficio para la salud cardiovascular del consumidor.

Palabras claves: Chía, carne de ave, EPA, DHA, índices lipídicos

Summary

In this work, poultry meat was enriched with n-3 fatty acids, incorporating increasing levels of chia seeds in the poultry diet. 96 male Ross chickens were raised, 24 per treatment, which were fed one of the following diets: corn-soybean control diet and 0%; 2.5%; 5% and 10% of chia seeds during 21 - 49 days of age. Live weight at slaughter, weight gain, consumption and conversion efficiency were determined. At 24 hours post sacrifice, the Pectoralis major, Gastrocnemius and Iliotibialis lateralis muscles were extracted. pH, color (L^* , a^* , b^*), water loss were determined. The samples were vacuum packed and frozen until analysis. Lipids were extracted by Folch (meat) or Soxhlet (chia and feed), fatty acids were methylated and quantified by gas chromatography (Clarus 500, CPsil-88 column). Data were analyzed by GLM ANOVA (NCSS 12), for diet and muscle. The inclusion of chia in the birds' diet affected consumption and conversion, not live weight, weight gain, pH, or water loss. The L^* color did not change, if a^* and b^* , decreasing with the inclusion of chia. Chia produces a significant and increasing increase in α -linolenic acid, EPA, DPA and DHA, as the level of chia in the diet increases. Improves the n-6 / n-3 ratio, and the \sum AGPI, in all muscles, producing low-lipid meat. Therefore, it is concluded that with a precise nutritional engineering a poultry meat rich in polyunsaturated fatty acids of high cardiovascular health benefit for the consumer was designed.

Key words: Chia, chickens, EPA, DHA, lipids indices

Agradecimientos.

A mi tutor Dr. Ali Saadoun y a mi co-tutora Dra. Cristina Cabrera por darme la oportunidad de llevar a cabo en conjunto este proyecto. Por su dedicación y apoyo que con mucha nobleza me guiaron y ofrecieron su tiempo en las instancias de trabajo.

A mis compañeros/as del laboratorio, Dra. Alejandra Terevinto, Dra. Marta del Puerto, Ing. Roberto Olivero, Florencia Pirotti, Carmen y Pablo.

A la profesora Dra. Andrea Alvarez por su colaboración en mi pasantía.

Al PEDECIBA por darme la oportunidad y aceptación en su programa.

A Milagros y familia, un especial agradecimiento.

A mis amigos/as, mi familia y eterno agradecimiento a mi papá.

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
PRESENTACIÓN.....	II
RESUMEN.....	III
SUMMARY.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
<u>2.1 La carne de ave</u>	<u>2</u>
<u>2.2 Ácidos grasos, hábitos alimenticios y enfermedades relacionadas.</u>	<u>3</u>
2.2.1 Cambios evolutivos en nuestra dieta	3
2.2.2 Lípidos y ácidos grasos	4
2.2.3 Ácidos grasos y enfermedades cardiovasculares (ECV)	5
2.2.3.1 Ácidos grasos saturados y ECV	6
2.2.3.2 Ácidos grasos monoinsaturados y ECV	6
2.2.3.3 Ácidos grasos poliinsaturados y ECV	6
<u>2.2 La semilla de chía</u>	<u>11</u>
2.2.1 La semilla de Chía como alimento de los aztecas	11
2.2.2 La semilla de Chía como planta medicinal de los aztecas	11
2.2.3 Otros usos de la semilla de chía	11
<u>2.3 Utilización de la semilla de Chía en dietas para animales</u>	<u>12</u>
2.3.1 Huevos enriquecidos con ácidos grasos n-3	12
2.3.2 Carne de ave enriquecida con ácidos grasos n-3	12
<u>2.4 Composición nutricional de la carne de pollo</u>	<u>13</u>
2.4.1 Composición lipídica de la carne de pollo	14
2.4.2 Cambios en el perfil lipídico de la carne modulando la dieta	16
3. Hipótesis y objetivos	17

3.1 Hipótesis	17
3.2 Objetivo	17
3.3 Objetivos específicos	17
4. Materiales y Métodos	18
4.1 Animales	18
4.2 Dietas experimentales	18
4.3 Determinación de los parámetros de respuesta productiva animal	22
4.4 Músculos estudiados	22
4.5 Determinaciones <i>post mortem</i>	23
4.5.1 Determinación de pH en la carne fresca	23
4.5.2 Determinación del color en la carne fresca	23
4.5.3 Determinación de la pérdida de agua ó drip loss.	24
4.5.4 Determinación de lípidos y composición de ácidos grasos	24
4.5.5 Cálculo de índices lipídicos de salud	25
4.6 Análisis estadístico	26
5. Resultados y Discusión	26
5.1 Efecto de los tratamientos dietarios en la respuesta productiva animal	26
5.2 Efecto de los tratamientos dietarios en la calidad de la carne fresca	28
5.2.1 pH	28
5.2.2 Pérdida de agua	29
5.2.3 Color	30
5.3 Perfil de ácidos grasos	31
5.4 Índices de salud	38
5.5 Aporte nutricional de PUFA de la carne de ave enriquecida a la dieta humana	42
5.5.1 Aporte nutricional de n-6 a la dieta humana	43
5.5.2 Aporte nutricional de n-3 a la dieta humana	43

6. Conclusiones	49
7. Bibliografía	50
8. Anexos	58
<u>8.1 Anexo 1: Lista de cuadros y figuras</u>	<u>58</u>
8.1.1 Cuadros	58
8.1.2 Figuras	59
<u>8.2 Anexo 2: Publicaciones de resúmenes en congreso</u>	<u>60</u>
8.2.1 XIX Congreso Latinoamericano de Nutrición (SLAN) 2021	60
8.2.2 XII Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal (AUPA)	62

1. Introducción

A nivel mundial la producción y consumo de carne de ave se ha incrementado en las últimas décadas, siendo la fuente de proteína animal más consumida en el mundo seguida del cerdo. El perfil nutricional de la carne de ave presenta proteínas de alto valor biológico, vitaminas, minerales, tiene un bajo contenido en ácidos grasos saturados y aporta ácidos grasos mono y poliinsaturados. Además esta carne tiene un costo asequible y se enfrenta a pocas restricciones religiosas y culturales. Estas características la hacen interesante para usarla como medio de transferencia de nutrientes valiosos para la dieta humana, y en particular para asegurar la disponibilidad de ciertos nutrientes implicados en la salud de los consumidores.

Desde el área de la nutrición animal se trabaja con diversas estrategias nutricionales para modificar la composición de los productos de origen animal, esta investigación sigue una vía basada en el enriquecimiento de la carne de pollo alimentando a las aves con dietas conteniendo semillas de chía, que es rica en ácido graso α -linolénico y altamente disponible en nuestro continente. En la actualidad, los cambios en la dieta humana han revolucionado las áreas más importantes de la investigación nutricional, prestando central atención a las características de los diversos nutrientes que componen la dieta y su papel en la nutrición humana, principalmente de los ácidos grasos por estar relacionados en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares (ECV). Las ECV representan una de las principales causas de muerte en Uruguay y en el mundo (World Heart Federation, 2021).

Los consumidores cada vez más interesados sobre la importancia que tiene la alimentación en la salud, buscan alimentos funcionales que les aporten mayores ventajas para su bienestar, reconociendo que llevar un estilo de vida sano contribuye notablemente a reducir el riesgo de padecer enfermedades, y mantener un buen estado de salud. En este nuevo escenario diseñar alimentos naturales enriquecidos con ácidos grasos poliinsaturados de la serie n-3 puede ser una estrategia eficaz para mitigar el problema de las enfermedades cardiovasculares. Es una forma práctica de acercarse a una dieta equilibrada en ácidos grasos poliinsaturados y en particular los ácidos grasos de la serie n-3. Este es el principal objetivo de este trabajo de investigación realizado en el marco de la Tesis de Maestría.

2. Antecedentes

2.1 La carne de ave

El sector avícola sigue creciendo e industrializándose en muchos lugares del mundo debido a la demanda en carne aviar asociado al crecimiento demográfico, al aumento del poder adquisitivo de las personas y a los procesos de urbanización. Como se ha mencionado antes, la carne de ave se encuentra entre los alimentos de origen animal más consumidos en el mundo, en diferentes culturas, tradiciones y religiones. Desde la década del 60 el consumo de carne de ave se ha multiplicado y para enfrentar la creciente demanda, la producción avícola mundial se incrementó de 9 a 133,3 millones de toneladas entre 1961 y 2020 (FAO, 2021a). Hay una tendencia clara en el aumento, año tras año, del consumo de carne de ave en prácticamente todos los países y regiones. Gran parte de la expansión de la producción se produjo en China, Estados Unidos, Brasil, Sudáfrica y la Unión Europea. La producción de China para 2020 se situó en 22 millones de toneladas, un 5,3 por ciento más que en 2019, en Estados Unidos aumentó un 1,2 por ciento y en Brasil aumentó un 1,6 por ciento (FAO, 2021a).

En el comercio internacional las exportaciones mundiales de carne de pollo en 2020 están fijadas en 14 millones de toneladas, impulsadas principalmente por las importaciones de China. Este país aumentó las importaciones casi un 55 por ciento desde 2019, alcanzando un nivel récord de 2,2 millones de toneladas, provenientes de Brasil, Estados Unidos, Rusia, entre otros (FAO, 2021a).

Según la Perspectiva Agrícola de la OCDE-FAO 2021, el consumo de carne se ha desplazado hacia la carne de ave, los consumidores se sienten cada vez más atraídos por su precio más bajo en comparación con otras carnes, por su adaptabilidad a la hora de preparar y la perciben como una opción de alimentos más saludables por su bajo contenido en grasas saturadas.

La carne de ave seguirá siendo el principal impulsor del crecimiento de la producción de carne, y se prevé que el consumo de carne de ave aumente a nivel mundial a 152 millones de toneladas durante el período 2021-2030, lo que representa el 52% de la carne adicional consumida. Las robustas tasas de crecimiento esperadas en el consumo de esta carne

reflejan el importante papel que desempeña en la dieta de varios países (OCDE-FAO, 2021).

Su ciclo de producción corto, permite a los productores responder rápidamente a las señales del mercado al tiempo que permiten mejoras rápidas en la genética, la salud y la alimentación siendo aquí donde se trabaja para mejorar la calidad del producto.

La producción nacional de carne de ave en el año 2020 se mantuvo similar a la del año pasado, en el entorno de 70 mil toneladas. En nuestro país el consumo per cápita de carne de ave es el más bajo de la región, en 2019 el consumo promedio total de carne de todo tipo, por habitante, alcanzó a 87 kg/hab./año, del cual la carne de ave representó el 21% (Georga, 2020).

2.2 Ácidos grasos, hábitos alimenticios y enfermedades relacionadas.

2.2.1 Cambios evolutivos en nuestra dieta

En la evolución, el ser humano primero se alimentaba de lo que recogía, cazaba y pescaba, luego con la domesticación de las especies, de lo que criaba y cultivaba, y hoy en día la mayoría de las personas consumen lo que otros producen. Los principales cambios en el suministro y consumo de alimentos de los seres humanos tuvieron lugar durante la Revolución agrícola, donde disminuyó el consumo de productos animales y aumentó el de vegetales, y posterior a la Revolución industrial, donde la composición de los alimentos se transformó debido al fraccionamiento y procesamiento. Estos cambios conllevan a grandes modificaciones en la ingesta de lípidos (Simopoulos, 1998; Lichtenstein, 1999).

En la dieta paleolítica la mitad de los alimentos consumidos eran de origen vegetal, plantas silvestres y granos enteros y la otra mitad de origen animal provenientes de animales salvajes como el ciervo, el bisonte y el mamut. Además consumían miel y no existían los productos lácteos ni los aceites. La carne de los animales que consumían era rica en ácidos grasos poliinsaturados ya que los animales silvestres se alimentaban del pastoreo. De esta forma la dieta paleolítica tenía un mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados y un contenido de grasa total menor (Lichtenstein, 1999). A diferencia de la dieta occidental de la actualidad que se caracteriza por tener mayor contenido de

lípidos, grasa saturada, ácidos grasos trans industriales y ácidos grasos n-6, y una disminución de ácidos grasos n-3 (Eaton et al., 1998). Esto resulta en un desequilibrio en la relación de ácidos grasos n-6/n-3, cuya importancia será abordada en el próximo punto.

Como se mencionó anteriormente, la domesticación animal trajo consigo un cambio en la composición de los alimentos, estos animales tienen mayor contenido de grasas saturadas, menores niveles de ácidos grasos n-3 y una relación n-6/n-3 mayor que los animales salvajes. Esto se debe a que la alimentación animal cambió del pasto que proporcionaba una relación balanceada de ácidos grasos n-6/n-3, al grano, rico en n-6 (Crawford, 1968). Sin embargo, existen excepciones a este esquema de cría en algunos países que producen carne principalmente en base pastoril, y en donde la carne sigue teniendo un contenido importante de ácidos grasos poliinsaturados tanto de la serie n-6 como los de la serie n-3. Uruguay es uno de esos países y los resultados de investigación de nuestro grupo de investigación así lo demuestran (Cabrera y Saadoun, 2014, Terevinto 2017; Terevinto et al., 2019; Terevinto et al., 2020).

2.2.2 Lípidos y ácidos grasos

Los lípidos de la dieta se constituyen principalmente de triglicéridos y cantidades pequeñas de fosfolípidos, colesterol y otros esteroides. Los triglicéridos son moléculas de glicerol esterificadas con tres ácidos grasos, y son la forma en que nuestro cuerpo almacena los lípidos. Los ácidos grasos están formados por una cadena de átomos de carbono y se pueden clasificar por su extensión y su saturación. De acuerdo a la cantidad de átomos de carbonos se pueden clasificar en ácidos grasos de cadena corta (menos de 6 carbonos), de cadena media (6 a 10 carbonos) y de cadena larga (12 o más carbonos). De acuerdo a su saturación se dividen en tres grupos, los ácidos grasos saturados (SFA, *saturated acid fatty*), extremadamente estables por no poseer dobles enlaces en su estructura, los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA, *monounsaturated fatty acid*), con un doble enlace en su cadena y los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA, *polyunsaturated fatty acids*), con al menos dos dobles enlaces en su estructura que los hace muy sensibles a la oxidación. Estos últimos pueden ser sintetizados por los diferentes tejidos en el ser humano, con la condición de que cuenten en su dieta con dos ácidos grasos esenciales, el ácido linoleico y el ácido alfa-linolénico (Akoh y Min, 2002).

Las funciones de los ácidos grasos y sus metabolitos son las siguientes: en primer lugar son un reservorio de energía, también son los componentes principales de las membranas celulares y actúan como sustrato para la síntesis de mediadores fisiológicos que participan en varios procesos relacionados con el sistema nervioso central, funciones hormonales, mecanismos inmunológicos y reacciones inflamatorias (Akoh y Min, 2002).

2.2.3 Ácidos grasos y enfermedades cardiovasculares (ECV)

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son la principal causa de muerte y discapacidad de las personas en el Uruguay y en el mundo. Se estima que más de 17,9 millones de personas mueren al año en el mundo por causa de estas enfermedades (World Heart Federation, 2021). Para el 2030 se estima que 23,6 millones de personas morirán por año por causa de estas afecciones. En nuestro país constituyen aproximadamente un tercio de los fallecimientos anuales, para el año 2020 un 25,4 % de las muertes fueron causadas por este tipo de enfermedades (Comisión Honoraria para la Salud Cardiovascular, 2021).

Según la OMS, las ECV son un grupo de desórdenes del corazón y de los vasos sanguíneos entre los que se destacan, cardiopatías coronarias, enfermedades cerebrovasculares, aumento de la tensión arterial, vasculopatías periféricas, cardiopatías reumáticas y congénitas e insuficiencia cardíaca que provocan pérdida de calidad de vida por la prolongada evolución. Los ataques al corazón y los accidentes cerebro vasculares (ACV) se deben sobre todo a la aterosclerosis, obstrucciones de los vasos sanguíneos por depósitos de ácidos grasos que impiden que la sangre fluya hacia los órganos vitales como el corazón y el encéfalo. El ritmo de progresión de estas enfermedades influye sobre varios factores de riesgo algunos modificables y otros no modificables. Los modificables pueden ser la inactividad física, la presión arterial elevada, el consumo de tabaco, el colesterol, el sobrepeso y el régimen alimentario no saludable que conducen a la progresión de estas afecciones (World Heart Federation, 2021). Dentro de la dieta se puede afirmar que las características de los ácidos grasos ingeridos y su cantidad determinan la base fisiológica a partir de la cual comienzan a desarrollarse las ECV, estudiándose ampliamente la relación entre estas y los distintos tipos de ácidos grasos (Mahmood et al., 2014; Ruiz-Nuñez et al.,2016).

2.2.3.1 Ácidos grasos saturados y ECV

Los ácidos grasos saturados son los principales contribuyentes en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares en el ser humano. Sin embargo, no todos los SFA tienen el mismo efecto sobre el perfil lipídico y el riesgo de ECV (Gillman et al., 1997). Según un estudio realizado por Hu et al. (1999), se encontró que los SFA de cadena larga (12-18 carbonos) se asociaron con un riesgo mayor de ECV y los de cadena corta (4-6 carbonos) a media (8-10 carbonos) no modificaron el riesgo de ECV. Existen dos AGS que son los principales en promover el desarrollo de estas enfermedades, el ácido mirístico (C14:0) y el ácido palmítico (C16:0).

2.2.3.2 Ácidos grasos monoinsaturados y ECV

Los MUFA se consideran ácidos grasos benéficos ya que no promueven el desarrollo de las enfermedades cardiovasculares y son resistentes a la oxidación promoviendo la estabilidad oxidativa de los alimentos que los contienen. El consumo de estos ácidos grasos ha sido considerado como una forma de reducir la mala incidencia de los AGS (Aguilera et al., 2001).

2.2.3.3 Ácidos grasos poliinsaturados y ECV

La adecuada ingesta de estos nutrientes es esencial para cumplir funciones biológicas como componentes de los fosfolípidos de la membrana celular y en el metabolismo, la inflamación, la señalización celular y la regulación de la expresión génica. Los PUFA son un aporte importante de la dieta aportando aproximadamente un 7-10 % de la energía total proveniente de los alimentos (Cunnane, 2003).

Dentro de los PUFA encontramos dos grupos principales, los ácidos grasos n-3 y n-6. El precursor de los ácidos grasos n-3 es el ácido α -linolénico (C18:3, ALA) el cual vía desaturasas y elongasas se puede transformar en el ácido eicosapentaenoico (C20:5, EPA) y posteriormente en el ácido docosahexaenoico (C22:6, DHA). El precursor de los ácidos grasos n-6 es el ácido linoleico (C18:2, LA), el cual vía desaturación forma ácido gamma linolénico (C18:3, GLA) y posteriormente mediante elongación y desaturación forma el ácido araquidónico (C20:4, AA) (Cunnane, 2003). Los ácidos grasos LA y ALA son elongados y desaturados por el mismo sistema enzimático microsomal que los transforma en los ácidos grasos de cadena más larga y mayor insaturación. Las enzimas más

importantes en este proceso son la $\Delta 5$ -desaturasa y la $\Delta 6$ -desaturasa. La figura 1 muestra las rutas metabólicas de los ácidos grasos n-6 y n-3.

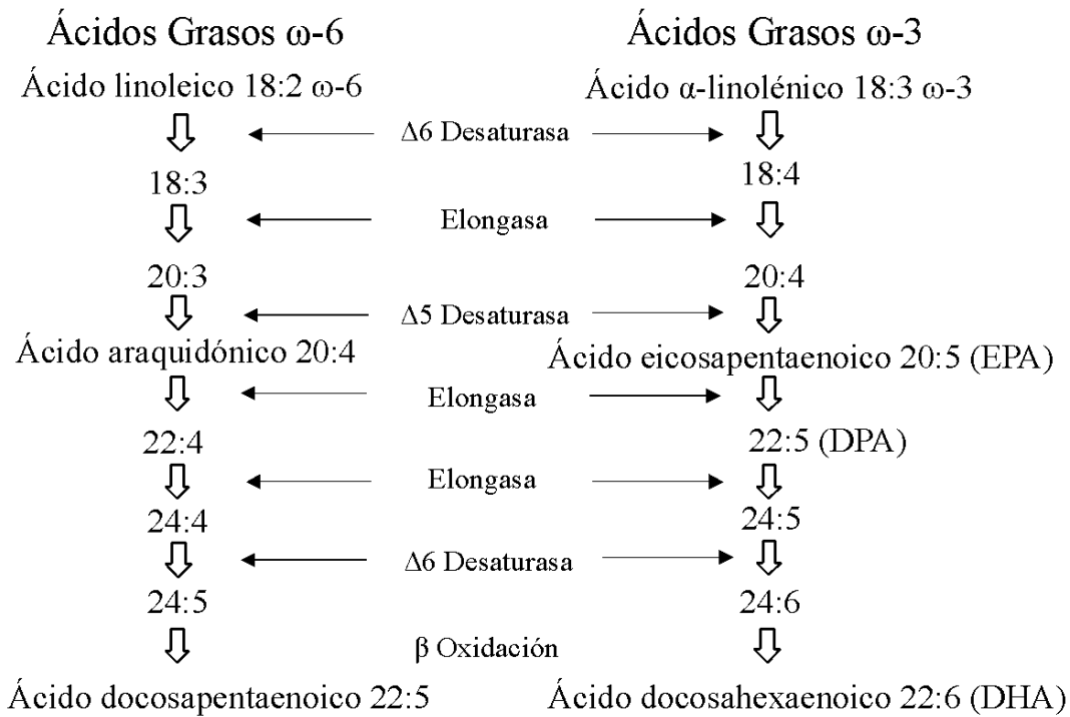


Figura 1. Metabolización de ácidos grasos poliinsaturados ω -6 y ω -3. Vías de desaturación y elongación de los ácidos linoleico y α -linolénico. Adaptado de Akoh y Min (2002).

La principal fuente de ácidos grasos n-3 de cadena larga son los organismos acuáticos. El EPA y el DHA se encuentran en los lípidos corporales de los pescados grasos como el salmón o la caballa, en el hígado de los pescados magros como el bacalao y en la grasa de los mamíferos marinos como focas y ballenas (Shahidi, 1998). También algunas algas son una fuente promisoría de EPA y DHA (Jakhwal et al., 2022). Mientras que la principal fuente de ácido α -linolénico son algunos alimentos de origen vegetal como las semillas de chía, lino y canola, los aceites derivados de las mismas y algunos frutos secos. El EPA y DHA se pueden sintetizar en el cuerpo humano utilizando ALA como precursor pero esta capacidad de síntesis se ve limitada por lo que necesitamos una ingesta adecuada de ácidos grasos n-3 de cadena larga (FAO, 2010). El ácido linoleico es el principal ácido graso poliinsaturado en la dieta occidental y la fuente principal incluye las semillas de maíz, girasol, cártamo, soja y los aceites derivados de estas y algunos frutos secos.

Mientras que el ácido araquidónico se encuentra en las carnes tanto rojas como blancas incluida el pescado, las vísceras como el riñón y el hígado y también en los huevos.

El AA, el EPA y el DHA son importantes componentes estructurales de los fosfolípidos de las membranas y son el sustrato para la formación de una serie de derivados lipídicos llamados eicosanoides, los cuales ejercen acciones muy importantes en el metabolismo celular (Serhan y Chiang, 2008). Estos compuestos biológicamente activos poseen múltiples funciones como la modulación de la respuesta inflamatoria e inmune, el crecimiento y diferenciación celular, y la agregación plaquetaria.

La síntesis de eicosanoides comienza con la liberación de los PUFA desde la membrana lipídica por acción de las fosfolipasas, siendo el AA y el EPA los componentes iniciales de dicha síntesis. La proporción relativa de AA y de EPA en la membrana podría determinar el tipo de eicosanoide producido.

Los eicosanoides más importantes derivados del AA son las prostaglandinas, tromboxanos y leucotrienos, generados por un grupo de enzimas conocidas como lipooxigenasas y ciclooxigenasas. Una de las vías de acción del AA involucra a las ciclooxigenasas, que lo convierten en el tromboxano A₂ (TXA₂) y en varias prostaglandinas como la prostaglandina E₂ (PGE₂), que es un potente mediador de la inflamación, el dolor, la fiebre y del aumento de la permeabilidad vascular. La otra vía del AA involucra la enzima 5-lipoxigenasa formando diferentes leucotrienos, entre ellos el leucotrieno B₄ (LTB₄), el leucotrieno C₄, el leucotrieno D₄, los cuales son agentes proinflamatorios que aumentan la permeabilidad vascular y estimulan la liberación de citoquinas inflamatorias. De hecho, el AA suele ser el principal PUFA en las membranas de las células implicadas en la inflamación en los seres humanos (Wang et al., 2021)

Los eicosanoides originados por los lípidos derivados del ácido α -linolénico tienen un efecto protector ya que están asociados a una respuesta antiinflamatoria. El EPA y DHA son capaces de reducir la producción de citoquinas pro-inflamatorias, tales como la interleuquina 1, 6 y 8 y el factor de necrosis tumoral- α (FNT- α). También los ácidos grasos n-3 pueden ser metabolizados a resolvinas y protectinas, mediadores especializados que tienen acciones inmunorreguladoras, antiinflamatorias y cumplen un rol importante en el desarrollo tumoral (Maskrey et al., 2013). Dietas ricas en EPA y DHA aumentan la proporción de estos ácidos grasos en las membranas celulares

compitiendo con la generación de eicosanoides proinflamatorios (Parks et al., 2017; Ando et al., 2021).

Ácidos grasos n-6

Los ácidos grasos n-6 hacen una contribución significativa a los ácidos grasos presentes en los fosfolípidos de la membrana de las células implicadas en la inflamación. Como se describió anteriormente el ácido araquidónico es un precursor de una serie de mediadores proinflamatorios. Por lo que se considera que un aumento en la ingesta de estos ácidos grasos desempeñan un papel en la promoción de procesos inflamatorios (Innes y Calder, 2018).

Recomendaciones del consumo de n-6

Debido a la escasa cantidad de datos en humanos para establecer una estimación del requisito de ácido linoleico, se recomienda un rango de ingesta de 2,5 a 9% de la energía total consumida por día (FAO, 2010). El ácido araquidónico no es esencial para adultos sanos cuya dieta habitual tenga un aporte superior al 2,5% de ácido linoleico (Innes y Calder, 2018).

Ácidos grasos n-3

Durante las últimas décadas hubo un crecimiento importante en la investigación enfocada a determinar la relación entre los ácidos grasos n-3 y la salud humana. Existe una fuerte evidencia científica de que los alimentos ricos en estos ácidos grasos tienen un efecto cardioprotector, reduciendo el riesgo de sufrir ECV. Los primeros datos que evidencian estos efectos surgieron de estudios realizados en los esquimales quienes mostraban una muy baja incidencia de ECV a pesar de tener una alta ingesta de grasas, reconociéndose que estas grasas eran de animales de origen marino (Liepa et al., 1991; Nettleton, 1995; Petrova et al., 2011). En una de las primeras investigaciones en este tema se correlacionó positivamente la inclusión de EPA en la dieta con la prevención de trombosis y arteriosclerosis (Dyerberg et al., 1978). Estudios publicados en la década de los 90 en adelante, sostienen fuertemente los efectos benéficos de los ácidos grasos n-3 de cadena larga sobre las lesiones ateroscleróticas, disminuyendo la frecuencia de paros respiratorios y la mortalidad global en personas con riesgo de sufrir ECV (Kromhout et

al., 1985; Hennekens et al., 1990; De Lorgeril et al., 1996; Okuyama et al., 1997; Wang et al., 2006; Slee et al., 2010; Cottin et al., 2011).

Recomendaciones del consumo de n-3

La ingesta total de ácidos grasos n-3 puede oscilar entre 0,5 y 2% de la energía consumida a diario, y al menos el 0,5% debe ser ácido α -linolénico para prevenir los síntomas de deficiencia (FAO, 2010). Varias organizaciones en todo el mundo como la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos), la EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria), la AHA (Asociación Americana del Corazón), la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) y la ISSFAL (Sociedad Internacional para el Estudio de los Ácidos Grasos y Lípidos) han hecho recomendaciones para el consumo de n-3. Estas organizaciones recomiendan una ingesta mínima y diaria de 250 a 500 mg de EPA y DHA combinados para adultos sanos y hasta 1000 mg/día para personas con alguna enfermedad cardíaca. Este parece ser el consenso general entre la comunidad científica. No obstante, recomiendan no excederse de 3000 mg/día ya que podría tener efectos adversos (Kris-Etherton et al., 2009; Flock et al., 2013). Además consideran que una ingesta adecuada de ácido α -linolénico es 0,7 a 1 % de la energía consumida a diario.

Relación de los ácidos grasos n-6:n-3

Las dietas occidentales son deficientes en ácidos grasos n-3 y tiene cantidades excesivas de n-6 resultando en un desequilibrio en la relación entre ambos ácidos grasos. Las fuentes de información sugieren que los seres humanos evolucionaron con una dieta con una proporción de ácidos grasos n-6:n-3 de 1:1 mientras que en la actualidad la relación es de 15:1 a 20:1 dependiendo de los países y de los hábitos alimenticios (Simopoulos, 2002). Los productos metabólicos del AA se forman en cantidades mayores contribuyendo a trastornos inflamatorios que son la base de muchas enfermedades crónicas incluidas las cardiovasculares. El equilibrio de los ácidos grasos n-6 y n-3 es muy importante para disminuir el riesgo de dichas enfermedades, esto refleja la importancia de mantener una relación adecuada de n-6:n-3 en la dieta (Simopoulos, 2008; Gómez Candela et al., 2011). Las recomendaciones dadas por los organismos internacionales indican una relación n-6:n-3 de 5:1 a 4:1 en la dieta para reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Okuyama et al., 1997, Wei et al., 2021).

Se necesitan alternativas para mejorar dicha relación y en este sentido un aumento en el contenido de n-3 de la carne de ave puede considerarse una estrategia muy valiosa.

2.2 La semilla de chía

La chía (*Salvia hispanica L.*) cultivo ancestral de México fue utilizada como alimento y planta medicinal desde hace 3500 años a.C., fue cultivada entre el 2600 y el 2000 a.C. por otras civilizaciones antes de que los aztecas y luego pasó a ser un cultivo casi olvidado en los últimos siglos (Rodríguez, 1992). Es en 1990 cuando se integró el cultivo a la agricultura moderna, convirtiéndose en la fuente alimenticia más segura, sustentable y barata para cubrir los requerimientos de ácidos grasos n-3 (Ayerza, 1995; Ayerza y Coates, 1996).

2.2.1 La semilla de Chía como alimento de los aztecas

La chía fue uno de los componentes principales de la dieta de los aztecas junto con el maíz, frijol, amaranto y el chile, considerando la chía de gran valor energético y ampliamente utilizada como ingrediente en platos y bebidas (Ayerza y Coates, 2011). La chía era utilizada pura o mezclada con otros alimentos, en agua como bebida, en harina, también utilizada como alimento para aves. Las harinas de chía pueden almacenarse durante meses o años como reserva siendo un alimento muy energético. Los aztecas además ofrecían semillas de chía a los dioses durante las ceremonias del culto (Gates, 1552).

2.2.2 La semilla de Chía como planta medicinal de los aztecas

La chía era utilizada también con fines medicinales para el tratamiento de distintas enfermedades, utilizándose sola o con otras hierbas medicinales. La Sociedad Farmacéutica de México en su Nueva Farmacopea publicada en 1874 incluyó a la chía en su lista de drogas y plantas con usos farmacológicos. En ese entonces los médicos utilizaban el mucílago de la chía para hacer gárgaras y como loción ocular para tratar afecciones oftalmológicas (Planchon y Collin, 1895).

2.2.3 Otros usos de la semilla de chía

Los aztecas utilizaban el aceite de chía como ingredientes para la elaboración de cosméticos, posiblemente por sus propiedades emolientes.

También el aceite de chía tuvo un papel relevante en las obras pictóricas precolombinas, ya que mejora el secado de las pinturas y barnices elaborados con este aceite (Rulfo, 1937).

2.3 Utilización de la semilla de Chía en dietas para animales

Con el objetivo de mejorar el perfil de ácidos grasos de algunos alimentos existen varios estudios en los que animales domésticos recibieron dietas enriquecidas en ácidos grasos n-3 a partir de la chía. Hay ensayos realizados en producción de huevos, leche, carne de pollo y cerdo que con niveles crecientes alcanzados de ácidos grasos n-3 ayudan a equilibrar la ingesta de los consumidores y pueden proporcionar beneficios para la salud (Ayerza y Coates 2005; Ali et al., 2012).

2.3.1 Huevos enriquecidos con ácidos grasos n-3

Varios autores evaluaron el enriquecimiento de huevos con PUFA n-3 a partir de semillas de chía obteniendo resultados exitosos. En estos ensayos la inclusión de chía en la dieta de ponedoras no afectó la producción de huevos ni el peso de los mismos, tampoco el peso de las aves. Además mejoró el perfil lipídico incrementando el contenido de n-3 en la yema más de 1600 % (986 mg/huevo), dado por el aumento significativo de los ácidos grasos α -linolénico y DHA, y disminuyó el contenido del ácido graso palmítico en más del 30%. También mejoró la relación n-6:n-3 de 17:1 a 1:1. Otra ventaja que tienen es la ausencia de características organolépticas atípicas si es comparado con el uso de otros productos para su enriquecimiento (Ayerza y Coates, 1999, 2000, 2001, 2002).

2.3.2 Carne de ave enriquecida con ácidos grasos n-3

Debido al éxito obtenido al producir huevos enriquecidos con PUFA n-3 a partir de la semilla de chía surgieron estudios para enriquecer carne de ave, con el fin de modificar favorablemente la composición de ácidos grasos de la carne.

La inclusión de semillas de chía en dietas de pollos parrilleros aumentó el contenido de ácidos grasos n-3 tanto en el muslo como en la pechuga. Estos autores sostienen que un 10% de inclusión de chía en la dieta aumentó 8 veces en contenido de n-3 en ambos músculos. También se vio disminuido el contenido de ácido graso palmítico afectando el

contenido total de ácidos grasos saturados. La reducción del ácido palmítico y del total de ácidos grasos saturados fue de hasta un 20,6% y 17,5% en la pechuga, y de hasta un 12,8% y 12% en el muslo, respectivamente. Esta carne además presentó una mejor relación n-6:n-3. Al igual que los huevos enriquecidos, la carne de pollo alimentados con chía no presentó características organolépticas atípicas. El peso corporal y la conversión alimenticia fueron significativamente menores con las dietas con chía que con el control (Ayerza et al., 2002).

Sin embargo, se debe notar que en los resultados no muestran la presencia de EPA ni de DHA en la carne producida.

Otro ensayo realizado en INTA Buenos Aires, comparó el efecto de la fuente de n-3 en la dieta sobre el crecimiento, rendimiento y composición de ácidos grasos de la carne. Los resultados mostraron que no todas las semillas ricas en ácido α -linolénico son fuentes biológicamente equivalentes para enriquecer carne de pollo con ω -3, la chía demostró ser superior a las otras fuentes. La inclusión de 15% en la dieta de semillas de chía aumentó el nivel de n-3 en un 157% en el muslo y 200% en la pechuga en comparación con la dieta control. También la semilla de chía redujo significativamente el contenido de ácidos grasos saturados y mejoró la relación ω -6: ω -3 y SFA: ω -3 para ambos músculos (Azcona et al., 2008).

2.4 Composición nutricional de la carne de pollo

La carne de ave al igual que las otras carnes, es un alimento que presenta proteínas de alto valor biológico de fácil asimilación con importante aporte de aminoácidos esenciales. El contenido de vitaminas también es importante, principalmente las del complejo B, como la B12 y la B6, la riboflavina, la niacina, el ácido pantoténico, la piridoxina, la cobalamina y la colina. Contiene un excelente aporte de minerales como son el hierro, fósforo, zinc, selenio, magnesio y calcio (Gallinger et al., 2016).

Si se compara con carnes de otras especies animales, se observa en la carne de pollo su menor aporte energético y su bajo contenido en lípidos. También la composición en lípidos de la carne de pollo en comparación con la de otras carnes es rica en ácidos grasos poliinsaturados y con una baja proporción de ácidos grasos saturados (Gallinger et al., 2016). Hay que tomar en cuenta el hecho de que el contenido en ácidos grasos de la carne de ave se relaciona con la composición en ácidos grasos de la dieta ofrecida al animal.

En los siguientes cuadros, se muestra la composición centesimal (Cuadro 1) y el contenido de sodio, potasio, fósforo y hierro (Cuadro 2) en pata junto con muslo, y pechuga de pollo producidos en Argentina reportados en un trabajo publicado por Gallinger et al., 2016.

Cuadro 1. Composición centesimal de pata-muslo y pechuga de pollo con y sin piel.

	Pechuga sin piel	Pechuga con piel	Pata-muslo sin piel	Pata-muslo con piel
Humedad (g/100g)	74,0	70,0	74,7	66,7
Cenizas (g/100g)	1,2	1,0	1,0	0,9
Proteína (g/100g)	23,7	20,2	19,9	17,0
Grasa (g/100g)	1,4	8,9	5,3	14,7
Energía (Kcal/100g)	107	161	127	200

Extraído de: Gallinger et al. (2016).

Cuadro 2. Contenido de minerales de pata-muslo y pechuga de pollo sin piel.

	Sodio (mg/100g)	Potasio (mg/100g)	Fósforo (mg/100g)	Hierro (mg/100g)
Pechuga sin piel	47	355	235	0,31
Pata-Muslo sin piel	74	307	195	0,60

Extraído de: Gallinger et al. (2016).

2.4.1 Composición lipídica de la carne de pollo

El contenido y la composición lipídica de la carne de pollo varía según el tipo de tejido, donde la piel contiene mayor proporción de grasa compuesta por triglicéridos y los lípidos de la pechuga son aproximadamente la mitad que el muslo.

Cuadro 3. Perfil de ácidos grasos de los músculos de la pata-muslo y de la pechuga sin piel expresados en mg/100g de carne de pollo alimentados con una dieta estándar.

Ácido graso - nombre común		Pechuga sin piel	Pata-muslo sin piel
C14:0	Mirístico	9	34
C16:0	Palmítico	264	1001
C16:1 n-7	Palmitoleico	40	208
C18:0	Estearico	102	332
C18:1 t	Elaídico	3	9
C18:1 n-9	Oleico	371	1621
C18:1 n-7	Vaccénico	24	52
C18:2 n-6	Linoleico	327	1369
C18:3 n-6	Gama linolénico	2	7
C18:3 n-3	Linolénico	29	133
CLA	Linolénico conjugado	0	2
C20:1 n-9	Gondoico	6	14
C20:4 n-6	Araquidónico	44	93
C20:5 n-3	EPA	3	10
C22:4 n-6	Adrénico	11	20
C22:5 n-3	DPA	9	15
C22:6 n-3	DHA	6	10
Ácidos grasos saturados		375	1367
Ácidos grasos insaturados		849	3352
Ácidos grasos monoinsaturados		418	1829
Ácidos grasos poliinsaturados		432	1657
Ácidos grasos trans		27	54
Ácidos grasos n-6		385	1489
Ácidos grasos n-3		47	169

Extraído de: Gallinger et al. (2016).

También pueden presentar variaciones debidas a la genética, edad, sexo, condiciones ambientales y factores nutricionales, entre otros. Dentro de los factores nutricionales el contenido energético y la composición lipídica y proteica de la dieta tienen influencia sobre los lípidos de la carne (Ratnayake et al., 1989).

El depósito de lípidos en los tejidos puede tener 2 fuentes: exógeno o endógeno, el exógeno es procedente de la dieta y el endógeno es sintetizado por el animal. El tipo de lípido que se deposite en el tejido dependerá del balance entre la fuente endógena y exógena. La inclusión de grasa por encima de 9 % en la dieta de los animales produce una reducción de la actividad lipogénica hepática (lipogénesis *de novo*) estableciéndose un balance entre la fuente exógena y la síntesis endógena de lípidos (Saadoun y Leclercq,

1987). La reducción de la lipogénesis está dada por un lado, por el menor contenido de almidón en la dieta debido al aumento de materia grasa el cual produce una insuficiencia de sustrato para la síntesis de ácidos grasos, y por otro lado por una inhibición directa de las enzimas lipogénicas por parte de los lípidos de la dieta.

2.4.2 Cambios en el perfil lipídico de la carne modulando la dieta

Hace más de 50 años que se comprobó que la composición de ácidos grasos de la carne de pollo se puede modificar modulando la dieta de los animales, siendo que los depósitos de grasa del animal proceden en mayor grado de la dieta. El perfil de ácidos grasos de los tejidos de la carne es un reflejo del perfil de ácidos grasos de la dieta.

Varios estudios han logrado aumentar la cantidad de ciertos ácidos grasos aumentando la inclusión de una determinada fuente grasa en la dieta obteniendo carne enriquecida en dichos ácidos grasos. Se ha observado que el contenido de ácidos grasos saturados de la carne de pollo puede aumentar suministrándole aceite de coco o de palma; el contenido de ácido oleico con aceite de oliva; el contenido de ácido linoleico con aceite de colza, girasol, maíz, soja; el contenido de ácido linoléico con aceite de linaza y el contenido de los ácidos eicosapentaenoico y docosahexaenoico con aceites de pescado (Marion y Woodroof, 1963; Lin et al., 1989; Cherian et al., 1996; López-Ferrer et al., 1999; Cortinas et al., 2004).

Posteriormente numerosos estudios se han llevado a cabo con el objetivo de enriquecer la carne de pollo con ácidos grasos poliinsaturados de la serie n-3 y con ácido linoleico conjugado (CLA) utilizando fuentes de enriquecimiento de origen vegetal y marino. Dentro de las fuentes de origen vegetal se encuentra la linaza, ya sea entera, molida o como forma de aceite o la semilla de chía ya sea entera o molida. La fuente marina más utilizada es el aceite de pescado y en menor medida algas y zooplancton (Ayerza et al., 2002; Azcona et al., 2008).

3. Hipótesis y objetivos

3.1 Hipótesis

La inclusión de semillas de chía en la dieta de los pollos permitirá enriquecer la carne en ácidos grasos de la serie n-3, incluyendo EPA y DHA.

3.2 Objetivo

Enriquecer la carne de pollo en ácidos grasos poliinsaturados n-3 (PUFA n-3) usando solamente ingeniería nutricional que consiste en una formulación original e innovadora del alimento que reciben los animales. Este último contendrá semilla de chía como fuente de ácidos grasos de la serie n-3.

3.3 Objetivos específicos

Determinar la composición nutricional y de ácidos grasos de la semilla de chía producida y utilizada regionalmente, para poder usar dicha información con precisión en la formulación de la dieta de los animales.

Establecer los niveles óptimos de incorporación de la chía en el alimento de los animales para lograr el mayor enriquecimiento con PUFA n-3 de la carne de pollo, a través de la incorporación de niveles crecientes de semilla de chía, 0, 2.5, 5 y 10% en la dieta de las aves de carne.

Evaluar los parámetros de respuesta productiva animal a la inclusión de chía en la dieta, como el peso vivo a la faena, consumo de alimento por ave y eficiencia de conversión alimenticia durante el experimento.

Evaluar la calidad de la carne obtenida (pH, color, pérdida de agua), y en particular estudiar la composición de ácidos grasos incorporados en los músculos *Pectoralis major*, *Gastrocnemius* e *Ileotibialis lateralis* para determinar si hay diferencias entre los mismos.

4. Materiales y Métodos

4.1 Animales

En el experimento se utilizaron 96 pollos machos de la línea Ross 308 de un día de edad, los cuales fueron criados a piso sobre cáscara de arroz hasta los 17 días. Se les suministró una ración iniciadora base maíz-soja (Proteína cruda, 21.7 %; Energía Metabolizable, 2998 kcal/kg) y agua *ad libitum*. Se los mantuvo en ambiente con temperatura controlada, ventilación y fotoperiodo de 23 horas de luz, 1 hora de oscuridad.

A los 21 días se seleccionaron por homogeneidad de peso y se alojaron en jaulas de maderas de 90 x 90 cm sobre piso de cama de cáscara de arroz y equipadas con comederos y bebederos individuales. Se mantuvo el ambiente con la temperatura controlada según las necesidades de los animales y fotoperiodo de 23 horas de luz, 1 hora de oscuridad. Los animales se distribuyeron al azar en 4 grupos (24 aves cada uno, alojados en 8 jaulas de 3 aves cada una) a los que se les ofreció una de las dietas experimentales.

A los 49 días de edad, previo ayuno de 12 horas, se transportaron y se sacrificaron en Planta de Faena comercial Avícola del Oeste, habilitada (MGAP, Montevideo) según protocolo aprobado por la CHEA para animales de producción y consumo. El sacrificio se realizó luego de la insensibilización del ave, por el corte de la vena yugular hasta el desangrado total (3 min) de forma de causar el menor estrés posible al animal. Luego de la extracción de órganos internos y limpieza, las canales se dejaron en proceso de enfriamiento rápido en túnel de frío y fueron conservadas a temperaturas de 2-4 grados Celsius durante 24 horas. Luego transportadas en vehículo refrigerado hasta el laboratorio para los posteriores análisis. Según el parámetro estudiado, la carne fue mantenida fría o congelada a menos 20 grados Celsius, tal como se detalla más adelante para cada parámetro.

4.2 Dietas experimentales

Fueron formuladas cuatro dietas experimentales con niveles crecientes de inclusión de semilla de chía siendo las mismas:

- Control: dieta testigo a base de maíz y harina de soja (C).
- Tratamiento 1: dieta testigo con 2,5% de inclusión de semillas de chía (T1).
- Tratamiento 2: dieta testigo con 5% de inclusión de semillas de chía (T2).
- Tratamiento 3: dieta testigo con 10% de inclusión de semillas de chía (T3).

En todas las situaciones se formularon dietas isoproteicas e isoenergéticas. La proteína y la energía metabolizable que aporta la dieta se calcularon a partir de la tabla de composición de alimentos de INRA (1984). Los ingredientes de las dietas experimentales, así como la composición química y la composición de los ácidos grasos se muestran en los cuadros 4 y 5 respectivamente.

Cuadro 4. Composición porcentual de las dietas experimentales y composición química. Control (C) es la dieta testigo maíz-soja con 0% de semilla de chía, T1, dieta maíz-soja con 2.5 % de semilla de chía, T2, dieta maíz-soja con 5% de semilla de chía y T3 es dieta maíz-soja con 10 % de semilla de chía.

Ingredientes (%)	Dietas experimentales			
	C	T1	T2	T3
Maíz	54,99	53,76	52,38	49,38
Harina de Soja	35,34	35,34	35,34	35,34
Chía, semilla	0,00	2,50	5,00	10,00
Harina de carne y hueso, 40/45% PC	3,80	3,00	2,00	1,00
Fosfato Monocálcico	0,80	1,00	1,20	1,45
Carbonato de calcio	1,10	1,10	1,40	1,60
Sal	0,30	0,30	0,30	0,30
Aceite de girasol	2,80	2,12	1,50	0,05
L-Lisina, monoclóhidrato	0,28	0,28	0,28	0,28
DL-Metionina	0,10	0,10	0,10	0,10
Anticoccidial	0,05	0,05	0,05	0,05
Premix *	0,40	0,40	0,40	0,40
Cloruro de Colina	0,03	0,03	0,03	0,03
Vitamina C, ácido ascórbico	0,02	0,02	0,02	0,02
Composición química				
Energía Bruta (Mcal/kgMS)	4,82	4,67	4,66	4,81
Proteína Cruda (%)	24,02	23,51	25,21	25,01
Extracto al éter (%)	6,17	6,36	6,23	6,90
Lignina detergente ácido (%)	0,75	1,00	1,81	1,46
Fibra detergente ácido (%) **	3,29	4,34	4,39	5,45
Fibra detergente neutro con amilasa (%) **	13,60	11,56	11,40	12,95
Cenizas (%)	6,72	6,49	7,45	7,09
Materia seca (%)	88,59	88,58	88,52	88,53

Los valores de la composición química representan las medias.

*Premezcla de vitaminas y minerales, 1kg aporta: 3.000.000 UI de Vitamina A, 625.000 UI de Vitamina D3, 15,63 mg de 25 OH D3, 20.000 mg de Vitamina E, 800 mg de Vitamina K3, 800 mg Vitamina B1, 2.150 mg de Vitamina B2, 1.075 mg de Vitamina B6, 4,25 mg de Vitamina B12, 16.250 mg de Niacina, 5.000 mg de Ácido Pantoténico, 550 mg de Ácido Fólico, 55 mg de Biotina, 100.000 mg de Cloruro de Colina, 4.000 mg de Cobre, 5.000 mg de Hierro, 30.000 mg de Manganeso, 62,50 mg de Cobalto, 312,50 mg de Yodo, 27.500 mg de Zinc, 75 mg de Selenio.

**Fibras corregidas por cenizas.

Cuadro 5. Composición de ácidos grasos de las dietas experimentales (expresados como % de ácidos grasos totales).

Ácido graso	Dietas experimentales			
	C	T1	T2	T3
C14:0	0,31	0,23	0,20	0,10
C14:1	0,02	0,01	0,05	0,03
C16:0	9,19	9,11	8,99	8,99
C16:1	0,29	0,25	0,29	0,33
C18:0	4,17	3,67	3,55	2,85
C18:1	56,41	46,70	36,77	22,14
C18:2n6	25,77	28,06	28,50	29,82
C18:3n3	1,36	10,01	18,73	33,33
Otros	2,48	1,96	2,92	2,41

Los valores representan las medias. La metodología de determinación de los ácidos grasos fue la misma que la usada para la carne.

La composición química de la semilla de chía utilizada en el experimento y su composición en ácidos grasos se muestra en los cuadros 6 y 7 respectivamente.

Cuadro 6. Composición química de la semilla de chía utilizada.

Composición química	
MS (%)	94,44
C (%)	4,46
aFDNmo (%)	37,78
FDAmo (%)	20,94
Ligas (%)	10,00
EE (%)	38,36
PC (%)	20,92
EB (Mcal/kgMS)	6,32

Los valores representan las medias. MS: materia seca, C: cenizas, aFDNmo: fibra detergente neutro con amilasa corregida por cenizas, FDAmo: fibra detergente ácido corregida por cenizas, Ligas: lignina detergente ácido, EE: extracto al éter, PC: proteína cruda, EB: energía bruta. Todos los parámetros fueron determinados en laboratorio.

Cuadro 7. Composición de ácidos grasos de la semilla de chía utilizada.

Ácido graso	Semillas de chía (% Ác. Graso)
C14:0	0,03 ± 0,00
C16:0	7,01 ± 0,01
C16:1	0,11 ± 0,01
C18:0	2,56 ± 0,01
C18:1	6,62 ± 0,02
C18:2	20,53 ± 0,01
C18:3	62,42 ± 0,12
Otros	0,73 ± 0,10

Los valores representan las medias ± SEM. La metodología de determinación de los ácidos grasos fue la misma que la usada para las dietas experimentales y la carne.

4.3 Determinación de los parámetros de respuesta productiva animal

Se determinaron las siguientes variables de desempeño animal: peso vivo a la faena, consumo de alimento por ave y eficiencia de conversión alimenticia durante el experimento.

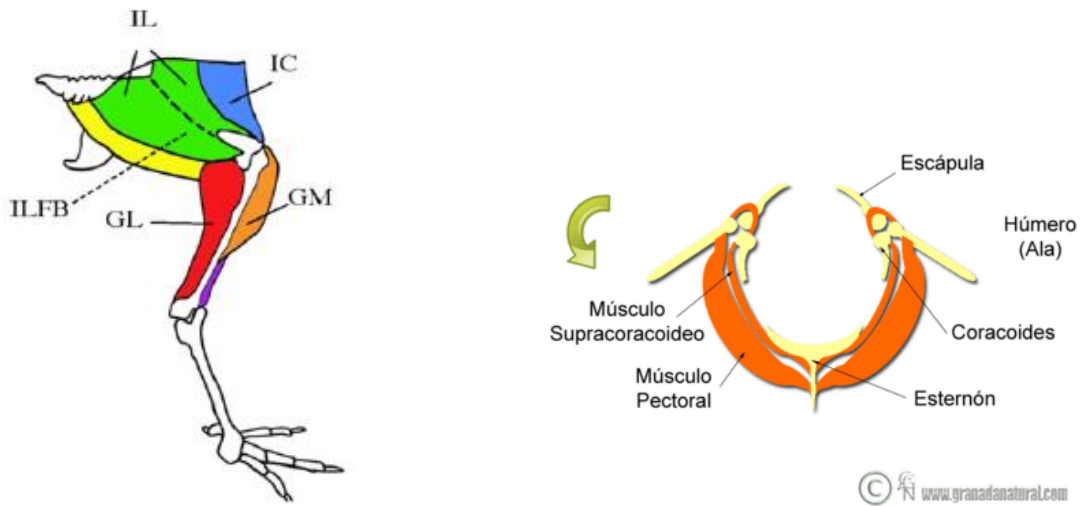
Se determinó el peso vivo individual de los animales al inicio y al final del experimento. El peso final se determinó luego de un ayuno de 10 horas. El consumo de alimento individual se determinó por diferencia de peso entre la cantidad agregada a diario y la cantidad sin consumir que existía al día siguiente, el consumo acumulado en el período se calculó como la suma de los consumos diarios acumulados del período.

Para calcular la eficiencia de conversión se calculó el cociente entre el consumo de alimento acumulado y la ganancia de peso en el período evaluado, se expresa como kg de alimento consumido/kg de ganancia de peso.

4.4 Músculos estudiados

Luego de 24 horas del sacrificio de los animales, se tomaron muestras de los músculos *Pectoralis major*, correspondiente al corte de la pechuga; *Gastrocnemius*, correspondiente al corte de la pata; e *Ileotibialis lateralis*, correspondiente al corte del muslo corto. Los nombres de los cortes corresponden al manual de cortes de carnes alternativas para abasto de INAC. La localización anatómica se muestra en la Figura 2.

Las muestras fueron envasadas al vacío en bolsas de polietileno con su correspondiente identificación y se congelaron hasta su análisis, en freezer a una temperatura de -20°C.



a)

b)

Figura 2. Esquema mostrando los músculos estudiados. a) Músculo *Gastrocnemius pars medialis* (GM) y músculo *Ileotibialis lateralis* (pre y post acetabularis, IL) que corresponden a los cortes pata y muslo corto (Rose et al., 2016). b) Músculo *Pectoralis major* (músculo pectoral) que corresponde al corte pechuga (Vanden Berge, 1979).

4.5 Determinaciones *post mortem*

Las mediciones de pH, color y drip loss se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad de Alimentos y Calidad de Productos de la Facultad de Agronomía y la Sección Fisiología y Nutrición de la Facultad de Ciencias.

4.5.1 Determinación de pH en la carne fresca

A las 24 horas *post mortem* se midió el pH en los músculos *Pectoralis major*, *Gastrocnemius* e *Ileotibialis lateralis* utilizando un pHmetro de penetración LT Lutron pH-201. Se midió el pH de cada músculo de los dos lados (izquierdo y derecho).

4.5.2 Determinación del color en la carne fresca

Al mismo tiempo que la determinación de pH se tomaron los valores de color de la carne, con parámetros de luminosidad (L*), enrojecimiento (a*), y amarillamiento (b*) de los m. *Pectoralis major* y *Gastrocnemius*, con colorímetro Minolta Lab CR-10, con

iluminante estándar D65, siguiendo el método de CIELab (CIE, 1976). El principio del método se basa en tres coordenadas, que hacen referencia a la luminosidad (L), enrojecimiento (a) y amarillamiento (b). La variable L se define de una escala de cero a cien, donde cero corresponde a ausencia de luz, negro y el valor cien a la luz blanca. Las variables a y b definen coloración y se indican en dos ejes perpendiculares donde (a) toma valores negativos correspondientes al color verde y valores positivos correspondientes al rojo, y el parámetro (b) define el componente azul en valores negativos y el componente amarillo en valores positivos.

4.5.3 Determinación de la pérdida de agua ó drip loss.

A las 24 horas *post mortem* se tomaron muestras de 5 gramos aproximadamente de los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius e Ileotibialis lateralis*, se pesaron y se suspendieron en bolsas de polietileno cerradas, se mantuvieron en la heladera a 4°C. A las 24 horas se pesaron nuevamente. Se determinó la capacidad de retención de agua como la pérdida de agua por goteo por diferencia de peso entre ambos tiempos. Se expresó como porcentaje de pérdida de agua.

4.5.4 Determinación de lípidos y composición de ácidos grasos

Los lípidos intramusculares se extrajeron según el método de Folch et al. (1957). Brevemente, se homogeneizó una muestra de 4 gramos de cada músculo, *Pectoralis Major*, *Gastrocnemius* e *Ileotibiales lateralis* libres de grasa visible a 26000 rpm con un homogeneizador IKA modelo 25 durante 1 min con 80 ml de cloroformo: metanol (2:1). Posteriormente, el homogeneizado se filtró en hyflosupercel, se colocó en un embudo de decantación, se mezcló por inversión durante un minuto y se decantó durante la noche. La fase inferior que contienen los lípidos en cloroformo se recuperó en un balón y se evaporó a 45°C con un ligero vacío en un rotavapor (IKA básico). Luego se eliminaron las trazas del solvente en un horno a 35°C durante 60 min y se enfrió a temperatura ambiente durante la noche en un desecador con vacío. Se pesó el balón para determinar el porcentaje de lípidos de cada muestra. Para la metilación de ácidos grasos se siguió el procedimiento descrito por Ichihara et al. (2010) utilizando KOH metanólico. Para la determinación de ácidos grasos por cromatografía de gases se siguió el procedimiento descrito por Eder (1995), utilizando una columna capilar de sílice fundida CPsil-88 de 100 m instalada en un cromatógrafo Clarus 500. Se utilizó un detector FID e inyección

automática de 1 μ l de muestra con una división del 50%. Se utilizó hidrógeno como gas portador. Las condiciones térmicas fueron temperaturas del inyector - detector 250 ° C y el horno se mantuvo a 90 ° C durante un minuto después de la inyección de la muestra; después de eso, la temperatura del horno se aumentó a 225°C - 15°C / min. Se determinaron los ésteres metílicos de ácidos grasos comparando el tiempo de retención con estándares auténticos (37 FAME - Sigma Corp, EE. UU.). Los ácidos grasos individuales se cuantificaron como porcentaje del total de ácidos grasos detectados.

4.5.5 Cálculo de índices lipídicos de salud

El cálculo de los índices se realizó a partir de los datos de la composición de ácidos grasos obtenidos. Se calculó la sumatoria de ácidos grasos saturados (Σ SAT), monoinsaturados (Σ MUFA), poliinsaturados (Σ PUFA), ácidos grasos n-3 y n-6, la relación n-6/n-3 y la relación PUFA/SAT. También se calculó el índice de aterogenicidad (IA), el índice de trombogenicidad (IT) y la relación hipocolesterolémica / hipercolesterolémica (h/H) que se describen a continuación.

Índice de aterogenicidad (IA): Calcula la relación entre la suma de los principales ácidos grasos saturados (proaterogénicos) y los ácidos grasos insaturados (antiaterogénicos). Fue calculado según Ulbricht y Southgate (1991), de la siguiente manera:

$$IA = \frac{(4 \times C14:0 + C16:0)}{MUFA + (n\ 6) + (n\ 3)}$$

Índice de trombogenicidad (IT): Estima el potencial para formar coágulos en los vasos sanguíneos, está determinado por la relación entre los ácidos grasos protrombogénicos (saturados) y los antitrombogénicos (sumatoria de MUFA y PUFA). Se calculó según Ulbricht y Southgate (1991), de la siguiente manera:

$$IT = \frac{(C14:0 + C16:0 + C18:0)}{0,5 \times MUFA + 0,5 \times (n\ 6) + 3 \times (n\ 3) + (n\ 3)/(n\ 3)}$$

Relación hipocolesterolémica / hipercolesterolémica (h/H): Calcula la relación entre los ácidos grasos insaturados (MUFA y PUFA) y los ácidos grasos saturados C14:0 y C16:0. Se calculó según Fernández et al. (2006), de la siguiente manera:

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

4.6 Análisis estadístico

Los datos se presentan como la media \pm desvío estándar de la media (media \pm SEM). Para las variables de respuesta animal los datos se analizaron a través de un ANOVA de una vía y *post hoc* Test de Tukey-Kramer a $p < 0.05$.

Para las variables de pH, color L*,a*,b*, drip loss, contenido de ácidos grasos, e índices de salud estudiadas los datos se analizaron a través de un ANOVA GLM para los efectos principales de dieta, músculo e interacción dieta x músculo y *post hoc* Test de Tukey-Kramer a $p < 0.05$. También se analizó para cada músculo el efecto de la dieta a través de un ANOVA de una vía y *post hoc* Test de Tukey-Kramer a $p < 0.05$. Para todos los análisis se utilizó el software NCSS (NCSS, 329 North 1000 East, Kaysville, UT 84037, USA, Version 2019).

5. Resultados y Discusión

5.1 Efecto de los tratamientos dietarios en la respuesta productiva animal

A continuación se presentan los resultados de la inclusión de semillas de chía en la dieta, sobre el desempeño de los animales, medido en el peso vivo a la faena, consumo de alimento, ganancia de peso e índice de conversión.

Cuadro 8. Efecto de la inclusión de semillas de chía a 0% (Control); 2.5% (T1); 5% (T2) y 10% (T3) en una dieta recibida de los 21 a 49 días de edad sobre el peso vivo a la faena (g/ave), consumo de alimento (g/ave), ganancia de peso (g/ave) e índice de conversión (kg de alimento/kg de ganancia de peso).

	Dietas experimentales				P
	Control	T1	T2	T3	
Peso vivo (g/ave)	4137,7 ± 84,9	4090,0 ±78,4	4005,4 ±59,6	4096,0 ±63,5	NS
Consumo (g/ave)	4997,2 c ±55,4	5079,4 c ±65,4	5210,4 b ±32,8	5555,6 a ±68,2	p<0.001
Ganancia peso vivo (g/ave)	3111,9 ± 77,5	3091,5 ±66,5	3018,5 ±50,6	3062,7 ±53,9	NS
Índice de conversión (kg de alimento/kg de ganancia)	1,63 c ±0,04	1,66 bc ±0,04	1,74 ab ±0,03	1,82 a ±0,03	p<0.001

Los valores representan las medias \pm SEM de n= 24. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las dietas.

En la presente investigación no se observó un efecto del tratamiento dietario sobre el peso vivo ni sobre la ganancia de peso vivo de los animales. No obstante, sí se observaron diferencias significativas en el consumo ($P<0,001$) y en el índice de conversión ($P<0,001$), obteniendo un mayor consumo aquellos animales que contenían semillas de chía en su dieta al 5 y 10% y por lo tanto un mayor índice de conversión. El tratamiento con mayor nivel de inclusión de semillas de chía resultó con los consumos más altos y a similares pesos vivos que el tratamiento control tiene como consecuencia un mayor índice de conversión. Entre el control y el tratamiento 1 no se observaron diferencias en el desempeño productivo.

En concordancia con lo observado, Ayerza et al. (2002) informaron el mismo efecto sobre la conversión alimenticia, siendo significativamente más alta cuando se incluyó 10 y 20% de semillas de chía en la ración respecto al control, sin encontrar diferencias entre ambos niveles. Por el contrario Azcona et al. (2008) no reportaron diferencias significativas en ningún parámetro de desempeño productivo cuando alimentaron a las aves con una dieta enriquecida con chía al 15% respecto a la dieta control. Estos autores reportan ventajas de las semillas de chía sobre otras fuentes como las semillas de lino donde encontraron decrementos significativos en los pesos corporales y en la ganancia de peso de los animales alimentados con semillas de lino al 15%. Este resultado podría ser debido a factores antinutricionales presentes en la semilla de lino, por ejemplo los glucósidos como la linustatina y la neolinustatina, y pequeñas cantidades de linamarina y lotasutralina (Figueroa et al., 2008). Por su parte Gallinger et al. (2015), no encontraron diferencias

entre los tratamientos cuando evaluó aceite de lino, aceite de pescado y ambas para los parámetros de producción establecidos. En este caso, probablemente el uso de aceite de lino minimizó la exposición a antinutricionales descritos en el trabajo anterior.

5.2 Efecto de los tratamientos dietarios en la calidad de la carne fresca

5.2.1 pH

A continuación se presentan los resultados obtenidos de pH en los músculos *Pectoralis major*, *Gastrocnemius* e *Ileotibialis lateralis* a las 24 horas post mortem. Se analizan los efectos principales de la dieta y del músculo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto de la inclusión de semillas de chía en 0% (Control); 2.5% (T1); 5% (T2) y 10% (T3) en una dieta recibida de los 21 a 49 días de edad sobre el pH tomado 24 horas post mortem en los músculos *Pectoralis major* (PM), *Gastrocnemius* (GN) e *Ileotibiales lateralis* (ITL).

Músculo		Dietas experimentales				P
		Control	T1	T2	T3	
PM	Der	6,00 ± 0,03	5,96 ± 0,04	6,00 ± 0,03	5,98 ± 0,01	NS
	Izq	5,96 ± 0,03	5,99 ± 0,04	6,00 ± 0,03	5,98 ± 0,01	
GN	Der	6,43 ± 0,04	6,42 ± 0,05	6,39 ± 0,03	6,42 ± 0,04	NS
	Izq	6,44 ± 0,04	6,43 ± 0,04	6,46 ± 0,04	6,40 ± 0,03	
ITL	Der	6,39 ± 0,04	6,38 ± 0,04	6,31 ± 0,04	6,34 ± 0,05	NS
	Izq	6,40 ± 0,05	6,43 ± 0,04	6,39 ± 0,02	6,38 ± 0,03	
Efectos principales						P
Dieta	NS					
Músculo	PM < GN, ITL					p<0.001

Los valores representan las medias ± SEM de n = 8.

No se encontraron diferencias significativas en el pH a las 24 horas debido a los tratamientos dietarios en los músculos estudiados y los valores presentados se encuentran dentro de los rangos para carnes normales (Barbut, 1997; Van Laack et al., 2000).

Los valores observados son similares a los reportados por Castromán et al., (2013) en su investigación sobre carne de ave en sistemas convencionales y orgánicos.

Cuando se considera el tipo de músculo, se encuentran diferencias significativas ($P < 0,001$), ya que *Pectoralis major* tiene menor pH que *Gastrocnemius* e *Ileotibiales lateralis* debido al tipo de músculo. *Pectoralis* es un músculo con metabolismo glucolítico, tienen almacenado grandes cantidades de glucógeno, por lo que en el metabolismo *post mortem* tienen mayor capacidad para generar ATP, acumulando mayor lactato y de esta manera logran un pH último más bajo.

5.2.2 Pérdida de agua

En el cuadro 10 se presentan los resultados obtenidos en la pérdida de agua en los músculos *Pectoralis major*, *Gastrocnemius* e *Ileotibiales lateralis* a las 24 horas post mortem. Se analizan los efectos principales de la dieta y del músculo.

Cuadro 10. Efecto de la inclusión de semillas de chía en 0% (Control); 2.5% (T1); 5% (T2) y 10% (T3) en una dieta recibida de los 21 a 49 días de edad sobre la pérdida de agua, expresada en %, en muestras de los músculos *Pectoralis major* (PM), *Gastrocnemius* (GN) e *Ileotibiales lateralis* (ITL) obtenidas a 24 horas post mortem, medido durante 24 horas a 4°C.

Músculo	Dietas experimentales				P
	Control	T1	T2	T3	
PM	6,73 ± 0,80	8,65 ± 0,91	6,97 ± 0,68	7,06 ± 0,72	NS
GN	4,60 ± 0,71	5,29 ± 0,99	4,68 ± 0,60	4,39 ± 0,73	NS
ITL	5,32 ± 0,90	5,37 ± 1,37	4,86 ± 0,57	4,47 ± 0,77	NS
Efectos principales					P
Dieta	NS				
Músculo	PM > GN, ITL				p<0.001

Los valores representan las medias ± SEM de n = 10.

La pérdida de agua no se modificó significativamente debido a los tratamientos dietarios, por lo que se puede interpretar que no hay efectos negativos de la inclusión de semillas de chía sobre la pérdida de agua. Los valores se encuentran dentro de los rangos correspondientes para carnes normales citados por Mehaffey et al. (2006).

No ocurre lo mismo si se toma en cuenta el efecto principal del músculo ($P < 0,001$), ya que *Pectoralis major* tiene una mayor pérdida de agua que los otros dos músculos. Esto se explica con los resultados obtenidos en el pH, ya que este es uno de los factores de

mayor influencia en la pérdida de agua. Existe una correlación negativa entre la pérdida de agua y los valores de pH, un pH bajo disminuye la habilidad de las proteínas de retener el agua y disminuye la repulsión electrostática entre los filamentos reduciendo los espacios donde retener el agua, aumentando de este modo su pérdida (Van Laack et al., 2000).

5.2.3 Color

En el cuadro 11 se presentan los resultados obtenidos en el color medidos como L* (luminosidad), a* (enrojecimiento) y b* (amarillamiento), en los músculos *Pectoralis major*, *Gastrocnemius* e *Ileotibialis lateralis* a las 24 horas post mortem. Se analizan los efectos principales de la dieta y del músculo.

Cuadro 11. Efecto de la inclusión de semillas de chía en 0% (Control); 2.5% (T1); 5% (T2) y 10% (T3) en una dieta recibida de los 21 a 49 días de edad sobre el color, medido como L*, a* y b*, (método CIELab) en los músculos *Pectoralis major* (PM), *Gastrocnemius* (GN) e *Ileotibialis lateralis* (ITL) a 24 horas post mortem.

Músculo		Dietas experimentales				P
		Control	T1	T2	T3	
PM	L*	53,88 ± 0,40	52,83 ± 0,57	52,26 ± 0,36	52,05 ± 0,48	NS
	a*	-0,16 ± 0,16	-0,46 ± 0,22	-0,88 ± 0,16	-0,48 ± 0,26	p<0.05
	b*	7,84 ± 0,31	6,63 ± 0,35	6,10 ± 0,29	5,58 ± 0,26	p<0.05
GN	L*	52,24 ± 0,52	52,12 ± 0,66	50,73 ± 0,41	51,25 ± 0,42	NS
	a*	0,50 ± 0,13	0,50 ± 0,30	-0,19 ± 0,13	-0,03 ± 0,17	p<0.05
	b*	6,36 ± 0,45	4,97 ± 0,60	6,02 ± 0,51	6,05 ± 0,43	p<0.05
ITL	L*	47,96 ± 0,56	48,08 ± 0,55	48,50 ± 0,46	47,78 ± 0,50	NS
	a*	1,34 ± 0,25	1,43 ± 0,27	0,97 ± 0,16	0,55 ± 0,21	p<0.05
	b*	6,92 ± 0,41	6,81 ± 0,37	7,03 ± 0,39	5,64 ± 0,37	p<0.05
Efectos principales						P
Dieta	L*	NS				
	a*	Control, T1 > T2, T3				p<0.001
	b*	Control > T1, T2, T3				p<0.001
Músculo	L*	ITL < GN, PM				p<0.001
	a*	PM < GN, ITL				p<0.01
	b*	GN < ITL, PM				p<0.01

Los valores representan las medias ± SEM de n = 24.

La determinación del color no mostró para la luminosidad un efecto principal debido a los tratamientos dietarios y se encontró un efecto principal del tipo de músculo ($P < 0,001$), donde *Ileotibialis lateralis* presentó un L^* inferior a *Gastrocnemius* y *Pectoralis major*. Para el enrojecimiento (a^*), los resultados mostraron un efecto principal de la dieta ($P < 0,001$) y del músculo ($P < 0,01$). Se encontró para el tratamiento control y T1 un mayor valor de enrojecimiento que para el tratamiento 2 y 3. Como era de esperar, el músculo *Pectoralis major* resultó con valores más bajos que los otros dos, debido a que los músculos de la pata contienen mayor contenido de mioglobina.

Para el amarillamiento (b^*) también se indica un efecto principal de la dieta ($P < 0,001$) y del músculo ($P < 0,01$), en el cual la carne del tratamiento control resultó más amarillenta que la carne producida a partir de los tratamientos con semillas de chía. El músculo *Gastrocnemius* presentó menor amarillamiento que los músculos *Ileotibialis lateralis* y *Pectoralis major*.

En términos generales, en esta investigación el color de la carne con dietas que contenían chía se asocia a tonalidades ligeramente menos amarillentas y menos enrojecidas. En la bibliografía consultada no se encontraron datos de color que permitan comparar y/o respaldar con los datos presentados.

5.3 Perfil de ácidos grasos

En el cuadro 12 se presentan los resultados obtenidos de los lípidos totales y la composición en ácidos grasos en los músculos *Pectoralis major*, *Gastrocnemius* e *Ileotibialis lateralis* a las 24 horas *post mortem*. Se analizan los efectos principales de la dieta y del músculo.

Cuadro 12. Efecto de la inclusión de semillas de chía en 0% (Control); 2.5% (T1); 5% (T2) y 10% (T3) en una dieta recibida de los 21 a 49 días de edad sobre el perfil lipídico en los músculos *Pectoralis major* (PM), *Gastrocnemius* (GN) e *Ileotibialis lateralis* (ITL).

	<i>Gastrocnemius</i> (GN)				<i>Ileotibiales lateralis</i> (ITL)				<i>Pectoralis major</i> (PM)				Efectos principales	
	C	T1	T2	T3	C	T1	T2	T3	C	T1	T2	T3	Dieta	Músculo
LÍPIDOS (%)	2,37 ± 1,52	2,62 ± 1,47	2,47 ± 0,95	2,35 ± 0,88	3,60 ± 2,06	3,57 ± 0,91	3,69 ± 1,87	2,39 ± 0,77	2,15 ± 0,70	2,20 ± 0,74	2,32 ± 0,54	1,96 ± 0,66	NS	* ITL>PM,GN
Ácido graso (%)														
C14:0	0,74 ± 0,89	0,54 ± 0,15	0,57 ± 0,18	0,61 ± 0,13	0,56 ± 0,19	0,54 ± 0,16	0,56 ± 0,12	0,57 ± 0,14	0,52 ± 0,12	0,55 ± 0,19	0,54 ± 0,13	0,62 ± 0,12	NS	NS
C15:0i	0,03 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,02 a ± 0,01	0,02 a ± 0,01	0,02 ab ± 0,01	0,01 b ± 0,01	0,02 ab ± 0,01	0,02 a ± 0,01	0,01 bc ± 0,01	0,01 c ± 0,003	* T3<T1,C	NS
C15:0ai	0,03 ± 0,05	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,02 a ± 0,01	0,01 b ± 0,004	0,01 b ± 0,004	0,01 b ± 0,004	0,01 ± 0,004	0,01 ± 0,004	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,004	NS	NS
C14:1	0,07 ± 0,05	0,07 ± 0,02	0,07 ± 0,04	0,09 ± 0,03	0,08 ± 0,03	0,08 ± 0,03	0,08 ± 0,03	0,08 ± 0,03	0,05 ab ± 0,02	0,05 b ± 0,02	0,06 ab ± 0,02	0,08 a ± 0,03	NS	** PM<ITL,GN
C15:0	0,14 ± 0,13	0,12 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,12 ± 0,03	0,12 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,11 b ± 0,02	0,11 ab ± 0,03	0,11 ab ± 0,03	0,13 a ± 0,03	NS	NS
C16:0	20,3 b ± 1,88	19,3 b ± 2,35	21,2 ab ± 2,53	22,5 a ± 1,64	19,4 bc ± 2,15	18,9 c ± 1,97	21,1 ab ± 1,60	22,6 a ± 1,63	19,3 b ± 1,46	20,0 b ± 3,15	21,1 b ± 1,82	23,5 a ± 1,92	* T1,C<T2,T3	NS
C16:1	2,67 b ± 0,89	2,89 ab ± 0,73	3,25 ab ± 0,83	3,69 a ± 0,90	3,10 ± 0,65	3,20 ± 0,64	3,44 ± 0,95	3,50 ± 0,95	2,18 b ± 0,42	2,15 b ± 0,57	2,60 ab ± 0,64	2,99 a ± 1,19	* T3>T1,C	* PM<ITL,GN
C18:0	10,3 ± 2,16	8,80 ± 1,61	9,19 ± 1,62	9,69 ± 1,48	8,85 ± 3,13	7,97 ± 2,41	8,70 ± 2,38	9,53 ± 1,57	8,72 ± 1,41	9,16 ± 1,86	8,68 ± 0,96	9,80 ± 1,58	NS	NS
C18:1	40,2 a ± 3,82	40,3 a ± 3,22	36,7 b ± 2,61	31,1 c ± 3,41	44,2 a ± 3,55	43,0 ab ± 2,32	38,1 c ± 3,91	31,7 d ± 3,39	44,0 a ± 3,23	40,3 b ± 3,19	38,7 b ± 2,28	31,2 c ± 3,60	* T3<T1,T2,C	* GN<ITL,PM
C18:2n6	16,2 c ± 1,82	18,2 b ± 1,28	18,5 ab ± 1,13	19,8 a ± 1,62	17,2 b ± 1,12	18,6 a ± 1,30	18,7 a ± 1,37	19,8 a ± 1,43	16,5 c ± 0,90	17,4 bc ± 1,80	18,0 ab ± 1,31	18,9 a ± 1,52	* T3,T2,T1>C	* ITL,GN>PM

C18:3n3	0,96 c ± 0,21	1,88 b ± 0,37	2,64 b ± 0,87	3,87 a ± 1,20	1,04 d ± 0,13	2,07 c ± 0,31	2,85 b ± 0,93	3,78 a ± 1,06	0,98 d ± 0,10	1,88 c ± 0,53	2,88 b ± 0,90	3,80 a ± 0,82	* C<T1,T2,T3	NS
C20:2	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,03	0,06 ± 0,03	0,05 ± 0,03	0,05 ± 0,01	0,06 ± 0,02	0,06 ± 0,04	0,06 ± 0,03	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,06 ± 0,03	NS	NS
C22:0	0,26 ± 0,09	0,25 ± 0,08	0,29 ± 0,10	0,30 ± 0,09	0,18 b ± 0,073	0,21 b ± 0,09	0,28 ab ± 0,14	0,34 a ± 0,13	0,28 ± 0,08	0,31 ± 0,13	0,32 ± 0,09	0,37 ± 0,11	* T3>C,T1	* ITL<PM
C20:3n6	0,20 ± 0,09	0,14 ± 0,06	0,15 ± 0,05	0,14 ± 0,07	0,15 ± 0,10	0,10 ± 0,06	0,12 ± 0,05	0,14 ± 0,08	0,14 ± 0,09	0,10 ± 0,05	0,10 ± 0,03	0,11 ± 0,04	* C>T1,T2	* PM<GN
C20:3n3	0,54 ± 0,19	0,48 ± 0,14	0,54 ± 0,17	0,60 ± 0,20	0,40 b ± 0,23	0,36 b ± 0,13	0,47 ab ± 0,22	0,66 a ± 0,27	0,58 ± 0,25	0,57 ± 0,27	0,58 ± 0,16	0,75 ± 0,21	* T3>C,T1,T2	* ITL<PM
C20:4n6	3,98 ± 1,74	3,55 ± 1,40	3,25 ± 1,22	3,38 ± 1,07	2,36 ± 1,27	2,25 ± 0,94	2,52 ± 1,29	3,27 ± 1,22	3,45 ± 1,42	3,70 ± 1,95	2,85 ± 0,78	3,45 ± 1,06	NS	* ITL<PM
EPA	0,13 c ± 0,05	0,19 bc ± 0,06	0,26 b ± 0,08	0,38 a ± 0,11	0,11 c ± 0,06	0,14 bc ± 0,05	0,22 b ± 0,07	0,38 a ± 0,12	0,12 c ± 0,07	0,20 bc ± 0,07	0,27 b ± 0,09	0,46 a ± 0,15	* C<T1,T2,T3	* ITL<PM
C22:4n6	1,22 a ± 0,54	0,90 ab ± 0,35	0,79 b ± 0,37	0,74 b ± 0,25	0,69 ± 0,39	0,56 ± 0,26	0,60 ± 0,35	0,71 ± 0,29	1,08 ± 0,47	0,98 ± 0,59	0,67 ± 0,22	0,74 ± 0,22	* C>T2,T3	* ITL<PM,GN
DPA	0,30 c ± 0,13	0,53 bc ± 0,20	0,67 b ± 0,22	0,94 a ± 0,37	0,17 c ± 0,10	0,36 bc ± 0,17	0,55 b ± 0,29	0,92 a ± 0,32	0,26 c ± 0,10	0,54 b ± 0,28	0,62 b ± 0,23	0,96 a ± 0,33	* C<T1,T2,T3	*** ITL<GN
DHA	0,23 b ± 0,10	0,45 a ± 0,23	0,49 a ± 0,19	0,62 a ± 0,22	0,16 c ± 0,10	0,28 bc ± 0,14	0,43 ab ± 0,26	0,63 a ± 0,26	0,22 b ± 0,08	0,45 a ± 0,24	0,49 a ± 0,18	0,64 a ± 0,26	* C<T1,T2,T3	NS
Otros	1,55 ± 0,64	1,38 ± 0,53	1,31 ± 0,301	1,25 ± 0,30	1,13 ± 0,40	1,18 ± 0,35	1,21 ± 0,43	1,30 ± 0,31	1,49 ± 0,36	1,46 ± 0,36	1,33 ± 0,42	1,45 ± 0,91	-	-

Los valores están representados como medias con su respectivo desvío estándar (n=14). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos dentro de un mismo músculo (p<0,005). i: iso, ai: anteiso. NS: no significativo. * p<0.001, ** p<0.01, *** p<0.03. EPA: ácido eicosapentaenoico, DPA: ácido docosapentaenoico, DHA: ácido docosahexaenoico. PM: músculo *Pectoralis major*, GN: músculo *Gastrocnemius*, ITL: músculo *Ileotibialis lateralis*.

De acuerdo a los datos presentados en el cuadro 12 se puede observar que el contenido total de lípidos no varió significativamente respecto a los tratamientos dentro del mismo músculo, este resultado está en concordancia por los encontrados en otras investigaciones que utilizaron chía y otras fuentes de ácidos grasos n-3 (Hulan et al., 1989; Ratanayake et al., 1989; Crespo y Esteve-Garcia, 2001, Azcona et al., 2008). Esto puede explicarse debido a que la incorporación de ácidos grasos n-3 no modifica la cantidad de lípidos de la carne cuando la densidad energética o la relación calorías / proteínas del alimento se mantiene constante (Lessire et al., 1996). Los valores de lípidos encontrados en el presente estudio son similares a los reportados por Azcona et al. (2008), pero son drásticamente más bajos a los reportados por Ayerza et al. (2002), en cual informó valores de lípidos de hasta 19 % en patas de pollos alimentados con una dieta control y 16 % para una dieta con 20 % de semillas de chía.

El contenido total de lípidos tampoco varió significativamente en yemas de huevos cuando las aves recibieron tratamientos con diferentes niveles de semillas de chía, lino y aceite de pescado (Coorey et al., 2015).

Tomando en cuenta el tipo de músculo, la composición de lípidos del músculo *Pectoralis major* mostró un menor contenido en lípidos totales que el músculo *Ileotibialis lateralis*, este es un resultado habitual y esperado para la carne de pollo (Ayerza et al., 2002; Azcona et al., 2008; Castromán et al., 2013).

Respecto a la composición de ácidos grasos saturados, el ácido mirístico y el ácido esteárico no tuvieron diferencias significativas debido a los tratamientos en ninguno de los músculos estudiados. El ácido palmítico, que comprendió el mayor porcentaje de los ácidos grasos saturados en todos los músculos, mostró niveles significativamente más altos en los tratamientos 2 y 3 ($P < 0,001$), mientras que los tratamiento 1 y control no presentaron diferencias significativas. No se encontró un efecto principal del tipo de músculo para estos 3 ácidos grasos.

El aumento del contenido de ácido palmítico en la carne de ave encontrado con la incorporación de un 5 y 10% de chía en la dieta en el presente trabajo, fue reportado también cuando las aves fueron alimentadas con dietas enriquecidas con harina de pescado (Ratanayake et al., 1989) o con dietas enriquecidas con aceite de lacha (Miller y Robisch, 1969). Por el contrario Ayerza et al. (2002), encontró una disminución significativa en la concentración de ácido palmítico cuando comparó tratamientos que

contenían 0 y 10% de inclusión de chía en la dieta de aves y también reportó la falta de diferencias significativas cuando comparó los tratamientos de 10 y 20% de agregado de semillas de chía. En concordancia Azcona et al. (2008), reportó un contenido significativamente menor de este ácido graso en los músculos de la pata y la pechuga cuando utilizaron un 15% de inclusión de chía en la dieta.

Estas diferencias respecto a los hallazgos podrían atribuirse al menos a los cambios en la lipogénesis provocados por los diferentes contenidos de PUFA de las dietas (Nir et al., 1988).

Estos últimos autores informaron el mismo comportamiento de deposición de los ácidos mirístico y esteárico que los hallados en la presente investigación.

Haciendo referencia a la composición de ácidos grasos monoinsaturados, el ácido oleico (C18:1), como era de esperar, es el predominante dentro del grupo y su concentración disminuyó significativamente en los 3 músculos con el agregado de chía en la dieta. Se encontró un efecto principal del tipo de músculo donde *Gastrocnemius* presentó una menor concentración de este ácido graso.

El ácido palmitoleico presentó aumentos significativos en el tratamiento 3 respecto al control en los músculos *Gastrocnemius* y *Pectoralis major* y un efecto principal del tipo de músculo ($P < 0,001$) con menor concentración en *Pectoralis major*.

Estos resultados coinciden parcialmente con los informados por Ayerza et al. (2002), donde en su ensayo ambos MUFA disminuyeron significativamente solamente en el músculo de la pechuga del tratamiento con 10% de chía respecto al control, sin encontrar diferencias significativas entre los tratamientos de 10 y 20% de chía.

Para los ácidos grasos poliinsaturados n-6, el ácido linoleico incrementó su concentración hasta un 20% en *Gastrocnemius* y un 15% en *Pectoralis major* e *Ileotibialis lateralis* de las aves que recibieron el tratamiento 3. Se encontró un efecto principal del tipo de músculo donde *Ileotibialis lateralis* y *Gastrocnemius* presentaron un nivel más alto de ácido linoleico que *Pectoralis major*. Este efecto coincide con el hallado por del Puerto et al. (2017). Se sabe que este ácido graso proviene exclusivamente de la dieta y no puede ser sintetizado por los tejidos, por lo que es notorio también el aumento de este en la composición de ácidos grasos de la dieta.

En la misma línea Ayerza et al. (2002), informó el mismo efecto encontrado, resultando en un aumento en la concentración de ácido linoleico en aproximadamente 20% para los

músculos de la pata cuando las aves recibieron 10% de inclusión de semillas de chía, sin reportar diferencias significativas entre tratamientos que contenían 10 y 20 % de semillas de chía. Esto sugiere que existe un límite más allá del cual el aumento de chía en la dieta no incrementa la deposición en los tejidos.

El ácido araquidónico no tuvo diferencias significativas a causa de los tratamientos y si un efecto del tipo de músculo siendo mayor en *Pectoralis major* que en *Ileotibialis lateralis*.

El ácido adrenico tuvo diferencias significativas en los tratamientos donde el control presentó mayor concentración que los tratamientos 2 y 3 y un efecto del tipo de músculo donde *Ileotibialis lateralis* presentó una menor concentración que *Pectoralis major* y *Gastrocnemius*.

En lo que respecta a la composición de ácidos grasos poliinsaturados n-3 se encontró un aumento significativo ($P < 0,001$) y creciente en todos los músculos de ácido α -linolénico, EPA, DPA y DHA en la medida que se incrementa el nivel de inclusión de chía en la dieta de las aves.

El contenido en ácido α -linolénico aumentó dos veces su contenido para el tratamiento con 2,5% de chía, casi tres veces para el tratamiento con 5% de chía y cuatro veces para el tratamiento con 10% de chía con respecto al control, este patrón es notorio para todos los músculos en estudio. No se encontró un efecto principal del tipo de músculo para este ácido graso.

Estos resultados están en acuerdo con los hallazgos reportados por Ayerza et al. (2002), donde estos autores encontraron diferencias altamente significativas en el contenido de ácido α -linolénico cuando utilizaron 10% de inclusión de chía respecto al control. Sin embargo, no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con 10 y 20% de inclusión de chía. Los mismos sostienen que el contenido de chía en la dieta al 20% puede estar por debajo del que puede producir una concentración significativamente mayor de α -linolénico en comparación con la dieta al 10%. También fue encontrado por Azcona et al. (2008), un aumento en el contenido de ácido α -linolénico de los músculos de la pata y la pechuga de tres veces y cinco respectivamente cuando utilizaron 15% de semillas de chía en la ración.

La mayor concentración de EPA fue encontrada en el tratamiento 3 independientemente del músculo, aumentando al menos por tres su cantidad con respecto al control. Considerando el efecto principal del tipo de músculo para EPA, *Pectoralis major* presentó un mayor contenido de este ácido graso que *Ileotibialis lateralis*, similar efecto encontró del Puerto et al. (2017).

Por otro lado, el DHA también incrementó su concentración hasta tres veces en los músculos estudiados. No se encontró un efecto del músculo para este ácido graso.

En la misma línea Azcona et al. (2008), informaron sobre el aumento significativo de la sumatoria de los ácidos grasos n-3 EPA, DPA y DHA duplicando la concentración en músculos de la pata y la pechuga cuando se utilizó un 15% de semillas de chía en la dieta. Los valores encontrados por Azcona et al. (2008), cuando utilizaron un 15 % de chía en la dieta de las aves de carne son 30 a 50 % más altos que los encontrados en el presente trabajo cuando se utilizó 15 % de semillas de chía en la dieta de las aves de carne. Por el contrario, Ayerza et al. (2002), no reportaron valores de ácidos grasos n-3 EPA, DPA y DHA en su ensayo cuando utilizaron 10 y 20 % de inclusión de chía en la dieta de las aves. Estos ácidos grasos no se detectaron en yemas de huevos de gallinas que recibieron dietas que contenían semillas de chía molida en diferentes porcentajes (Coorey et al., 2015).

Aquí se debe relativizar globalmente los resultados de composición en ácidos grasos presentados por Ayerza et al. (2002). Estos autores calcularon la cantidad de los distintos ácidos grasos en función de la proporción de los lípidos totales determinados en la carne. Pero los niveles de lípidos totales determinados por dichos autores son llamativamente elevados teniendo en cuenta que son pollos parrilleros. Por ejemplo, las proporciones de lípidos totales en la carne del muslo eran de 19,03, 13.26 y 16.13 % para los animales controles sin chía, con 10 % de chía y 20 % de chía, respectivamente. Normalmente, la carne de pollo contiene, aún con la inclusión de la piel, una proporción de lípidos totales de entre 2 y 4 % (Mourot y Hermier, 2001; Dal Bosco et al., 2012; Castroman et al., 2013; Gallinger et al. 2016; del Puerto et al., 2017; Giampietro-Ganeco et al., 2020). Así que, aún sumando la piel con la carne en el análisis de lípidos totales, no se puede explicar los altos valores de lípidos totales que se muestran en el trabajo de Ayerza et al. (2002). En consecuencia, multiplicar la proporción de cada ácido graso por dicha cantidad de lípidos, inevitablemente sobreestiman fuertemente la cantidad total de todos los ácidos grasos detectados. Eso explicaría porque estos autores indican, a nuestro entender de forma

errónea, que la dieta con chía aumentó 8 veces el contenido de ácidos grasos n-3 en la carne de pollos de su experimento.

5.4 Índices de salud

En el cuadro 13 se presentan los resultados obtenidos en los índices de salud y la sumatoria de los ácidos grasos en los músculos *Pectoralis major*, *Gastrocnemius* e *Ileotibialis lateralis* a las 24 horas post mortem. Se analizan los efectos principales de la dieta y del músculo.

En el presente estudio, el enfoque en la nutrición humana y la salud ha sido considerada a través del cálculo de los índices lipídicos que generalmente se utilizan para clasificar a los alimentos en función de su efecto potencial en la promoción de enfermedades, principalmente cardiovasculares.

Cuadro 13. Efecto de la inclusión de semillas de chía en 0% (Control); 2.5% (T1); 5% (T2) y 10% (T3) en una dieta recibida de los 21 a 49 días de edad sobre los índices de salud en los músculos *Pectoralis major* (PM), *Gastrocnemius* (GN) e *Ileotibialis lateralis* (ITL).

	<i>Gastrocnemius</i> (GN)				<i>Ileotibiales lateralis</i> (ITL)				<i>Pectoralis major</i> (PM)				Efectos principales	
	C	T1	T2	T3	C	T1	T2	T3	C	T1	T2	T3	Dieta	Músculo
Σ Sat	31,7 ab ± 0,94	29,1 b ± 0,77	31,4 ab ± 0,70	33,3 a ± 0,60	29,2 bc ± 0,82	27,8 c ± 0,55	30,8 b ± 0,54	33,2 a ± 0,66	28,9 b ± 0,58	30,2 b ± 0,93	30,8 b ± 0,57	34,4 a ± 0,79	* T3 > C,T1,T2; T1 < T2	NS
Σ MUFA	43,0 a ± 1,24	43,2 a ± 1,01	40,0 a ± 0,85	34,9 b ± 1,11	47,4 a ± 1,02	46,3 b ± 0,79	41,6 c ± 1,28	35,2 d ± 1,17	46,2 a ± 0,91	42,5 b ± 0,91	41,4 bc ± 0,72	34,2 d ± 1,15	* T3 < T2,T1,C; T2 < C,T1	** GN < ITL
Σ PUFA	23,8 c ± 0,89	26,3 bc ± 0,68	27,3 b ± 0,66	30,5 a ± 0,79	22,3 c ± 0,60	24,8 bc ± 0,53	26,5 b ± 0,87	30,3 a ± 0,73	23,3 c ± 0,47	25,9 b ± 0,82	26,5 b ± 0,61	29,9 a ± 0,62	* C < T1,T2,T3; T1 < T3; T2 < T3	NS
Pufa/Sat	0,76 b ± 0,03	0,91 a ± 0,03	0,88 ab ± 0,03	0,92 a ± 0,03	0,77 b ± 0,03	0,90 a ± 0,03	0,86 ab ± 0,03	0,92 a ± 0,02	0,81 ± 0,02	0,87 ± 0,05	0,87 ± 0,03	0,87 ± 0,02	* C < T1,T2,T3	NS
Σ n-6	21,6 b ± 0,84	22,8 ab ± 0,57	22,7 ab ± 0,55	24,1 b ± 0,46	20,4 b ± 0,50	21,5 b ± 0,47	21,9 ab ± 0,74	23,9 a ± 0,46	21,1 b ± 0,38	22,2 ab ± 0,65	21,6 ab ± 0,44	23,2 a ± 0,41	* T3 > T2,T1 C	NS
Σ n-3	2,15 d ± 0,08	3,52 c ± 0,16	4,60 b ± 0,27	6,42 a ± 0,39	1,88 d ± 0,11	3,21 c ± 0,13	4,50 b ± 0,34	6,36 a ± 0,33	2,17 d ± 0,11	3,63 c ± 0,20	4,84 b ± 0,31	6,60 a ± 0,26	* T3 > T2,T1,C; C < T1,T2; T1 < T2	NS
n-6/n-3	10,1 a ± 0,39	6,59 b ± 0,24	5,11 c ± 0,25	3,85 d ± 0,15	11,2 a ± 0,48	6,80 b ± 0,23	5,05 c ± 0,26	3,81 d ± 0,11	9,94 a ± 0,30	6,29 b ± 0,26	4,66 c ± 0,26	3,56 d ± 0,10	* T3 < T2,T1,C; T2 < T1,C; T1 < C	** PM < ITL
AI	0,35 b ± 0,03	0,31 ab ± 0,01	0,35 ab ± 0,02	0,38 a ± 0,01	0,31 bc ± 0,01	0,30 c ± 0,01	0,34 ab ± 0,01	0,38 a ± 0,01	0,31 b ± 0,01	0,33 bc ± 0,02	0,34 bc ± 0,01	0,41 a ± 0,01	* T3 > T2,T1,C; T2 > T1	NS
TI	0,81 a ± 0,03	0,66 b ± 0,03	0,69 b ± 0,03	0,67 b ± 0,02	0,73 a ± 0,03	0,63 b ± 0,02	0,67 ab ± 0,01	0,67 ab ± 0,02	0,71 ± 0,02	0,69 ± 0,03	0,66 ± 0,02	0,70 ± 0,02	* C > T3,T2,T1	NS
h/H	3,22 ab ± 0,13	3,55 a ± 0,14	3,15 ab ± 0,13	2,85 b ± 0,09	3,53 bc ± 0,12	3,70 ab ± 0,13	3,16 c ± 0,08	2,85 cd ± 0,08	3,54 a ± 0,10	3,41 ab ± 0,17	3,16 ab ± 0,10	2,68 c ± 0,08	* T3 < T2,T1,C; T2 < C, T1	NS

Los valores están representados como medias con su respectivo desvío estándar (n=14), letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos dentro de un mismo músculo (p<0,005). NS: no significativo. * p<0,001, ** p<0,01. PM: músculo *Pectoralis major*, GN: músculo *Gastrocnemius*, ITL: músculo *Ileotibialis lateralis*.

La cantidad total de ácidos grasos saturados aumentó de forma leve pero significativa ($P < 0,001$) en el tratamiento 3 para los músculos *Ileotibialis lateralis* y *Pectoralis major*, mientras que el músculo *Gastrocnemius* permaneció estable. No se encontró un efecto principal sobre el tipo de músculo para los ácidos grasos saturados. Resultados opuestos fueron hallados por Azcona et al. (2008), que en su ensayo con 15% de inclusión de chía en la dieta reportó una cantidad significativamente menor de ácidos grasos saturados totales en los músculos de la pata y la pechuga. Similar hallazgo ocurre en el trabajo de Ayerza et al. (2002), donde un 20% de agregado de chía en la ración disminuye la cantidad de ácidos grasos saturados en un 8,6% y 17,5% en músculo de la pata y la pechuga respectivamente.

El contenido de MUFA, que constituye el mayor porcentaje de ácidos grasos, disminuye significativamente en todos los cortes cuando se incrementa el porcentaje de chía en la ración. Esto concuerda con lo reportado por Ayerza et al. (2002), y Azcona et al. (2008), cuando los pollos fueron alimentados con semillas de chía, con Sheehy et al. (1993), cuando utilizaron semillas de lino y con Miller y Robisch (1969), cuando utilizaron aceite de lacha y arenque en la dieta de los animales. Pero estos resultados son opuestos a los hallados cuando las aves fueron alimentadas con harina de pescado (Hulan et al., 1989; Ratanayake et al., 1989) o aceite de pescado (Hulan et al., 1988). En el presente trabajo se encontró un efecto del tipo de músculo donde *Gastrocnemius* presentó menor concentración de MUFA que *Ileotibialis lateralis*. Como sugirieron Ayerza y Coates (1999;2000), la disminución en el contenido de MUFA en las aves de engorde podría estar relacionada con el efecto inhibitorio de los PUFA contra la actividad de la enzima $\Delta 9$ desaturasa, enzima clave utilizada para desaturar y alargar el ácido palmítico en palmitoleico y el ácido esteárico en oleico (Brenner, 1989).

La cantidad total de PUFA aumenta en la medida que hay más agregado de chía en la ración debido principalmente al gran aumento de los ácidos grasos n-3. Estos ácidos grasos tuvieron un efecto muy marcado con aumentos significativos en todos los tratamientos de hasta tres veces su contenido, efecto evidente en todos los músculos. Estos resultados coinciden con los encontrados por Azcona et al. (2008), donde un 15% de semillas de chía en la ración aumentó por dos el contenido total de ácidos grasos n-3 en el músculo de la pechuga. Además, el contenido total de ácidos grasos n-6 permaneció

estable durante los tratamientos con pequeños incrementos hacia el tratamiento 3. No se encontró un efecto principal del tipo de músculo para ninguno de estos indicadores.

En consecuencia, la relación n-6/n-3 se redujo significativamente en la carne producida con chía respecto al control. Esta mejora de la relación n-6/n-3 hace que esté más cerca de las recomendaciones nutricionales. Este efecto se nota en todos los cortes. Estos resultados coinciden con los pocos trabajos realizados en la misma línea. Ayerza et al. (2002) encontraron, a pesar de la sobreestimación descrita más arriba, una reducción altamente significativa cuando utilizaron 10% de semillas de chía pero no hallaron diferencias significativas en la relación cuando compararon los tratamientos de 10 y 20% de semillas de chía. También Azcona et al. (2008), informaron una reducción significativa de la relación n-6/n-3 cuando utilizaron 15% de semillas de chía o lino en la dieta y menos significativa cuando utilizaron harina de chía. Gallinger (2015), reportó los mismos resultados en su trabajo con fuentes de ácidos grasos n-3 vegetales y animales.

La relación PUFA/SAT se mantuvo estable entre los tratamientos con chía en todos los cortes pero aumentó significativamente con respecto al tratamiento control para los músculos *Gastrocnemius* e *Ileotibialis lateral*. Esto puede deberse a la poca variación de los PUFA totales entre los tratamientos con chía. Similares relaciones PUFA/SAT se reportan por Ayerza et al. (2002), con un 10% de inclusión de chía en la dieta y no encuentran diferencias significativas en dicha relación cuando comparan 10 y 20% de chía añadida. También en la investigación de Azcona et al. (2008), indican semejante efecto en dicha relación. Dado que los ácidos grasos saturados son hipercolesterolémicos y los poliinsaturados son hipocolesterolémicos, consumir alimentos con relaciones PUFA/SAT altas es importante en términos de reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Chen y Liu, 2020).

Haciendo referencia a los índices, el índice aterogénico (AI) aumentó significativamente ($P < 0,001$) respecto al control resultando un efecto indeseable en la carne enriquecida comparada con la control, sin embargo los valores son menores a los encontrados en otros trabajos realizados en carne de pollo (del Puerto, 2017) y en carne vacuna (Terevinto, 2019).

Para el índice trombogénico (TI) se encontró que disminuye en los tratamientos con chía respecto al control para los músculos *Gastrocnemius* e *Ileotibialis lateral* y se mantiene sin cambios en *Pectoralis major*. Para estos dos índices, el valor deseable es el más bajo posible, por lo que la semilla de chía tuvo efectos beneficiosos solamente sobre el índice trombogénico.

El índice hipo/hipercolesterolémica (h/H) de los cortes disminuye con la adición de chía en la ración, efecto indeseable ya que debe ser lo más alto posible para proteger al consumidor de la hipercolesterolemia. De todas formas estos valores son comparativamente más altos que los encontrados en otras investigaciones (del Puerto, 2017; Terevinto, 2019).

Para estos tres índices considerados no se observó un efecto principal del tipo de músculo. Estas relaciones entre los ácidos grasos se consideran importantes predictoras de enfermedades cardiovasculares y se necesita una relación equilibrada para proporcionar una buena salud cardiovascular.

5.5 Aporte nutricional de PUFA de la carne de ave enriquecida a la dieta humana

Uno de los objetivos principales del trabajo de investigación realizado para esta tesis, era obtener una carne de ave enriquecida en ácidos grasos n-3, como medio para incrementar el aporte de estos en la dieta humana. Entonces, a continuación se analiza la repercusión de la ingesta de la carne de pollo objeto de esta tesis en la alimentación humana. Para eso, se calculó el aporte de una porción de 200 g de carne, para dicho cálculo se estimó el aporte de los diferentes ácidos grasos de los diferentes músculos usando la media del contenido de lípidos de cada músculo.

Si bien la mayor parte de los lípidos totales corresponde a los ácidos grasos en los tejidos animales, haciendo parte de los triacilgliceroles y los fosfolípidos principalmente, se entiende también que lípidos totales no es totalmente equivalente a ácidos grasos totales. En los factores de conversión establecidos por Greenfield y Southgate (2003), se estima que para la carne de pollo aproximadamente 95 % de los lípidos totales corresponden a ácidos grasos. Sin embargo, y como forma de facilitar la cuantificación de los aportes en

diferentes ácidos grasos estudiados en este trabajo, se utilizará el supuesto de que lípidos totales es equivalente a ácidos grasos totales.

5.5.1 Aporte nutricional de n-6 a la dieta humana

Una porción de 200 g de carne de pollo cruda (pata o muslo) alimentado con una dieta enriquecida en un 10% con semillas de chía aporta 1140 mg de ácidos grasos n-6 y una porción de pechuga en igual condición aporta 900 mg de ácidos grasos n-6.

El consumo de 200 g de pata o muslo de pollo alimentado con una dieta con semillas de chía al 10 % proporciona solamente el 10 % de n-6 diario recomendado en mujeres y aproximadamente el 8 % en hombres. Por otro lado, el consumo de 200 g de pechuga de pollo alimentado con una dieta con semillas de chía al 10 % proporciona el 8 % de n-6 diario recomendado en mujeres y aproximadamente el 6 % en hombres (EFSA, 2009).

5.5.2 Aporte nutricional de n-3 a la dieta humana

Una porción de 200 g de carne de pollo cruda (pata, muslo) alimentado con una dieta enriquecida en un 10 % con semillas de chía aporta 300 mg de ácidos grasos n-3 y una porción de pechuga en igual condición aporta 260 mg de ácidos grasos n-3. Esto representa un aumento de 3, 2,2 y 2,8 veces la cantidad de estos ácidos grasos para los músculos de la pata, muslo y pechuga respectivamente en comparación con la carne proveniente de animales alimentados con la dieta control. Se debe indicar que la dieta control usada en este trabajo contiene las materias primas y tiene las características habituales de una producción comercial.

Estos valores se comparan favorablemente con una porción de 200 g de atún claro, que proporciona 200 mg de ácidos grasos n-3 (FAO, 2021b).

El consumo de 200 g de pata o muslo de pollo alimentado con una dieta con semillas de chía al 10 % puede proporcionar el 30 % de los ácidos grasos n-3 diario recomendado en mujeres y aproximadamente el 20 % en hombres (EFSA, 2009).

De nuevo se debe indicar que estos datos discrepan por los presentados por Ayerza (2002), en el cual concluyen que una porción de 100 g de carne de pechuga de pollo alimentados con una dieta con 10 % de chía proporciona aproximadamente 703 mg de

ácidos grasos n-3. Además estos autores concluyen que consumir dos porciones diarias de 100 g, una de pechuga y otra de pata de pollos alimentados con chía al 20 % cumple con las recomendaciones nutricionales para adultos. Ya se explicó más arriba la razón de esa discrepancia con los resultados que se encontraron en la investigación en esta tesis. Por otro lado, Azcona et al. (2008), concluyen que una porción de 100 g de pata o pechuga sin piel de pollo alimentado con una dieta con semillas de chía al 15% proporciona 367 o 173 mg respectivamente de ácidos grasos n-3. Además concluyen que el consumo de dos porciones de pata sin piel de pollo alimentado con una dieta con semillas de chía al 15% puede proporcionar el 58% del ácido graso n-3 diario recomendado para una dieta de 2700 calorías.

Cuando se considera la incorporación de ALA de forma individual, se observa un efecto músculo. Se puede observar que existen diferencias entre los músculos, donde cada músculo presenta incorporación superior respecto a cada uno de ellos. El GN presenta la menor incorporación, seguido por el ITL y finalmente el PM presenta la mayor incorporación de ALA (Fig. 3). Respecto al efecto tratamiento, se puede ver que el control presenta la menor incorporación de ALA, también menor que para el T1 de chía. Tanto el tratamiento control y el T1 presentan menor incorporación que el T2. Sin embargo T2 y T3 no son diferentes (Fig. 3).

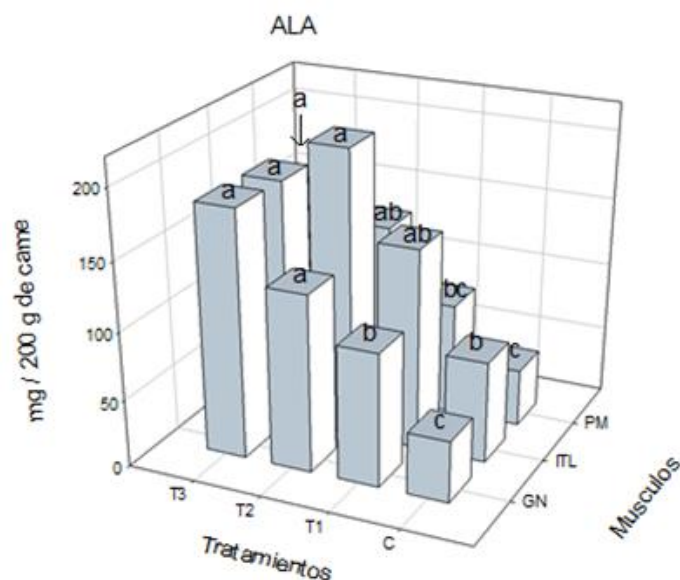


Figura 3. Aportes en ácido alfa-linolénico (ALA), con el consumo de 200 gramos de carne fresca de los músculos , *Gastrocnemius* (pata, GN), *Ileotibialis lateralis* (muslo, ITL) y *Pectoralis major* (pechuga, PM) proveniente de pollos broilers *Gallus domesticus* alimentados con niveles crecientes de semillas enteras de chía. Los niveles de chía fueron 0% C, 2,5% T1, 5% T2 y 10% T3. Para mayor claridad en la figura se omitieron las barras de error (SEM). Letras diferentes en la parte superior de las barras indican diferencias significativas dentro de un mismo músculo. Efectos principales ALA: Efecto músculo $P < 0.0007$ (GN<ITL<PM). Efecto tratamiento $P < 0.000001$ (C<T1<T2, T3. T2=T3).

Para los ácidos grasos EPA y DHA, una porción de 200 g de carne de pollo cruda (pata, muslo o pechuga) alimentado con una dieta enriquecida con semillas de chía al 10 % aporta 18 mg de EPA y 30 mg de DHA aproximadamente. Esto representa un aumento del contenido de EPA y DHA de la carne de aproximadamente 3 veces su cantidad en comparación con la carne proveniente de la dieta control.

Estos valores corresponden a un 25 % del aporte de EPA y DHA que contienen 100 g de atún claro.

Tomando un valor de ingesta de referencia de 250 mg diarios de EPA y DHA para hombres y mujeres sanos, el consumo de 200 g de pata, muslo o pechuga de pollo alimentados con una dieta con semillas de chía al 10 % puede proporcionar el 20% de EPA y DHA diario (EFSA, 2009).

Los aportes individuales en ácidos grasos EPA, DPA, DHA, y la suma EPA+DHA provenientes de 200 g de carne de los diferentes músculos para cada tratamiento se pueden observar en la figura 4. No se encontró un efecto músculo, pero sí un efecto

tratamiento, indicando que el nivel de chía incorporado de forma creciente en la dieta favorece de manera proporcional la incorporación de EPA, DPA y EPA+DHA. Pero no para el DHA, donde no hubo diferencia entre las dietas con 5 y 10 % de chía (Fig. 4).

Del mismo modo en la figura 5 aparecen representados los aportes en ácidos grasos sumados de EPA+DPA+DHA, con el consumo de 200 gramos de carne fresca de los músculos estudiados. En este caso tampoco se encontró un efecto músculo. Pero cuando se consideró el efecto tratamiento, se observa que la incorporación de chía en cantidades crecientes provocó una incorporación proporcional del conjunto de ácidos grasos EPA+DPA+DHA (Fig. 5).

Sin embargo, cuando se analiza la incorporación de los diferentes ácidos grasos en cada músculo de forma separada, no siempre existe proporcionalidad entre nivel de chía en la dieta e incorporación de un ácido graso, tal como se puede observar en las figuras 4 y 5.

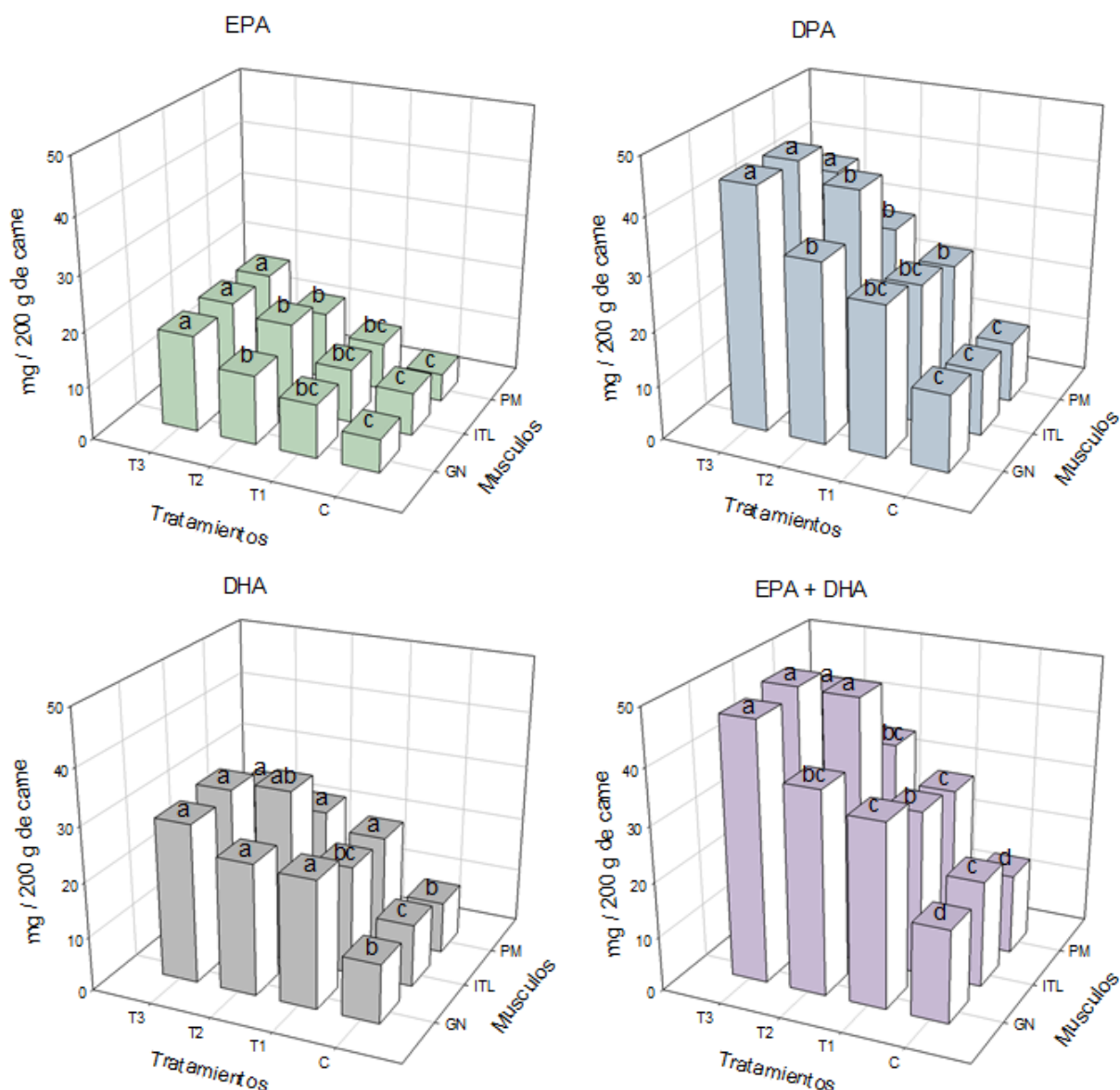


Figura 4. Aportes en ácidos grasos EPA, DPA, DHA, y la suma en EPA+DHA, con el consumo de 200 gramos de carne fresca de los músculos, *Gastrocnemius* (pata, GN), *Ileotibialis lateralis* (muslo, ITL) y *Pectoralis major* (pechuga, PM), proveniente de pollos broilers *Gallus domesticus* alimentados con niveles crecientes de semillas enteras de chía. Los niveles de chía fueron 0% (C), 2,5% (T1), 5% (T2) y 10% (T3). Para mayor claridad en la figura se omitieron las barras de error estándar de la media (SEM). Letras diferentes en la parte superior de las barras indican diferencias significativas dentro de un mismo músculo.

Efectos principales:

EPA: Efecto músculo No significativo. Efecto tratamiento $P < 0.000001$ ($C < T1 < T2 < T3$).

DPA: Efecto músculo No significativo. Efecto tratamiento $P < 0.000001$ ($C < T1 < T2 < T3$).

DHA: Efecto músculo No significativo. Efecto tratamiento $P < 0.000001$ ($C < T1 < T2, T3, T2 = T3$).

EPA+DHA: Efecto músculo NS. Efecto tratamiento: $P < 0.000001$ ($C < T1 < T2 < T3$).

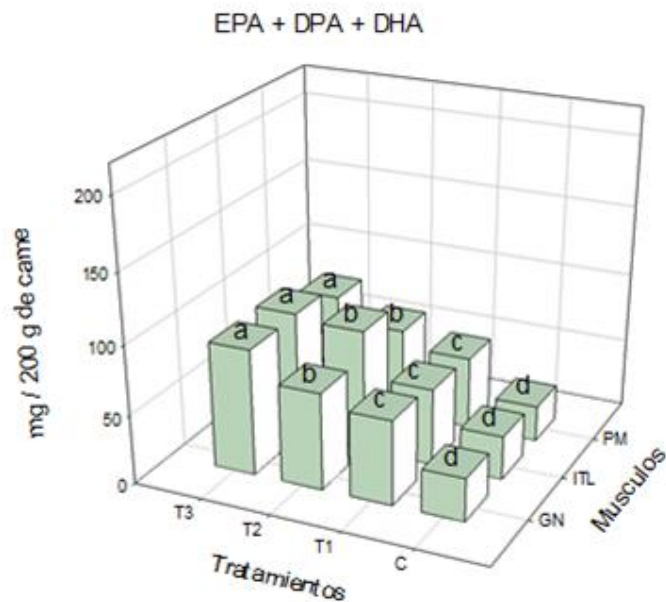


Figura 5. Aportes en ácidos grasos EPA+DPA+DHA con el consumo de 200 gramos de carne fresca de los músculos , *Gastrocnemius* (pata, GN), *Ileotibialis lateralis* (muslo, ITL) y *Pectoralis major* (pechuga, PM) proveniente de pollos broilers *Gallus domesticus* alimentados con niveles crecientes de semillas enteras de chía. Los niveles de chía fueron 0% C, 2,5% T1, 5% T2 y 10% T3. Para mayor claridad en la figura se omitieron las barras de error (SEM). Letras diferentes en la parte superior de las barras indican diferencias significativas dentro de un mismo músculo.

Efectos principales EPA+DPA+DHA: Efecto músculo NS. Efecto tratamiento: $P < 0.00001$ (C<T1<T2<T3).

6. Conclusiones

En el presente trabajo se obtuvo una carne de ave enriquecida en ácidos grasos poliinsaturados n-3 como el EPA, el DPA y el DHA, considerados como protectores de la salud cardiovascular para los consumidores, a partir de la inclusión de semillas de chía en la dieta de las aves. Dicha semilla es una planta cultivada y utilizada regionalmente, de fácil acceso y simple manejo al momento de la elaboración industrial de raciones para aves.

La inclusión de niveles crecientes de 2,5, 5 y 10% de semillas de chía en la dieta de las aves imprime un perfil lipídico con mayor concentración de ácidos grasos poliinsaturados EPA, DPA y DHA que se incrementan en la medida que hay más contenido de chía en la dieta. Se mejoró drásticamente la relación n-6/n-3, y aumentaron los ácidos grasos poliinsaturados n-3 totales, también mejoraron los valores del índice de salud trombogénico. La inclusión de 10% de semillas de chía en la dieta de los animales demostró ser el tratamiento con el mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados n-3 en los músculos *Pectoralis major*, *Gastrocnemius* e *Ileotibialis lateralis*.

En conclusión, esta investigación aporta información valiosa y original para el sector productivo. Muestra un camino interesante para obtener una carne aviar que de una forma puede ser considerada como alimento funcional, que puede ayudar a combatir un flagelo mundial, como son las enfermedades cardiovasculares. Utilizar la semilla de chía como suplemento nutricional para la alimentación de pollos, adjudicó un plus importante al momento de valorizar la carne de ave que ya, por sí misma es de alto valor nutricional para los consumidores.

Como perspectivas de futuro, el mismo camino de enriquecimiento descrito en esta tesis puede ser utilizado para otros tipos de alimentos con alto consumo en Uruguay. Por ejemplo, enriquecer huevos de gallina con los mismos ácidos grasos de interés para la salud, alimentando los animales con las mismas semillas de chía. El uso de la chía sería una alternativa al uso de harinas o aceites de pescado para producir huevos enriquecidos, tal como se hace para los huevos comercializados en el país.

7. Bibliografía

Aguilera, C.M., Ramírez M.C., Mesa, M.D. y Gil, Á. 2001. Efectos protectores de los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados sobre el desarrollo de la enfermedad cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*. 16(3):78-91.

Akoh, C.C. y Min, D.B. 2002. *Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology*, Second Edition (2nd ed.). CRC Press.

Ali, N.M., Yeap, S.K., Ho, W.Y., Beh, B.K., Tan, S.W. y Tan, S.G. 2012. The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. *Journal of Biomedical and Biotechnology*. vol. 2012. 9p.

Ando, E., Morisaki, N., Asakura, K., Ogawa, K., Sasaki, S., Horikawa, R., y Fujiwara, T. 2021. Association between dietary intake and serum biomarkers of long-chain PUFA in Japanese preschool children. *Public Health Nutrition*. 24(4):593-603.

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

Ayerza, R. y Coates, W. 1996. New industrial crops: Northwestern Argentina regional Project. P. 45-51. En: J. Janick (ed.). *Proceedings of the third national symposium: New crops, new opportunities, new technologies*. Indianapolis IN.

Ayerza, R. y Coates, W. 1999. An ω -3 fatty acid enriched chia diet: Influence on egg fatty acid composition, cholesterol and oil content. *Canadian Journal of Animal Science*. 79(1):53-58.

Ayerza, R. y 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. y 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. y Coates, W. 2002. Dietary levels of chia: influence on hen weight, egg production and sensory quality, for two strains of hens. *British Poultry Science*. 43(2):283-290.

Ayerza, R. y Coates, W. 2005. Enrichment of animal products with omega-3 fatty acids using chia seed-based ingredients. Pages 797-807 in M. J. Pascual-Villalobos, F. S. Nakayama, C. A. Bailey, E. Correal, and W. W. Schloman, Jr., eds. *Industrial crops and rural development. The Association for the Advancement of Industrial Crops, and Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario, Murcia, Spain*

Ayerza, R. y Coates, W. 2006. Influence of Chia on total fat, cholesterol, and fatty acid profile of Holstein Cow's milk. *Revista Científica de UCES*. 10(2):39-48.

Ayerza, R. y Coates, W. 2011. Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica* L.). *Industrial Crops and Products*. 34:1366-1371.

Ayerza, R., Coates, W. y Lauria, M. 2002. Chia seed (*Salvia hispanica* L.) as an omega-3 fatty acid source for broilers: influence on fatty acid composition, cholesterol and fat content of white and dark meats, growth performance, and sensory characteristics. *Poultry Science*. 81(6):826-837.

Azcona, J.O., Schang, M.J., Garcia, P.T., Gallinger, C., Ayerza R. y 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.

Barbut, S. 1997. Problem of pale soft exudative meat in broiler chickens. *British Poultry Science*. 38(4):355-358.

Brenner, R.R. 1989. Factors influencing fatty acid elongation and desaturation. En: *The Role of Fats in Human Nutrition*. Ergoesen, A.J y Crawford, M. Ed. Academic Press, New York. 45-79.

Cabrera, M.C. y Saadoun, A. 2014. An overview of the nutritional value of beef and lamb meat from South America. *Meat Science*. 98:435-444.

Castromán, G., del Puerto, M., Ramos, A., Cabrera, M.C. y Saadoun, A. 2013. Organic and conventional chicken meat produced in Uruguay: colour, Ph, fatty acids composition and oxidative status. *American Journal of Food and Nutrition*. 1:12-21.

Chen, J., y Liu, H. 2020. Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review. *International Journal of Molecular Sciences*. 21(16):5695.

Cherian, G., Wolfe, F. y Sim, J. 1996. Dietary Oils with Added Tocopherols: Effects on Egg or Tissue Tocopherols, Fatty Acids, and Oxidative Stability. *Poultry science*. 75:423-431.

CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). 1976. Recommendations on uniform color spaces-color difference equations, psychometric color terms. CIE Publication No. 15 (E-1.3.1.) 1978, 1971/ (TC-1-3). Supplement No. 2. Paris, France. Commission Internationale de l'Eclairage. 9-12.

Comisión Honoraria para la Salud Cardiovascular. Primera aproximación a la mortalidad por enfermedades cardiovasculares. 2021. <https://cardiosalud.org/primera-aproximacion-a-la-mortalidad-por-enfermedades-cardiovasculares-en-uruguay-2020/>. Acceso el 24/11/2021.

Comisión Honoraria para la Salud Cardiovascular. <https://cardiosalud.org>. Acceso el 2/09/2020.

- Coorey, R., Novinda, A., Williams, H. y Jayasena, V. 2015. Omega-3 fatty acid profile of eggs from laying hens fed diets supplemented with chia, fish oil, and flaxseed. *Journal Food Science*. 80(1):S180-7.
- Cortinas, L., Villaverde, C., Galobart, J., Baucells, M.D., Codony, R. y Barroeta, A.C. 2004. Fatty acid content in chicken thigh and breast as affected by dietary polyunsaturation level. *Poultry Science*. 83(7):1155-1164.
- Cottin, S.C., Sanders, T.A. y Hall, W.L. 2011. The differential effects of EPA and DHA on cardiovascular risk factors. *Proceedings of the Nutrition Society*. 24:1-17.
- Crawford, M.A. 1968. Fatty acid ratios in free-living and domestic animals. *The Lancet*. 1329-1333.
- Crespo, N., y Esteve-Garcia, E. 2001. Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens. *Poultry Science*. 80:71-78.
- Cunnane, S.C. 2003. Problems with essential fatty acids: time for a new paradigm? *Progress in Lipid Research*. 42:544-568.
- Dal Bosco, A., Mugnai, C., Ruggeri, S., Mattioli, S. y Castellini, C. 2012. Fatty acid composition of meat and estimated indices of lipid metabolism in different poultry genotypes reared under organic system. *Poultry Science*. 91:2039-2045.
- De Lorgeril, M., Salen, P., Martin, J.L., Mamele, N., Monjaud, I., Touboul, P. y Delaye, J. 1996. Effect of a mediterranean type of diet on the rate of cardiovascular complications in patients with coronary artery disease. Insights into the cardioprotective effect of certain nutriments. *Journal of the American College of Cardiology*. 28(5):1103-1108.
- del Puerto, M., Cabrera M.C. y 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*. vol. 2017. 8 p.
- Dyerberg, J., Bang, H.O., Stoffersen, E., Moncada, S., y Vane, J.R. 1978. Eicosapentaenoic acid and prevention of thrombosis and atherosclerosis. *The Lancet*. 2:117-119.
- Eaton, S.B., Sinclair, A.J., Cordain, L. y Mann, N.J. 1998. Dietary intake of long-chain polyunsaturated fatty acids during the paleolithic. *World Review of Nutrition and Dietetics*. 83:12-23.
- Eder, K. 1995. Gas chromatographic analysis of fatty acid methyl esters. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*. 671(1-2):113-131.
- EFSA (European Food Safety Authority). 2009. Scientific Opinion: Labelling reference intake values for n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids. *The EFSA Journal*. 1176:1-11.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2010. Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an Expert Consultation in Food and Nutrition. FAO, Rome.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2020. Meat Market Review, Emerging trends and outlook, December 2020. <https://www.fao.org/3/cb2423en/CB2423EN.pdf>. Acceso el 23 julio 2021.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2021a. Meat Market Review, Overview of global meat market developments in 2020, March 2021. <http://www.fao.org/3/cb3700en/cb3700en.pdf>. Acceso el 25 julio 2021.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2021b. Panorama general de los ácidos grasos omega 3. <https://www.fao.org/in-action/globefish/fishery-information/resource-detail/es/c/1052148/>. Acceso el 23 julio 2021.

Fernández, M., Ordóñez, J.A., Cambero, I., Santos, C., Pin, C. y Hoz, L.D.L. 2006. Fatty acid compositions of selected varieties of Spanish dry ham related to their nutritional implications. *Food Chemistry*. 101(1):107-112.

Figuerola, F., Muñoz, O. y Estévez A.M. 2008. La linaza como fuente de compuestos bioactivos para la elaboración de alimentos. *Agro Sur*. 36(2):49-58.

Flock, M.R., Harris, W.S. y Kris-Etherton, P.M. 2013. Long-chain omega-3 fatty acids: time to establish a dietary reference intake. *Nutrition Reviews*. 71(10):692-707.

Folch, J., Lees, M. y Sloane-Stanley, G.H. 1957. A simple method for isolation and purification of total lipides from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry*. 226(1):497-509.

Gallinger, C. 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. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 270 p.

Gallinger, C., Federico, F., Pighin, D., Cazaux, N., Trossero, M., Marsó, A. y Sinesi, C. 2016. Determinación de la composición nutricional de la carne de pollo argentina. *DIAETA*. 34(156):10-18.

Gates, W. 1552. *An Aztec Herbal: The Classic Codex of 1552*. New York, Estados Unidos.

Georga, L. 2020. Comportamiento de la cadena avícola. En: Anuario 2020 OPYPA (Oficina de Programación y Política Agropecuaria). MGAP (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca). <https://www.gub.uy/ministerioganaderiaagriculturapesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2020/analisis-sectorial-cadenas-productivas-0>. Acceso el 28 julio 2021

Giampietro-Ganeco, A., Boiago, M.M., Mello, J.L.M., De Souza, R.A., Ferrari, F.B., De souza, P.A. y Borba, H. 2020. Lipid Assessment, Cholesterol and Fatty Acid Profile of meat from broilers raised in four different rearing systems. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. 92(Suppl.1).

Gillman, M.W., Cupples, L.A., Millen, B.E., Ellison, R.C. y Wolf, P.A. 1997. Inverse association of dietary fat with development of ischemic stroke in men. *Journal of the American Medical Association*. 278(24):2145-2150.

Gómez Candela, C., Bermejo López, L. M., y Loria Kohen, V. 2011. Importance of a balanced omega 6/omega 3 ratio for the maintenance of health: Nutritional recommendations. *Nutrición Hospitalaria*. 26(2):323-329.

Greenfield, H. y Southgate, D.A.T. 2003. Food composition data. Production, Management and Use. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome 2003.

Hennekens, C.H., Buring, J.E. y Mayrent, C.L. 1990. Clinical and Epidemiological Data on the Effects of Fish Oil in Cardiovascular Disease. En *Omega-3 Fatty Acids in Health and Disease*. CRC Press. 71-85.

Hu, F.B., Stampfer, M.J., Manson, J.E., Ascherio, A., Colditz, G.A., Speizer, F.E. y Hennekens, C.H., Willett, W.C. 1999. Dietary saturated fats and their food sources in relation to the risk of coronary heart disease in women. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 70(6):1001-1008.

Hulan, H.W., Ackman, R.G., Ratanayake, W.M.N y Proudfoot, F.G. 1988. Omega-3 fatty acid levels and general performance of commercial broilers fed practical levels of redfish meal. *Poultry Science*. 68:153-162.

Hulan, H.W., Ackman, R.G., Ratanayake, W.M.N. y Proudfoot, F.G. 1989. Omega-3 fatty acid levels and performance of broilers chicken's redfish meal or redfish oil. *Canadian Journal of Animal Science* 68:533-547.

Ichihara, K., Yamaguchi, C., Araya, Y., Sakamoto, A. y Yoneda, K. 2010. Preparation of fatty acid methyl esters by selective methanolysis of polar glycerolipids. *Lipids*. 45(4):367-374.

Innes, J.K. y Calder, P.C. 2018. Omega-6 fatty acids and inflammation. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*. 132:41-48.

INRA (Institut National de la Recherche Agronomique). 1984. L'alimentation des animaux monogastriques: porc, lapin, volailles. 2^e édition revue et corrigée. INRA, Paris, 1989.

Jakhwal, P., Biswas, J. K., Tiwari, A., Kwon, E. E. y Bhatnagar, A. 2022. Genetic and non-genetic tailoring of microalgae for the enhanced production of eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) - A review. *Bioresource Technology*. 344(B).

Kris-Etherton, P.M., Grieger, J.A. y Etherton, T.D. 2009. Dietary reference intakes for DHA and EPA. *Prostaglandins, Leukotriene and Essential Fatty Acids*. 81(2-3):99-104.

Kromhout, D., Bosschieter, E.B. y Coulander, C. 1985. The inverse relation between fish consumption and 20 year mortality from coronary heart disease. *New England Journal of Medicine*. 312(19):1205-1209.

Lessire, M., M. Doreau, y A. Aumaitre. 1996. Digestive and metabolic utilization of fats in domestic animals. En: Oils and Fats Manual. A. Karleskind and J. P. Wolff, ed. Lavoisier Publishing, Paris. 703-714

Lichtenstein, A.H. 1999. Dietary fat: a history. *Nutrition Reviews*. 57(1):11-14.

Liepa, G.U. y Gorman, M.A. 1991. Nutritional and health aspects of dietary lipids. En: Introduction to fats and oils technology. Ed. Wan, P.J. Champaign. Ill., USA. 321-330.

Lin, C., Gray, A., Asghar, D., Buckley, A., Booren, A. y Flegal, C. 1989. Effects of dietary oils and α -tocopherol supplementation on lipid composition and stability of broiler meat. *Journal Food Science*. 54:1457-1460.

López-Ferrer, S., Baucells, M., Barroeta, A. y Grashorn, M. 1999. N-3 enrichment of chicken meat using fish oil: alternative substitution with rapeseed and linseed oils. *Poultry Science*. 78:356-365.

Mahmood, S.S., Levy, D., Vasan, R.S. y Wang, T.J. 2014. The Framingham Heart Study and the epidemiology of cardiovascular disease: a historical perspective. *The Lancet*. 383(9921):999-1008.

Marion, J. y Woodroof, J. 1963. The fatty acid composition of breast, thigh and skin tissues of chicken broilers as influenced by dietary fats. *Poultry Science* 42:1202-1207.

Maskrey, B.H., Megson, I.L., Rossi, A.G. y Whitfield, P.D. 2013. Emerging importance of omega-3 fatty acids in the innate immune response: molecular mechanisms and lipidomic strategies for their analysis. *Molecular Nutrition and Food Research*. 57(8):1390-1400.

Mehaffey, J.M., Pradhan, S.P., Meullenet, J.F., Emmert, J.L. y McKee, S.R., Owens, C.M. 2006. Meat quality evaluation of minimally aged broiler breast fillets from five commercial genetic strains. *Poultry Science*. 85(5):902-908.

Miller, D., y Robisch, P. 1969. Comparative effect of herring, menhaden, and safflower oils on broiler tissues fatty acid composition and flavor. *Poult. Sci.* 48:2146-2157.

Mourot J y Hermier D. Lipids in monogastric animal meat. 2001. *Reproduction Nutrition Development*. 41(2):109-118.

Nettleton, J.A. 1995. Omega 3 fatty acids and health. Chapman & Hall. New York, USA.

Nir, I., Nitzan, Z. y Keren-Zvi, S. 1988. Fat deposition in birds. En: *Leanness in Domestic Birds*. Leclercq, B. y Whitehead, C.C. Ed. Butterworth, London. 141-174.

OECD-FAO (The Organization for Economic Co-operation and Development-Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2021. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*.
<https://www.oecdilibrary.org/sites/19428846en/1/3/6/index.html?itemId=/content/publi>

cation/19428846en&_csp_=78a77099f3b0c6eae1de8bfe93d3b09e&itemIGO=oe&itemContentType=book. Acceso el 22 julio 2021.

Okuyama, H., Kobayashi, T., y Watanabe, S. 1996. Dietary fatty acids--the N-6/N-3 balance and chronic elderly diseases. Excess linoleic acid and relative N-3 deficiency syndrome seen in Japan. *Progress in lipid research*. 35(4):409-457 .

Parks, C.A., Brett, N.R., Agellon, S., Lavery, P., Vanstone, C.A., Maguire, J.L., Rauch, F. y Weiler, H.A. 2017. DHA and EPA in red blood cell membranes are associated with dietary intakes of omega-3-rich fish in healthy children. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids (PLEFA)*. 124:11–16.

Petrova, S., Dimitrov, P., Willett, W.C. y Campos, H. 2011. The global availability of n-3 fatty acids. *Public Health Nutrition*. 31:1-8.

Planchon, G. y Collin, E. 1895. *Les drogues simples d'origine végétale*. Tome 1. Octave Doin. Paris, France.

Ratanayake, W.M.N., Ackman, R.G. y Hulan, H.W. 1989. Effect of redfish meal enriched diets on the taste and n-3 PUFA of 42-day-old broiler chickens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 49:59-74.

Rodríguez, J. 1992. *Historia de la agricultura y de la fitopatología*. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. D.F., México.

Rose, K.A., Nudds, R.L., y Codd, J.R. 2016. Variety, sex and ontogenetic differences in the pelvic limb muscle architectural properties of leghorn chickens (*Gallus gallus domesticus*) and their links with locomotor performance. *Journal of anatomy*. 228(6):952-964.

Ruiz-Núñez, B., Dijck-Brouwer, D.A. y Muskiet, F.A. 2016. The relation of saturated fatty acids with low-grade inflammation and cardiovascular disease. *Journal of Nutrition Biochemistry*. 36:1-20.

Rulfo, J.M. 1937. *La chía*. *Agricultura*. 1:28-37.

Saadoun, A., y Leclercq, B. 1987. *In vivo* lipogenesis of genetically lean and fat chickens: effects of nutritional state and dietary fat. *The Journal of Nutrition*, 117(3):428-435.

Serhan, C.N. y Chiang, N. 2008. Endogenous pro-resolving and anti-inflammatory lipid mediators: a new pharmacologic genus. *British Journal of Pharmacology*. 153(1):200-215.

Shahidi, F. 1998. Functional seafood lipids and proteins. En *Functional Foods: Biochemical and Processing Aspects*. Ed. Mazza, G. Lancaster, UK. 381-401.

Sheehy, P.J.A., Morrissey, P.A. y Flynn, A. 1993. Influence of heated vegetable oils and α -tocopheryl acetate supplementation on α -tocopherol, fatty acids and lipid peroxidation in chicken muscle. *British Poultry Science*. 34:367-381.

Simopoulos, A.P. 1998. Overview of evolutionary aspects of omega 3 fatty acids in the diet. *World Review of Nutrition and Dietetics*. 83:1-11.

Simopoulos, A.P. 2002, The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 56(8):365-379.

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.

Slee, E.L., McLennan, P.L., Owen, A.J. y Theiss, M.L. 2010. Low dietary fish-oil threshold for myocardial membrane n-3 PUFA enrichment independent of n-6 PUFA intake in rats. *Journal of Lipid Research*. 51:1841-1848.

Terevinto, A. 2017. La estabilidad oxidativa de la carne fresca, madurada y refrigerada de novillos Aberdeen Angus producidos en Uruguay. Tesis de doctorado en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 140 p.

Terevinto, A., Cabrera, M.C., y Saadoun, A. 2019. Oxidative stability, fatty acid composition and health lipid indices of Longissimus dorsi muscle from Aberdeen Angus steers produced in different feeding systems. *Ciência Rural*. 49(12).

Terevinto, A., Saadoun, A. y Cabrera, M.C. 2020. From the fatty acid content perspective, is it healthier to eat a hindquarter or a forequarter cut? Angus steers in pasture or concentrate systems. *CyTA Journal of Food*. 18:698-703.

Ulbricht, T.L.V. y Southgate, D.A.T. 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors, *The Lancet*. 338(8773):985-992.

Van Laack, R.L., Liu, C.H., Smith, M.O. y Loveday, H.D. 2000. Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poultry Science*. 79(7):1057-1061.

Vanden Berge, J.C. 1979. "Myologia". En *Anatomica Avium*. Academic Press. New York.

Wang, C., Harris, W.S., Chung, M., Lichtenstein, A.H., Balk, E.M. y Kupelnick, B. 2006. n-3 fatty acids from fish or fish oil supplements, but not alpha-linolenic acid, benefit cardiovascular disease outcomes in primary and secondary prevention studies: a systematic review. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 84:5-17.

Wang, B., Wu, L., Chen, J., Dong, L., Chen, C., Wen, Z., Hu, J., Fleming, I. y Wang, D.W. 2021. Metabolism pathways of arachidonic acids: mechanisms and potential therapeutic targets. *Signal Transduction and Targeted Therapy*. 6(1):94.

Wei, Y., Meng, Y., Li, N., Wang, Q., y Chen, L. 2021. The effects of low-ratio n-6/n-3 PUFA on biomarkers of inflammation: a systematic review and meta-analysis. *Food & Function*. 12:30-40.

World Health Organization. <https://www.who.int>. Acceso el 2/09/2020.

8. Anexos

8.1 Anexo 1: Lista de cuadros y figuras

8.1.1 Cuadros

	Página
Cuadro 1. Composición centesimal de la pata y el muslo y la pechuga de pollo con y sin piel.....	14
Cuadro 2. Contenido de minerales de la pata y el muslo y la pechuga de pollo sin piel....	14
Cuadro 3. Perfil de ácidos grasos de los músculos de la pata-muslo y de la pechuga sin piel expresados en mg/100g de carne de pollo alimentados con una dieta estándar.....	15
Cuadro 4. Composición porcentual de las dietas experimentales y composición química. Control (C) es la dieta testigo maíz-soja con 0% de semilla de chía, T1, dieta maíz-soja con 2.5 % de semilla de chía, T2, dieta maíz-soja con 5% de semilla de chía y T3 es dieta maíz-soja con 10 % de semilla de chía.....	20
Cuadro 5. Composición de ácidos grasos de las dietas experimentales.....	21
Cuadro 6. Composición química de la semilla de chía utilizada.....	21
Cuadro 7. Composición de ácidos grasos de la semilla de chía utilizada.....	22
Cuadro 8. Efecto de la inclusión de semillas de chía a 0% (Control); 2.5% (T1); 5% (T2) y 10% (T3) en una dieta recibida de los 21 a 49 días de edad sobre el peso vivo a la faena (g/ave), consumo de alimento (g/ave), ganancia de peso (g/ave) e índice de conversión (kg de alimento/kg de ganancia de peso).....	27
Cuadro 9. Efecto de la inclusión de semillas de chía en 0% (Control); 2.5% (T1); 5% (T2) y 10% (T3) en una dieta recibida de los 21 a 49 días de edad sobre el pH tomado 24 horas post mortem en los músculos <i>Pectoralis major</i> (PM), <i>Gastrocnemius</i> (GN) e <i>Ileotibiales lateralis</i> (ITL).....	28
Cuadro 10. Efecto de la inclusión de semillas de chía en 0% (Control); 2.5% (T1); 5% (T2) y 10% (T3) en una dieta recibida de los 21 a 49 días de edad sobre la pérdida de agua, expresada en %, en muestras de los músculos <i>Pectoralis major</i> (PM), <i>Gastrocnemius</i> (GN) e <i>Ileotibialis lateralis</i> (ITL) obtenidas a 24 horas post mortem, medido durante 24 horas a 4°C.....	29
Cuadro 11. Efecto de la inclusión de semillas de chía en 0% (Control); 2.5% (T1); 5% (T2) y 10% (T3) en una dieta recibida de los 21 a 49 días de edad sobre el color, medido como L*, a* y b*, (método CIELab) en los músculos <i>Pectoralis major</i> (PM), <i>Gastrocnemius</i> (GN) e <i>Ileotibialis lateralis</i> (ITL) a 24 horas post mortem.....	30

Cuadro 12. Efecto de la inclusión de semillas de chía en 0% (Control); 2.5% (T1); 5% (T2) y 10% (T3) en una dieta recibida de los 21 a 49 días de edad sobre el perfil lipídico en los músculos *Pectoralis major* (PM), *Gastrocnemius* (GN) e *Ileotibialis lateralis* (ITL).....32

Cuadro 13. Efecto de la inclusión de semillas de chía en 0% (Control); 2.5% (T1); 5% (T2) y 10% (T3) en una dieta recibida de los 21 a 49 días de edad sobre los índices de salud en los músculos *Pectoralis major* (PM), *Gastrocnemius* (GN) e *Ileotibialis lateralis* (ITL).....39

8.1.2 Figuras

Página

Figura 1. Metabolización de ácidos grasos poliinsaturados ω -6 y ω -3. Vías de desaturación y elongación de los ácidos linoleico y α -linolénico.....7

Figura 2. Esquema mostrando los músculos estudiados. a) Músculo *Gastrocnemius pars medialis* (GM) y músculo *Ileotibialis lateralis* (*pre* y *post acetabularis*, IL) que corresponden a los cortes pata y muslo corto (Rose et al., 2016). b) Músculo *Pectoralis major* (músculo pectoral) que corresponde al corte pechuga (Vanden Berge, 1979).....23

Figura 3. Aportes en ácido alfa-linolénico (ALA), con el consumo de 200 gramos de carne fresca de los músculos , *Gastrocnemius* (pata, GN), *Ileotibialis lateralis* (muslo, ITL) y *Pectoralis major* (pechuga, PM) proveniente de pollos broilers *Gallus domesticus* alimentados con niveles crecientes de semillas enteras de chía. Los niveles de chía fueron 0% C, 2,5% T1, 5% T2 y 10% T3. Para mayor claridad en la figura se omitieron las barras de error (SEM). Letras diferentes en la parte superior de las barras indican diferencias significativas dentro de un mismo músculo.

Efectos principales ALA: Efecto músculo $P < 0.0007$ (GN < ITL < PM). Efecto tratamiento $P < 0.000001$ (C < T1 < T2, T3. T2 = T3).....45

Figura 4. Aportes en ácidos grasos EPA, DPA, DHA, y la suma en EPA+DHA, con el consumo de 200 gramos de carne fresca de los músculos , *Gastrocnemius* (pata, GN), *Ileotibialis lateralis* (muslo, ITL) y *Pectoralis major* (pechuga, PM), proveniente de pollos broilers *Gallus domesticus* alimentados con niveles crecientes de semillas enteras de chía. Los niveles de chía fueron 0% (C), 2,5% (T1), 5% (T2) y 10% (T3). Para mayor claridad en la figura se omitieron las barras de error estándar de la media (SEM). Letras diferentes en la parte superior de las barras indican diferencias significativas dentro de un mismo músculo.

Efectos principales: EPA: Efecto músculo No significativo. Efecto tratamiento $P < 0.000001$ (C < T1 < T2 < T3).

DPA: Efecto músculo No significativo. Efecto tratamiento $P < 0.000001$ (C < T1 < T2 < T3).

DHA: Efecto músculo No significativo. Efecto tratamiento $P < 0.000001$ (C < T1 < T2, T3. T2 = T3).

EPA+DHA: Efecto músculo NS. Efecto tratamiento: $P < 0.000001$ (C < T1 < T2 < T3).....47

Figura 5. Aportes en ácidos grasos EPA+DPA+DHA con el consumo de 200 gramos de carne fresca de los músculos , *Gastrocnemius* (pata, GN), *Ileotibialis lateralis* (muslo,

ITL) y *Pectoralis major* (pechuga, PM) proveniente de pollos broilers *Gallus domesticus* alimentados con niveles crecientes de semillas enteras de chía. Los niveles de chía fueron 0% C, 2,5% T1, 5% T2 y 10% T3. Para mayor claridad en la figura se omitieron las barras de error (SEM). Letras diferentes en la parte superior de las barras indican diferencias significativas dentro de un mismo músculo.

Efectos principales EPA+DPA+DHA: Efecto músculo NS. Efecto tratamiento: $P < 0.00001$ (C < T1 < T2 < T3).....48

8.2 Anexo 2: Publicaciones de resúmenes en congreso

8.2.1 XIX Congreso Latinoamericano de Nutrición (SLAN) 2021

A continuación se exponen dos resúmenes enviados, aceptados y presentados bajo la forma de póster en el XIX Congreso Latinoamericano de Nutrición (SLAN-2021).

ENRICHMENT WITH EPA AND DHA OF MEAT OF CHICKEN FED A DIET WITH CHIA (*Salvia hispanica*) SEEDS.

*Da Silva A., Cabrera M. C. and Saadoun A.

Depto. Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Udelar. Avenida Garzón 809.

Montevideo, Uruguay

Background and objective

Fatty acids of n-3 family are highly recommended for a healthy diet, to avoid cardiovascular affection in humans. Indeed, α -linolenic acid (C18:3n3), but mostly DHA (C22:6n3) and EPA (C20:5n3) consumption, allows to reduce coronary diseases in humans. Three procedures could improve intake of DHA and EPA in humans, one of them is the consumption of fish flesh or oil, another one is the enrichment of usual foods with DHA and EPA using fish oil or commercial nanoparticles concentrated in DHA and EPA. These methodologies are generally expensive, and cannot be adopted by many countries for their low income households. The present investigation follows a third way based on food enrichment of chicken meat by n3- fatty acids, feeding the birds with chia seeds, obtaining a meat enriched with DHA and EPA for consumers.

Methods

Chickens (14 by treatment), individually caged in floor (0.35 m²/animal), were fed for 52 days before sacrifice, with a diet enriched with 0; 2.5; 5 and 10% of chia seeds. Chia presents a level of α -linolenic acids of 50-60% of total fatty acids. The α -Linolenic acid, an essential fatty acid, is the biochemical precursor of synthesis of DHA and EPA by

animal tissues. Fatty acids were determined by chromatography using a CPsil-88 column and Clarus 500 chromatograph. The GLM procedure has been used for the statistical analysis of the results.

Results

The results showed that a chicken's diet enriched by chia seeds caused a significant and increasing content, compared to control, of α -linolenic acid, DHA and EPA by approximately 30%, 25% and 30 % more, in drumstick, thigh and breast cuts, respectively.

Conclusion

Feeding chickens with a diet enriched with chia is an affordable and practical way to enrich their meat in DHA and EPA, two fatty acids implicated in the prevention of cardiovascular diseases in consumers.

Keywords

Chia, chickens, EPA, DHA

ATHEROGENIC, THROMBOGENIC AND HYPER/HYPO CHOLESTEROLEMICS INDICES IN MEAT OF CHICKENS FED CHIA (*Salvia hispanica*) SEEDS.

Da Silva A., Cabrera M. C. and Saadoun A.

Depto. Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Udelar. Avenida Garzón 809.

Montevideo, Uruguay

Background and objective

Based on the fatty acids composition of foods, indices have been used to estimate the potential cardiovascular risk for consumers. In this work, meat from chickens fed a diet enriched with chia, was evaluated regarding the sum of monounsaturated fatty acids (MUFA), n-6, n-3 fatty acids and their ratio. Moreover, the atherogenicity (AI), thrombogenicity (TI) and the hyper/hypo cholesterolemic effect (h/H) were determined.

Methods

Chickens (14 by treatment) individually caged in floor (0.35 m²/animal) were fed for 52 days before sacrifice, with a diet enriched with 0(T0); 2.5(T1); 5(T2) and 10(T3) % of chia seeds. The fatty acids composition of meat from drumstick, thigh and breast cuts was determined by Clarus 500 chromatograph and CPsil-88 column. The fatty acids composition of meat was used to estimate indices, as described in International Journal

of Food Science (<https://doi.org/10.1155/2017/7613069>). The GLM procedure has been used for the statistical analysis of the results.

Results

The MUFA content decreases significantly in all cuts when chia is used. The content of n-6 fatty acids is stable through the treatment, while the n-3 fatty acids increase progressively when Chia is added to the feed. Consequently, the n-6/n-3 ratio is significantly improved within the recommended value, as level of added Chia increases. This effect is noticed in all cuts. For AI indices, cuts present favourable values, but the higher AI is for T3. This result is probably linked to the decrease of MUFA in meat. MUFA content is critical within the equations for the estimation of indices. In the case of IT and h/H indices, the values for T1 and T2, but not for T3, are favourable to prevent cardiovascular diseases.

Conclusion

Chickens fed with chia seed at 2.5 and 5 %, but not at 10 %, allow obtaining meat with favourable lipid indices to prevent cardiovascular diseases in consumers.

Keywords

Chia, chickens, lipids indices

8.2.2 XII Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal (AUPA)

A continuación se expone un resumen corto enviado y aceptado bajo la forma de póster en el XII Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal (AUPA-2021).

Ingeniería nutricional para enriquecer la carne de ave en AGPI con impacto en la calidad y en los índices de salud cardiovascular

Da Silva A.^{1*}, Cabrera M.C.^{1,2}, A. Terevinto, M. del Puerto, R. Olivero, Saadoun A.^{1,2}

¹Facultad de Agronomía, Av. Garzón 780. Montevideo (Uruguay). ²Facultad de Ciencias. Iguá 4225. Montevideo (Uruguay).

*ayrton_dsf@hotmail.com

Introducción. El aumento de los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) en alimentos comunes es una estrategia nutricional valiosa para disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares. En este trabajo se enriqueció la carne de ave con ácidos grasos n-3, incorporando chía en la dieta de las aves. **Materiales y Métodos.** Aves: 96

pollos de carne (24 por tratamiento) fueron alimentados con una dieta control maíz-soja y 0% (C); 2,5% (T1); 5% (T2) y 10% (T3) de semillas de chía durante los 21 - 49 días de edad. Se determinó peso vivo, ganancia de peso, consumo, peso vivo a la faena, y la eficiencia de conversión. 24 horas post sacrificio se extrajeron los músculos *Pectoralis major*, *Gastrocnemius* e *Ileotibialis lateralis*. Se determinó pH_u, color (L*,a*,b*), pérdida de agua. Se envasaron muestras al vacío se congelaron y determinaron ácidos grasos por cromatografía de gases. Los lípidos se extrajeron por Folch (carne) o Soxhlet (chía), se metilaron y cuantificaron los ácidos grasos (Clarus 500, columna CPsil-88). Los datos se analizaron por ANOVA GLM (NCSS 12), para dieta y músculo. **Resultados y conclusión.** La inclusión de chía (62,4 % α -linolénico) afectó el consumo y la conversión, no el peso vivo ni la ganancia de peso, ni el pH_u ó la pérdida de agua. El color L* no varió, si a* y b*, disminuyendo con la inclusión de chía. La chía significativamente aumentó el ácido α -linolénico, DHA y EPA, mejorando la relación n-6 / n-3, y la Σ AGPI, en todos los músculos y produciendo una carne baja en lípidos (<3%), con valores favorables para el índice aterogénico y trombogénico, modificando la actividad de las enzimas del metabolismo lipídico. Con una precisa ingeniería nutricional se diseñó una carne aviar muy rica en ácidos grasos poliinsaturados de alto beneficio para el consumidor.

Palabras claves: Chia; Carne de ave; AGPI.