UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE CIENCIAS - FACULTAD DE AGRONOMÍA

MODIFICACIONES DEL ESTATUS OXIDATIVO Y MINERAL DE LOS MUSCULOS *Pectoralis* Y *Gastrocnemius* PROVOCADAS POR LA DIETA EN AVES DE CARNE

por

Laura BAIGORRIA BARRIAL

TESIS presentada como uno de los requisitos para obtener el título de Magíster en Ciencias Nutricionales.

MONTEVIDEO
URUGUAY
Noviembre 2020

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por el tribunal integrado por la Doctora Claudia Isabel Gallinger, Doctora María Salhí, y Ph. D. Caterina Rufo, el 26 de noviembre de 2020. Autora: Laura Baigorria Barrial. Directora: Doctora Alejandra Terevinto. Co-directora: Doctora María Cristina Cabrera.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Dra. Alejandra Terevinto por su compromiso y dedicación.

A la Dra. María Cistina Cabrera por darme la oportunidad de poder vivir esta hermosa experiencia académica.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN ……..	II
AGRADECIMIENTOS …….	III
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS ……	VI
ABREVIATURAS …….	VIII
RESUMEN ……	IX
SUMMARY ……..	X
1. INTRODUCCIÓN …….	1
2. ANTECEDENTES ……	4
2.1. CARACTERÍSTICAS Y CALIDAD DE LA CARNE DE AVE	4
2.2. OXIDACIÓN ……	5
2.2.1. Oxidación Lipídica ……..	6
2.2.2. Oxidación Proteica ……..	8
2.2.2.1. Carbonilos ……	11
2.2.2.2. Sulfhidrilos ……..	11
2.2.3. Oxidación de los hemopigmentos ……..	12
2.3. HIERRO ……	13
2.4. ZINC ……..	16
2.5. DIETAS ALTERNATIVAS PARA AVES ……..	18
2.5.1. Sorgo ……..	18
2.5.2. Glicerol ……	21
3. OBJETIVOS ……..	25
3.1. OBJETIVO GENERAL ……	25
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS ……	25
4. HIPÓTESIS ……..	25

5. MATERIALES Y MÉTODOS …….. 26
5.1. ANIMALES Y DIETAS ……... 26
5.2. MÚSCULOS ……..... 29
5.3. DETERMINACIONES …… 30
5.3.1. Oxidación Lipídica …….. 30
5.3.2. Oxidación Proteica …….. 30
5.3.2.1. Carbonilos Proteicos ……. 30
5.3.2.2. Sulfhidrilos ……... 31
5.3.3. Hierro y Zinc total ……... 32
5.3.4. Hierro hemo ……. 32
5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO …….. 33

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN ……... 34
6.1. OXIDACIÓN LIPÍDICA …….. 34
6.2. OXIDACIÓN PROTEICA …… 36
6.2.1. Carbonilos Proteicos …….. 36
6.2.2. Sulfhidrilos ……. 37
6.3. HIERRO TOTAL …….. 39
6.4. HIERRO HEMO ……... 40
6.5. ZINC ……. 42
6.6. APORTE DE HIERRO Y ZINC DE LA CARNE DE AVES RECIBIENDO DIFERENTES DIETAS, SEGÚN LOS REQUERIMIENTOS DE NIÑOS Y ADULTOS ……..…… 43

7. CONCLUSIONES ……. 45

8. BIBLIOGRAFÍA ……... 46

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Página

Tabla 1: Composición de la carne de pollo (por 100 g de porción comestible) ……. 4

Tabla 2: Principales especies reactivas del oxígeno ……. 6

Tabla 3: Formulación y composición de las dietas experimentales expresada en porcentaje ……. 27

Tabla 4: TBARS (mg de MDA/Kg carne) en los músculos *Pectoralis* y *Gastrocnemius* de aves alimentados con dietas de sorgo (20% S, 30% S) o sorgo con glicerol (20% S+G, 30% S+G) en sustitución parcial de maíz (Testigo) ……...……. 35

Tabla 5: Contenido de carbonilos proteicos (nmoles DNPH/mg proteína) en los músculos *Pectoralis* y *Gastrocnemius* de aves alimentados con dietas de sorgo (20% S, 30% S) o sorgo con glicerol (20% S+G, 30% S+G) en sustitución parcial de maíz (Testigo) ……... 37

Tabla 6: Contenido de SH (nmoles/mg proteína) en los músculos *Pectoralis* y *Gastrocnemius* de aves alimentados con dietas de sorgo (20% S, 30% S) o sorgo con glicerol (20% S+G, 30% S+G) en sustitución parcial de maíz (Testigo) ……. 38

Tabla 7: Contenido de hierro total (mg/kg de carne fresca) en los músculos *Pectoralis* y *Gastrocnemius* de aves alimentados con dietas de sorgo (20% S, 30% S) o sorgo con glicerol (20% S+G, 30% S+G) en sustitución parcial de maíz (Testigo) ……. 40

Tabla 8: Contenido de hierro hemo (mg/kg de carne fresca) en los músculos *Pectoralis* y *Gatrocnemius* de aves alimentados con dietas de sorgo (20% S, 30% S) o sorgo más glicerol (20% S+G, 30% S+G) en sustitución parcial del maíz (Testigo) …… 42

Tabla 9: Contenido de zinc (mg/kg de carne fresca en los músculos *Pectoralis* y *Gatrocnemius* de aves alimentados con dietas de sorgo (20% S, 30% S) o sorgo más glicerol (20% S+G, 30% S+G) en sustitución parcial del maíz (Testigo) …… 43

Tabla 10: Contribución en Fe y Zn, expresado en porcentaje, de la carne de aves (músculo *Pectoralis*, Pe y *Gastrocnemius*, Ga) alimentados con diferentes dietas, a los aportes recomendados para niños (4-8 años) y adultos (mujeres, hombres entre 19-50 años) en base a las RDA …….. 44

Figura 1: Oxidación de los aminoácidos en presencia del oxígeno …….. 8

Figura 2: Oxidación de las proteínas catalizadas por metales por los sistemas de oxidación de función mixta …… 9

Figura 3: Pigmentos hemo del músculo …….. 12

Figura 4: Ubicación anatómica de los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius* ……..……. 29

ABREVIATURAS

AA – aminoácidos
ADP – adenosín difosfato
ANOVA – análisis normal de varianza
ATP – adenosín trifosfato
BSA – seroalbúmina bovina
DHA – ácido docosahexaenoico
DNPH – dinitrofenilhidrazina
EEM – error estándar de la media
GLM – modelo general lineal
GPx – glutatión peroxidasa
MDA – malondialdehído
NS – no significativo
PL - fosfolípidos
PUFA – ácidos grasos poliinsaturados
R^o - radical con carbono central
RH – ácido graso
RO^o - radical alcoxilo
ROO^o - radical peroxilo
ROOH – hidroperóxidos
ROS – especies reactivas al oxígeno
rpm – revoluciones por minuto
SAT – ácidos grasos saturados
SOD – superóxido dismutasa
TBARS – especies reactivas al ácido tiobarbitúrico
TCA – ácido tricloroacético
ton - toneladas

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la sustitución parcial del maíz por sorgo alto tanino asociado al glicerol en la dieta de terminación de pollos parrilleros, sobre el estado oxidativo y contenido mineral de la carne. Para ello, se determinó la oxidación lipídica (TBARS) y proteica (carbonilos, sulfhidrilos), contenido total de hierro y zinc, y hierro hemo en los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius* de 90 pollos de la línea Ross, que recibieron una de las siguientes dietas, desde los 17 días de edad hasta la faena. Testigo: dieta base de maíz, harina de soja y aceite de girasol; 20% S: dieta testigo con sustitución del 20 % del maíz por sorgo; 30% S: dieta testigo con sustitución del 30 % del maíz por sorgo; 20% S+G: dieta testigo con sustitución del 20 % del maíz por sorgo y la totalidad del aceite de girasol por glicerol; 30% S+G: dieta testigo con sustitución del 30 % del maíz por sorgo y la totalidad del aceite de girasol por glicerol. Se encontraron menores niveles de TBARS en la carne de los grupos con glicerol comparado con las otras dietas que contenían sorgo, y un menor contenido de sulfhidrilos (SH) en la carne de pollos alimentados con sorgo comparado con la dieta testigo. El contenido de hierro total fue mayor en el grupo 20% S. No se observó un efecto de la dieta sobre el contenido de carbonilos proteicos, hierro hemo y zinc. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en el contenido de zinc, entre los tratamientos dietarios, en cada músculo. Además, el músculo *Gastrocnemius* presentó valores significativamente mayores de SH, hierro total, hierro hemo y zinc, que el *Pectoralis major*. Se concluye que la sustitución de un 20 o 30% del maíz por sorgo, en asociación con un 1,5% de glicerol, en la dieta de pollos en terminación, puede afectar los niveles de oxidación lipídica y proteica en la carne disminuyendo los niveles de TBARS, carbonilos y sulfhidrilos, así como también, modificar su contenido de hierro y zinc aumentando la concentración en la carne cruda.

Palabras claves: Estatus oxidativo, hierro, zinc, sorgo alto tanino, glicerol, carne de ave.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the effect of the partial substitution of corn for high tannin sorghum associated with glycerol in the finishing diet of broiler chickens, on the oxidative status and mineral content of the meat. For this, lipid oxidation (TBARS) and protein oxidation (carbonyls, sulfhydryls), total iron and zinc content, and heme iron were determined in the *Pectoralis major* and *Gastrocnemius* muscles of 90 chickens of the Ross line, which received one of the following diets, from 17 days of age to slaughter. The control diet based on corn, soybean meal and sunflower oil; 20% S, control diet with substitution of 20% of corn for sorghum; 30% S, control diet with replacement of 30% of corn for sorghum; 20% S + G, control diet with substitution of 20% of corn for sorghum and all of the sunflower oil for glycerol; 30% S + G, control diet with replacement of 30% of corn for sorghum and all of the sunflower oil for glycerol. Lower levels of TBARS were found in the meat of the glycerol groups compared to the other diets containing sorghum, and a lower content of sulfhydryls (SH) was found in the meat of chickens fed sorghum compared to the control diet. The total iron content was higher in the 20% S group. There was no effect of the diet on the content of protein carbonyls, heme iron and zinc. However, significant differences between diet treatments, in zinc content, were observed in each muscle. Besides, the *Gastrocnemius* muscle presented significantly higher values of SH, total iron, heme iron and zinc, than the *Pectoralis major*. It was concluded that the substitution of 20 or 30% of corn for sorghum, in association with 1.5% of glycerol, in the finishing diet of chickens, can affect lipid and protein oxidation in meat, diminishing TBARS, carbonyls and SH levels, as well as, modifying its iron and zinc content, increasing its concentrations in fresh meat.

Key words: Oxidative status, iron, zinc, high tannin sorghum, glycerol, poultry meat.

1. INTRODUCCIÓN

Previo a la pandemia se proyectaba, que la carne de ave encabezara el crecimiento en la producción mundial de carne, debido al incremento en la demanda mundial de esta proteína animal, en comparación con las carnes rojas (FIRA, 2016), de acuerdo con el reporte Perspectivas Agrícolas 2016- 2025 de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La demanda sería impulsada por el crecimiento de la población mundial. Se prevé que la población aumente de 7.400 millones en la actualidad a 8.100 millones en 2025, con un 95% de este aumento en los países en desarrollo. Los bajos costos de producción avícola y un accesible precio del producto, en comparación con otros tipos de carne, han contribuido a que la carne de ave se convierta en una importante opción de consumo en los países en desarrollo (OCDE/FAO, 2017). La producción de carne avícola a nivel mundial se proyectó con un aumento del 4 % durante el 2019 alcanzando un récord de 98.4 millones de toneladas (USDA, 2019; MGAP, 2019) y se estimaba que en el 2020 se produjera un crecimiento similar alcanzando 103.5 millones de toneladas (MGAP, 2019). Luego de la propagación del CODIV-19 en el mundo, la consecuencia de la pandemia se ha dejado sentir. Si bien la COVID-19 ha supuesto una grave amenaza para la seguridad alimentaria, en general desde la perspectiva global, los mercados de productos agrícolas están demostrando ser más resilientes a la pandemia en comparación con otros sectores. China el mayor importador de carne del mundo, ha reducido su importación, debido a la emergente crisis del coronavirus que bajo drásticamente el consumo de carne. También se produjeron retrasos en los puertos, se redujo la carga aérea y la disponibilidad de contenedores, y el aumento de la vigilancia obstaculizaron las ventas al exterior, lo que se sumó a las exigencias acumuladas. El pronóstico para la producción mundial de carne de pollo se revisa ligeramente a la baja a 100,0 millones de toneladas, ya que las caídas en Estados Unidos y China están más que compensadas por el crecimiento en Brasil y la UE. A pesar de una moderación en las perspectivas, la producción mundial en 2020 sigue siendo más alta (casi un 1 por ciento) (USDA, 2020). Las exportaciones de la carne

de aves estará un 2% más baja que en 2019 y rondará los 100,5 millones de toneladas. En comparación con las carnes rojas, se espera que la demanda de carne de pollo sea más resistente frente a la crisis económica debido a su posición como una proteína animal versátil de bajo costo culturalmente aceptable en prácticamente todos los mercados. Las exportaciones mundiales de carne de pollo se revisan un 1 por ciento más a 11,8 millones de toneladas, ya que la sólida demanda de China impulsa los envíos de Brasil, Tailandia y Estados Unidos. Se espera que los proveedores globales líderes tradicionales, Brasil y Estados Unidos, resistan mejor las interrupciones comerciales relacionadas con COVID en comparación con los exportadores emergentes (USDA, 2020)

Con respecto a la situación en Uruguay, en los años 2018 y 2019, el nivel de producción continuó con la tendencia descendente respecto a los años previos (MGAP, 2018). La situación del sector está marcada por una menor faena, menor exportación y un aumento de las importaciones (MGAP, 2018). El consumo nacional de carne aviar para el 2019 fue de 18.5 kg por habitante. Para el sector de producción avícola, el costo de la ración equivale aproximadamente a un 71.20% del costo total de producción (Orozco Campo *et al.,* 2004), lo que se transforma en un problema para el productor, debido al alto costo económico. La fuente energética más utilizadas en el engorde de aves parrilleras es el maíz, y como fuente proteica la harina de soja. El costo elevado del maíz nos hace pensar en la utilización de granos alternativos, como el sorgo, ya que posee similares características nutricionales y es económicamente más accesible. Aunque el sorgo tiene mayor contenido de proteína cruda que el maíz, es menos digestible y su digestibilidad varía dependiendo de la cantidad de taninos presentes (Reyes Sánchez *et al.,* 2000). Los taninos son compuestos antinutricionales que se unen a las proteínas precipitándose y reduciendo los valores nutricionales del alimento (Waniska *et al.,* 1989). Además, son compuestos fenólicos que forman parte de un grupo de antioxidantes naturales (Muñoz Jauregui *et al.,* 2007). Otra opción económica de fuente de energía en asociación con el sorgo, es la glicerina cruda. Ésta es un subproducto de la industria del biodiesel utilizado en la alimentación animal como energético, de esta manera se logra reutilizar un desecho que de otra forma seria vertido al medio ambiente.

Mediante el cambio en la dieta de las aves, pueden producirse alteraciones en las características de calidad de sus productos, como ser las características organolépticas, nutricionales, tecnológicas, microbiológicas y de estabilidad oxidativa. Los procesos oxidativos inducen modificaciones en los lípidos y proteínas del músculo, afectando la calidad organoléptica y nutricional de la carne y sus subproductos (Insani *et al.,* 2008), disminuyendo su vida útil. La manipulación de la composición de la dieta permite, por ejemplo, una modificación en la composición de ácidos grasos, y en el contenido de minerales como el hierro (Estévez, 2011) y zinc. El hierro, en el músculo, se encuentra en la forma de hierro no proteico (no hemo) unido a moléculas como adenosina difosfato (ADP), pirofosfato o AA libres, y también como hierro hemo presente en la hemoglobina y mioglobina (Buckley *et al.,* 1995). El hierro hemo es un indicador de la pérdida de pigmento durante el procesamiento de la carne de pollo y también un indicador del contenido nutricional, ya que es la forma más biodisponible del hierro en la carne (del Puerto *et al*, 2016). La liberación del hierro endógeno es parcialmente responsable de la catálisis de la oxidación lipídica (Descalzo *et al.,* 2005). La ingesta insuficiente de hierro y zinc pueden causar anemia, fatiga, crecimiento deficiente, raquitismo y deterioro del rendimiento cognitivo en humanos (Cabrera *et al.,* 2010). Hay evidencias que sugieren que las deficiencias minerales pueden jugar un papel negativo en el desarrollo de los niños, durante el embarazo y en adultos mayores. El consumo de carne puede ser una buena forma de responder a las necesidades minerales de la nutrición humana.

Por lo tanto, en este estudio se pretende evaluar el estado oxidativo de lípidos y de proteínas, así como los niveles de hierro y zinc de la carne de pollos alimentados con una dieta alternativa de sorgo y glicerol.

2. ANTECEDENTES

2.1. CARACTERÍSTICAS Y CALIDAD DE LA CARNE DE AVE

La carne de ave se caracteriza por poseer un alto porcentaje de proteínas de alto valor biológico, al contener todos los aminoácidos esenciales en la cantidad necesaria para la nutrición humana (Codony *et al.*, 2011). El agua es el componente químico más abundante en la carne de ave (INAC, 2012). Además, contiene niveles bajos de grasa y colesterol, y bajo valor calórico (ver Tabla 1). El tipo de ácidos grasos que predomina en la carne de ave, son los insaturados. Casi la mitad de los lípidos son monoinsaturados, un tercio saturados y un quinto poliinsaturado (INAC, 2012). La piel del pollo aporta la mayor porción grasa, compuesta principalmente por triacilglicéridos (Cortinas *et al.*, 2004). La carne de ave es una buena fuente de vitaminas del complejo B, como riboflavina (B2), tiamina (B1), ácido pantoténico (B5), cobalamina (B12), especialmente niacina (B3), y piridoxina (B6), así como también de minerales, como el sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), hierro (Fe), fósforo (P), azufre (S), iodo (I), zinc (Zn) y magnesio (Mg) (Khursheed *et al.*, 2017; Gallinger, 2015; Cortinas Hernández, 2004). Además, posee la ventaja de que es un producto fácil de preparar y muy versátil.

Tabla 1. Composición de la carne de pollo (por 100 g de porción comestible).

	Pechuga sin piel	***Muslo sin piel***
Agua (g)	75,8	76,4
Energía (kcal)	108	114
Proteína (g)	21,2	19,3
Grasa (g)	2,6	4,1
Cenizas (g)	1,2	0,96
Hidratos de carbono (g)	0,0	0,0

Fuente: Codony *et al.* (2011) obtenido de USDA (2011) y Souci *et al*. (2008).

La demanda creciente de calidad por parte de los consumidores desafía a la industria avícola a producir alimentos derivados de la carne de pollo seguros, nutritivos, atractivos y saludables (Carvalho *et al.*, 2017). La calidad de la carne está determinada por sus caracteres organolépticos o sensoriales, como el color, sabor,

aroma, jugosidad y terneza, nutricionales, tecnológicos y microbiológicos. La composición química del tejido muscular es un componente esencial de su calidad, la cual depende de varios factores biológicos, como el genotipo, sexo y edad (Bokkers y Koene., 2003), así como también de la composición de la dieta (Hellmeister *et al.*, 2003). Una alimentación enriquecida en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) con alto número de dobles enlaces, puede aumentar la susceptibilidad de la carne a la oxidación (Maraschiello *et al.*, 1999; Ruíz *et al.*, 1999). El daño oxidativo es el mayor factor no microbiano responsable del deterioro en la calidad de los alimentos cárnicos (Descalzo *et al.*, 2005).

2.2. OXIDACIÓN

Es un proceso que ocurre como consecuencia de un desequilibrio entre la producción de especies reactivas del oxígeno (ERO) y los mecanismos de defensa antioxidantes. El oxígeno es esencial para el metabolismo energético y la respiración, pero puede constituir el punto de partida para un daño de tipo celular conocido como estrés oxidativo. Las ERO o ROS (reactive oxygen species, por sus siglas en inglés) se generan a nivel intracelular y extracelular, son capaces de difundir al citosol a través de la membrana y deteriorar los distintos componentes celulares. Estas ERO incluyen dos grupos, los radicales y los no radicales. Los radicales son sustancias que poseen uno o más electrones desapareados (Venereo Gutiérrez, 2002; Halliwell, 1994), y dentro de ellos se encuentran, el hidroxilo (OH°), alcoxilo (RO°), perhidroxilo (HO2°), peroxilo (ROO°), óxido nítrico (NO°) y anión superóxido ($O_2^{\circ-}$). Los no radicales, incluyen el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y los hidroperóxidos (ROOH) (Shacter, 2000) (ver Tabla 2).

Tabla 2. Principales Especies Reactivas del Oxígeno.

Radicales	**No radicales**
Anión Superóxido ($O_2^{\circ-}$)	Oxígeno singlete ($^1O_2$)
Hidroxilo (OH°)	Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)
Peroxilo (ROO°)	Anión peroxinitrito (ONOO−.)
Alcoxilo (RO°)	Ozono (O_3)
Hidroperoxilo (HO_2°)	Ácido Hipocloroso (HOCl)

Extraído de: (Gallinger, 2015)

De todas las moléculas, las más dañina es el radical hidroxilo (OH°) formado por las radiaciones ionizantes sobre la molécula de agua (Halliwell, 1994).

$$H_2O \rightarrow H° + OH°$$

Los procesos oxidativos mediados por radicales, afectan predominantemente a los ácidos grasos insaturados de los lípidos, los grupos hemo de los pigmentos, los aminoácidos de las proteínas y los dobles enlaces conjugados de las vitaminas (Insani *et al.*, 2008).

2.2.1. Oxidación Lipídica

La oxidación lipídica ocurre en tres etapas, iniciación, propagación y terminación (Halliwell y Gutteridge, 1989). Se inicia con la quita de un átomo de hidrógeno del grupo metileno localizado entre dos dobles enlaces de un ácido graso (RH) formándose un radical lipídico muy reactivo (R°) (Stahl, 2000), como se indica a continuación:

$$RH + O_2 \rightarrow R° + °OOH$$

Ésta se ve favorecida si aumenta el número de dobles enlaces del ácido graso, por ello, los PUFA son más susceptibles a la oxidación, y puede ser catalizada por

hidroxilo (OH°), o por ciertos complejos Fe-O_2 como los radicales ferrilos o perferrilos (Morrissey *et al.,* 1998). Estos últimos se originan por la reacción de proteínas hemo con el H_2O_2 (Montero, 2000).

Durante la propagación, el R° reacciona con el oxígeno, para dar un radical peroxilo (ROO°). Éste es lo suficientemente reactivo como para propagar una reacción en cadena, sustrayendo otro átomo de hidrógeno (H) de un ácido graso vecino, formándose un hidroperóxido (ROOH) y un nuevo radical R° (Labuza, 1971). La velocidad de autooxidación de los ácidos grasos depende del contenido de agua en el alimento. En los alimentos desecados el ion metálico reacciona más fácilmente con el hidroperóxido, porque no existe la capa de hidratación. De tal manera que a medida que aumenta el contenido de agua en al alimento, desciende la velocidad de autooxidación (Nelson y Labuza, 1992).

$$R^{\circ} + O_2 \rightarrow ROO^{\circ}$$

$$LOO^{\circ} + RH \rightarrow ROOH + R^{\circ}$$

Estos hidroperóxidos (ROOH) son considerados los productos primarios obtenidos a partir de la oxidación lipídica, son lábiles, de naturaleza transitoria y sufren cambios y deterioro por los radicales libres (Fernández *et al.,* 1997). En presencia de Fe^{+2} o Cu^{+2} los hidroperóxidos generados pueden reaccionar formando radical peroxilo (ROO°) y alcoxilo (RO°) que podrán iniciar nuevas reacciones, por lo tanto, la presencia de metales puede ampliar el proceso de oxidación (Morrissey *et al.,* 1998).

Como consecuencia de esta serie de reacciones, se forman los productos secundarios de la oxidación lipídica, entre los cuales se encuentran alcanos, cetonas, hidrocarburos, alcoholes, ácidos y aldehídos, como el malondialdehido (MDA) (Cifuni *et al.,* 2004; Kanner, 1994). Todos estos productos tienen algún grado de toxicidad (Cifuni *et al.,* 2004) y se irán acumulando en el alimento aumentando su potencial tóxico para la salud. La hemoglobina, mioglobina y el citocromo aceleran la autooxidación de lípidos en tejidos animales. Tales reacciones, son con frecuencia, la causa de los defectos de aroma que se producen cuando se almacenan pescados, carne de aves y productos cárnicos (Decker y Hulyn., 1992).

$$R° + R° \rightarrow R\text{-}R$$

$$R° + ROO° \rightarrow ROOR$$

$$ROO° + ROO° \rightarrow ROOR + O_2$$

La oxidación lipídica es uno de los principales factores responsables del deterioro de la carne (Pearson, 1983) produciendo alteraciones en el sabor, olor, color y textura (Gutteridge, 1995) y en el valor nutricional (Gray *et al.,* 1996). Esto afecta de forma negativa la calidad y la aceptabilidad por parte del consumidor (Morrissey *et al.,* 1998), teniendo como consecuencia problemas económicos y de salud (Insani *et al.,* 2008).

2.2.2. Oxidación Proteica

Las proteínas también constituyen un blanco crítico en el daño por las especies reactivas al oxígeno (ERO). Son el componente celular mayoritario del alimento después del agua (Galelli, 2000).

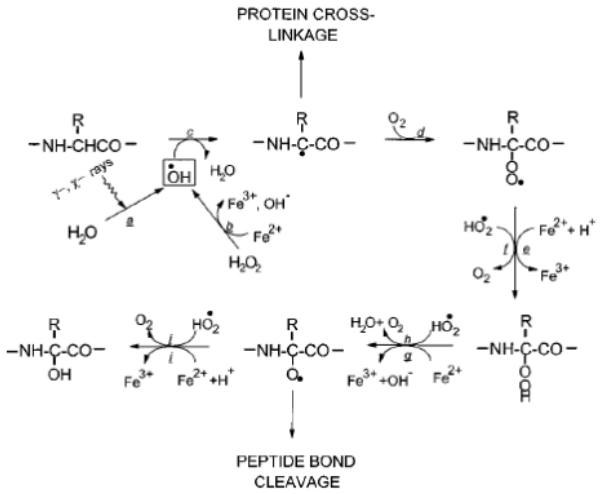

Figura 1. Oxidación de los aminoácidos en presencia de oxígeno. (Extraído de Berlett y Stadtman, 1997).

Como se muestra en la Figura N°1, el ataque oxidativo del esqueleto polipeptídico es iniciado por la abstracción de un $^{\circ}OH$ del átomo α-hidrogeno de un residuo AA para formar un radical con carbono central. El $^{\circ}OH$ necesario para esta reacción puede ser obtenido por la radiólisis del agua o mediante la ruptura catalizada por metal del H_2O_2. El radical con carbono central así formado reacciona rápidamente con el O_2 para formar un radical alquilperoxilo intermediario, el que puede aumentar el alquil peróxido, seguido de la formación de un radical alcoxilo, que puede ser convertido a un derivado proteico hidroxilo (Berlett y Stadtman, 1997).

Los agentes oxidantes de las proteínas catalizadas por metales dependen de la presencia de peróxido de hidrógeno H_2O_2, hierro (Fe) y cobre (Cu). La formación de dichos compuestos puede ser catalizada por muchas flavoproteínas que sirven normalmente como transportadores de electrones en varias reacciones metabólicas: oxidasas de NADPH y NADH, NADPH deshidrogenasas, citocromos P450, reductasas, oxidasas, la xantino oxidasa (Stadtman, 1986) el ácido hipocloroso, xenobióticos, neutrófilos activados, luz ultravioleta, ozono, enzimas oxido reductoras o productos de la oxidación lipídica (Shacter, 2000)

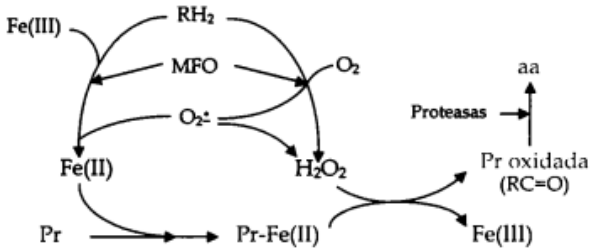

Figura 2. Oxidación de las proteínas catalizadas por metales por los sistemas de oxidación de función mixta (González Urrutia, 2005).

El Fe (II) se une al sitio de unión de metal a la proteína, luego el complejo Fe-proteína reacciona con el H_2O_2, generando in situ especies de oxígeno activadas

(HOº, ión ferrilo, ión perferrilo, peroxirradicales), los cuales, a su vez, reaccionan con los aminoácidos presentes en su entorno (Stadtman, 1986).

Los productos de la peroxidación de lípidos (productos radicalarios y aldehídos reactivos) son capaces de causar daño a las proteínas. Este daño es distinto al causado por otros radicales y sería debido a la unión de componentes lipídicos a las proteínas (Dean *et al.*, 1997; Wolff *et al.*, 1986). Los aldehídos altamente reactivos generados en la peroxidación de lípidos pueden reaccionar formando grupos aldehído y entrecruzamientos entre proteínas. Las reacciones que se producirían serían de dos tipos: la adición de Michael y la formación de bases de Schiff (Dean et al, 1997; Stadtman, 1990). En la reacción de Michael los aldehídos reactivos reaccionan con grupos sulfhidrilo de cisteína o con grupos amino de lisina o histidina, mientras que en la formación de bases de Schiff, dichos aldehídos reaccionan con grupos amino de lisina. La importancia relativa de cada reacción depende tanto del aldehído reactivo como de la proteína (Galelli, 2000).

La oxidación de las proteínas puede provocar modificaciones en aminoácidos específicos, fragmentación de la cadena polipeptídica, agregaciones o entrecruzamientos, alteraciones de la carga eléctrica o incremento de la susceptibilidad a la proteólisis. Las proteínas dañadas pueden ser eliminadas de la célula o tejido mediante proteólisis (Grune *et al.*, 2001).

También pueden producirse cambios irreversibles que inhiban la función enzimática (Shacter, 2000; Dean *et al.*, 1997). La cisteína es un residuo aminoacídico presente en las proteínas. Este aminoácido posee en su cadena lateral un residuo de tiol, también llamado mercaptan o sulfhidrilo (SH). La cadena lateral de la cisteína es susceptible a la reacción frente a las especies reactivas del oxígeno (ERO) y las especies reactivas del nitrógeno (ERN), llevando a la formación de diversas nuevas especies (Rudyk y Eaton, 2014). Como consecuencia de la oxidación de proteínas pueden formarse grupos carbonilos y grupos sulfhidrilos. La medición de los tioles nos brinda una idea de cuan oxidadas se encuentran las proteínas presentes. Este tipo de blanco, las proteínas, tiene una menor intensidad oxidativa debido a la lenta

progresión de las reacciones. La cisteína y metionina son los aminoácidos más susceptibles a la oxidación.

La oxidación proteica en la carne causa no solo el deterioro del color y la textura, sino que también la pérdida de nutrientes como los AA esenciales y descenso en las digestibilidades de las proteínas. La reacción puede ser iniciada por la mioglobina, lípidos oxidados o catalizadores metálicos. Los grupos funcionales situados en las cadenas laterales de AA son el blanco principal de este ataque. Reacciones posteriores llevan a la formación de diferentes radicales proteicos y derivados hidroxilos y causan carbonilación proteica (Guyon *et al.*, 2016).

2.2.2.1. Carbonilos

El contenido de grupos carbonilos en proteínas es muy utilizado debido a que ha probado ser una medida valiosa del daño oxidativo a proteínas asociado a situaciones como estrés oxidativo, ciertos desórdenes fisiológicos o enfermedades y el envejecimiento (Dean *et al.*, 1997). Se pueden generar grupos carbonilos en las proteínas por oxidación directa de las cadenas laterales de los residuos de aminoácidos. Otra forma de generación de grupos carbonilos por la acción de especies reactivas es por ruptura de la cadena principal proteica de acuerdo a la reacción de Garrison, quedando sobre la cadena correspondiente al amino terminal un N-a-cetoacilderivado (Shacter, 2000; Dean *et al,* 1997).

2.2.2.2. Sulfhidrilos

La cisteína es uno de los residuos de aminoácido más fácilmente oxidables, es el único aminoácido presente en las proteínas que contiene un grupo sulfhidrilo libre (González Urrutia, 2005). La unión de dos cisteínas forma un puente disulfuro, estructura muy importante en el mantenimiento de la estructura espacial de muchas proteínas. La secuencia aminoacídica es la que en principio determina el plegamiento de la proteína, muchas veces en el mantenimiento de su conformación final intervienen enlaces disulfuro. Si se desnaturaliza una proteína (Galelli, 2000) y se la deja renaturalizar, frecuentemente la misma vuelve a adquirir rápidamente las

estructuras secundarias y terciarias de la proteína nativa, con restablecimiento de los puentes disulfuro. La oxidación/reducción de grupos sulfhidrilos de muchas proteínas constituye un mecanismo de regulación celular, la oxidación de grupos sulfhidrilo incrementa la susceptibilidad a la proteólisis.

2.2.3. Oxidación de hemopigmentos

De la oxidación de la mioglobina, que es el pigmento del músculo, se forma la metamioglobina, responsable del color marrón de la carne (Kanner, 1994). Cuando la mioglobina se oxigena se forma la oximioglobina (Fe^{2+}) que le brinda a la carne el color rojo cereza brillante. La mioglobina es una proteína conjugada constituida por una parte proteica (globina) y un grupo prostético de naturaleza no peptídica (grupo hemo) (Bodwell y McClain, 1971).

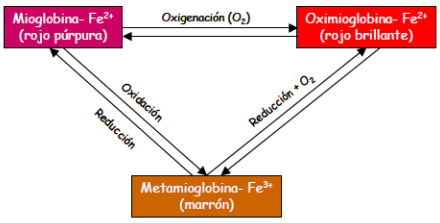

Figura 3. Pigmentos hemo del músculo. Fuente: Bodwell y McClain, 1971

La tasa y el grado de oxidación en alimentos formados por músculos, están influenciados por eventos pre-faena como el estrés del animal, y post-faena, así como la caída rápida del pH post-mortem, temperatura de la carcasa, acortamiento por frío y técnicas para aumentar la terneza como la estimulación eléctrica. Cualquier disrupción de la integridad de la membrana como deshuesado mecánico, picado o cocinado altera la compartimentación celular, lo que facilita la interacción de agentes pro-oxidantes (hierro hemo, luz, oxígeno, alta temperatura) con ácidos grasos insaturados, resultando en la generación de radicales libres y la propagación de la reacción oxidativa (Cascone, 2005; Buckley *et al.*, 1995). El hierro, en el músculo, se

encuentra en la forma de hierro no proteico (no hemo) unido a moléculas como adenosina difosfato (ADP), pirofosfato o AA libres, y también como hierro hemo presente en la hemoglobina y mioglobina (Buckley *et al.,* 1995). El hierro hemo es un indicador de la pérdida de pigmento durante el procesamiento de la carne de pollo y también un indicador del contenido nutricional, ya que es la forma más biodisponible del hierro en la carne (del Puerto *et al.,* 2016). La liberación del hierro endógeno es parcialmente responsable de la catálisis de la oxidación lipídica (Descalzo *et al.,* 2005). Sin embargo, para contrarrestar estos procesos oxidativos, en el músculo están presentes ciertas sustancias antioxidantes que se encargan de interrumpir las reacciones de los radicales libres in vivo, mediante la donación de electrones (Seifried, 2003). Las enzimas superóxido dismutasa (SOD), catalasa y glutatión peroxidasa (GPx) constituyen el principal mecanismo de defensa celular frente al daño oxidativo in vivo, y su actividad puede estar influenciada por la ingestión de minerales como cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe) o selenio (Se), ya que los utilizan como cofactores (Mercier *et al.,* 2004).

2.3. HIERRO

El hierro es el elemento traza más abundante en el organismo animal y en el ser humano (Martínez *et al.,* 1999). Se presenta en la naturaleza como: hierro hemínico y hierro no hemínico. El hierro hemínico forma parte exclusivamente de alimentos de origen animal (Galelli, 2000), ya sea como hemoglobina y/o mioglobina. Cerca de dos tercios del hierro en el organismo se encuentra en la hemoglobina. El grupo hemo de la hemoglobina se encarga de transportar el oxígeno, el grupo hemo de la mioglobina es encargado de almacenar el oxígeno, que será utilizado durante la contracción muscular (Martínez *et al.,* 1999).

El hierro hemínico (derivado de hemoglobina y mioglobina de tejidos animales), es una importante fuente dietética de hierro porque es absorbido con mucha mayor eficiencia que el hierro no hemínico, y más aún, porqué potencia la absorción de este último. Su absorción es del 15 al 35% (Ayna, 2017). Su elevado porcentaje de absorción obedece a la estructura hemo, que le permite entrar directamente en las

células de la mucosa del intestino en forma de complejo hierro-porfirina, es así como la presencia de sustancias inhibidoras o potenciadoras, prácticamente no afectan su absorción, a excepción del calcio (González Urrutia, 2005). El hierro hemo es convertido a hierro no-hemo por medio de tratamientos con calor (Lombardi-Boccia *et al.,* 2002).
El hierro liberado de los pigmentos hemo por el calor es uno de los mayores catalizadores de la oxidación lipídica (Lombardi-Boccia *et al.,* 2002).

El hierro no heme se encuentra en los alimentos vegetales, se encuentra principalmente oxidado, en forma (Fe^{+3}). Los iones Fe^{+3} se absorben con dificultad y necesitan proteínas de la familia de las integrinas para absorberse. El hierro no hemo presenta una menor biodisponibilidad y se absorbe del 2 al 10 % (Ayna, 2017). El porcentaje de absorción del hierro no hemínico depende exclusivamente del efecto concomitante de los alimentos ingeridos (González Urrutia, 2005).

La carne de pollo, en comparación con las demás carnes, es la que proporciona niveles más bajos de hierro, entre 1.5 y 2 mg/100 g de carne (Martínez *et al.,* 1999). Un 30- 60 % del hierro presente en la carne de ave es hierro hemo y en general un 15-30% es bien absorbido (Hurrell, 1997). Las concentraciones de hierro varían de una especie animal a otra, y puede haber diferencias entre los músculos dentro de una misma especie (Cabrera *et al.,* 2010; Lombardi-Boccia *et al.,* 2002).

Para conocer la capacidad de aporte de hierro del alimento al ser ingerido, se debe determinar la porción del nutriente (hierro) que es utilizado por el organismo (biodisponibilidad), que está a su vez influida por factores fisiológicos y dietéticos. La biodisponibilidad se refiere a la cantidad de hierro que se absorbe de los alimentos para ser utilizado en las funciones y los procesos metabólicos normales. Los principales inhibidores de absorción de hierro, presentes en los alimentos, son los fitatos, cuya presencia es abundante en las semillas de cereales y leguminosas oleaginosas, los polifenoles (taninos) que están presentes en el té, el café, el chocolate y los granos de sorgo; y los carbonatos, presentes en las leguminosas.

Muchos de estos factores antinutricionales tienen la ventaja de ser termolábiles, por lo que se logra reducir su acción mediante el proceso de cocción. Otros compuestos que inhiben la absorción del hierro son los oxalatos, presentes en vegetales de color verde y leguminosas, que también poseen la característica de ser termolábiles, la fosvitina, presente en la yema del huevo, y el calcio, presente en la leche y derivados, que interfiere considerablemente en los porcentajes de absorción, tanto del hierro hemínico como del no hemínico, reduciendo la tasa de biodisponibilidad entre un 30 y un 50% (Tostado-Madrid *et al.,* 2015). Estos inhibidores de absorción forman complejos insolubles con el hierro, lo que hace que éste no esté disponible para la absorción (OPS, 2002). Hay otros compuestos que aumentan la biodisponibilidad del Fe, como el ácido ascórbico o vitamina C, vitamina A y el β-caroteno, que disminuyen el efecto inhibidor de los fitatos y polifenoles, el "factor carne", que corresponde al efecto de las proteínas presentes en la carne de aumentar la biodisponibilidad del Fe no hemo (García-Casal *et al.,* 2013; Gaitán *et al.,* 2006). El mecanismo mediante el cual el factor cárnico aumenta la absorción del Fe no hemo se relaciona con el contenido de aminoácidos ricos en histidinas y en enlaces sulfhidrilos de la proteína ingerida (Gaitán *et al.,* 2006), y el factor azúcares, el sorbitol, manitol y la xilosa, incrementan la capacidad de absorción de hierro presente en preparados orales. La fructosa y la lactosa aumentan la biodisponibilidad en los alimentos (Tostado-Madrid *et al.,* 2015).

Desde el punto de vista nutricional, la deficiencia de Fe es uno de los principales problemas de salud pública asociados a la nutrición, especialmente en los países en vías de desarrollo (Gaitán *et al.,* 2006). Afecta a millones de individuos durante todo su ciclo de vida, en especial a los lactantes, niños pequeños y las mujeres embarazadas. Los organismos vivos requieren hierro para que sus células funcionen normalmente. El hierro es necesario para el desarrollo de tejidos vitales, incluido el cerebro, y para transportar y almacenar oxígeno en la hemoglobina y la mioglobina muscular. La anemia ferropénica es la forma grave de carencia de hierro. Puede dar lugar a una baja resistencia a infecciones, limitaciones en el desarrollo psicomotor y

la función cognoscitiva en los niños, bajo rendimiento académico, así como fatiga y una baja resistencia física y bajo rendimiento en el trabajo (OPS, 2002).

Las recomendaciones de nutrientes (RDA = Recommended Dietary Allowance o IDR = Ingesta Diaria Recomendada) se definen como los niveles de ingesta de nutrientes considerados esenciales, según el criterio de los comités nacionales e internacionales que los establecen en base a los conocimientos científicos y que cubren las necesidades conocidas de prácticamente todas las personas sanas. Los valores de IDR se fijan en función de la edad, sexo, situación fisiológica y normalmente son superiores a los verdaderos requerimientos (Martínez, 1999). El hombre, requiere absorberlos desde la dieta durante toda la vida especialmente en etapas de rápido crecimiento (Zimmermann y Hurrell., 2007). Sin embargo, las dietas de la mayoría de las poblaciones son frecuentemente deficientes en estos micro minerales, produciendo un aumento de la susceptibilidad y severidad a infecciones (Müller y Krawinkel, 2005).

En cuanto al Requerimiento Promedio Estimado (EAR) de hierro, es de 6.9 mg/día para menores de 1 año, 3.0 - 4.1 mg/ día para niños, 5,9 - 7,7 mg/día para adolescentes y adultos hombres y 5,0 - 8,1 mg/día para adolescentes y adultos mujeres, aumentado a 23 mg/día para embarazadas entre 14 y 18 años de edad y a 22 mg/día para embarazadas mayores. Durante la lactancia se recomiendan 7 mg/día para madres entre 14 y 18 años de edad y 6,5 mg/día para madres lactantes mayores (García-Casal *et al.*, 2013). La ingesta dietética recomendada (RDA) de hierro es de 11 mg/día para menores de 1 año, entre 7 - 10 mg/día para niños de entre 1 y 8 años, 8 – 11 mg/día para adolescentes y adultos hombres y entre 8 - 18 mg/día para adolescentes y adultos mujeres, aumentando a 27 mg/día para embarazadas. Durante la lactancia se recomiendan 10 mg/día para madres entre 14 y 18 años de edad y 9 mg/día para madres lactantes mayores (García-Casal *et al.*, 2013).

2.4. ZINC

El Zn se caracteriza por ser un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, pero no es abundante, ya que representa sólo el 0,012% de la corteza terrestre (Gonzalez-Reimers, 1998). En los suelos su concentración media es de 50 mg/kg.
Es uno de los elementos esenciales más abundantes en el cuerpo humano, siendo el segundo oligoelemento en relación a la cantidad total en el organismo, superado por el hierro (Kido *et al.,* 1988). El zinc actúa en procesos bioquímicos como la respiración celular, la utilización de oxígeno por parte de la célula, la reproducción tanto de ADN como de ARN, el mantenimiento de la integridad de la membrana celular y la eliminación de radicales libres, proceso que se hace a través de una cascada de sistemas enzimáticos (Armendáriz *et al.,* 2004). Actúa como cofactor y como integrante de al menos 200 enzimas, implicadas en el metabolismo energético y de los hidratos de carbono, en las reacciones de biosíntesis y degradación de proteínas, en procesos biosintéticos de ácidos nucleicos y compuestos hemo, y en el transporte de CO_2. El Ca, Cu y Cd compiten y pueden reemplazar al Zn en la proteína transportadora, por lo que dificultan su absorción (Goyer, 1997), mientras que favorecen su absorción, la glucosa, la lactosa y determinadas proteínas. Son ricos en Zn los productos de origen marino, seguidos de las carnes rojas, derivados lácteos, huevos y los cereales integrales. Los vegetales no son alimentos que presenten contenidos en zinc altos, con excepción de las leguminosas (Fleming, 1989; Passmore, *et al.,* 1975).

La ingesta recomendada para niños de 0 a 6 meses es de 2 mg/día, de 7 meses a 3 años es de 3 mg/día, en niños de 4 a 8 años de edad es de 5 mg/día, en niños de 9 a 13 años de edad es de 8 mg/día, un adulto se sitúa entre 8 mg/día para las mujeres y 11 mg/día para los hombres. Durante la gestación y la lactancia las necesidades se elevan a 11-12 mg/día y 12-13 mg/día, respectivamente. Los lactantes alimentados presentan un requerimiento más alto debido a la menor biodisponibilidad de zinc en las fórmulas infantiles (D.H.H.A., 2019; Carruth, 1991).
La deficiencia en zinc disminuye el ritmo de crecimiento de los bebés y niños, retrasa el desarrollo sexual en los adolescentes y causa impotencia en los hombres, también causa pérdida del cabello, diarrea, lesiones en los ojos y la piel y pérdida de apetito,

puede provocar pérdida de peso, problemas de cicatrización de heridas, disminución del sentido del gusto y reducción de los niveles de concentración.

2.5. DIETAS ALTERNATIVAS PARA AVES

La formulación de la alimentación de pollos se basa tradicionalmente en el maíz, cuya inclusión recomendada es hasta el 65% del total de la ración destinadas a aves de engorde (Rostagno *et al.,* 2005). Considerando que las fuentes energéticas como el maíz son de alto costo, con precios fluctuantes, hay una necesidad de estudiar fuentes alternativas que disminuyan el costo para la producción de carne de pollo (García *et al.,* 2019), dentro de las cuales se encuentra el sorgo.

2.5.1. Sorgo

En los últimos años los cultivos de sorgo se han expandido preferentemente por su crecimiento en zonas de suelo arenoso y climas secos (Carvalho *et al.,* 2015). Es el quinto cereal más importante luego del maíz amarillo, arroz, trigo y cebada. Presenta un valor nutritivo muy similar al maíz amarillo con más proteína cruda (PB 8,9 %, PB digestible 6,6 % y EM 3,220 kcal/kg) (FEDNA, 2019), pero con un menor contenido de grasa y energía (Saleh *et al.,* 2019), y menor digestibilidad debido a la presencia de taninos (Reyes Sánchez *et al.,* 2000). Los valores de digestibilidad de proteínas varían de 45,5 a 66,7% en los sorgos de alto tanino y valores de 89,9% en los sorgos bajos en taninos (Lopez-Coello, 2000). Hay distintas variedades de sorgo, determinado por la concentración de taninos en la cubierta del grano. Conforme aumenta la concentración de taninos en el sorgo, el contenido de EM disminuye de 3,220 kcal/kg hasta 2,834 kcal/kg y la biodisponibilidad de las proteínas se reduce entre un 94 y 60% (Nelson *et al.,* 1975).

Los taninos son metabolitos fenólicos, solubles en agua y están presentes en forma hidrolizables o condensados, retardando el crecimiento o germinación de la semilla pre-cosecha, debido a la inhibición de la degradación del almidón y proteínas. Por otro lado, protegen al grano de sorgo de la depredación de los pájaros e infestaciones por hongos. Generalmente los taninos están presentes en su forma condensada y son conocidos como antocianidinas o leucoantocianidinas. Cuando son incluidos en dietas para aves, los taninos pueden provocar la disminución del crecimiento y del

consumo de alimento, afectando la conversión alimenticia, debido a una disminución en la actividad de las enzimas digestivas y una disminución en la digestibilidad de la mayoría de los aminoácidos esenciales (Reyes Sánchez *et al.,* 2000).

Los taninos condensados muestran diversas propiedades físicas y químicas que, dentro del organismo que las consume, se traducen en diversas actividades biológicas: propiedades antioxidantes, quimio-terapéuticas, antiinflamatorias y antimicrobianas. Sin embargo, por su incapacidad para ser hidrolizados, se les ha involucrado en diversas actividades anti-nutricionales, como el secuestro de micronutrientes. Los taninos hidrolizados, por el contrario, al poseer un núcleo glucídico, generalmente glucosa, son más susceptibles a hidrólisis en condición fisiológica, permitiendo la liberación gradual de sus componentes primarios (Olivas-Aguirre *et al.,* 2015). Además, estudios in vitro han demostrado que el sorgo posee propiedades antioxidantes superiores que pueden estar involucradas en brindar beneficios para la salud animal (Reyes Sánchez *et al.,* 2000). Los taninos son conocidos por su capacidad para unirse a otras macromoléculas como los hidratos de carbono y las proteínas mediante fuerzas covalentes y no covalentes, pero estas propiedades son dependientes del tipo de tanino (Olivas-Aguirre *et al.,* 2015)

Se han realizado diversos estudios relacionados con el sorgo, con distintos niveles de sustitución del maíz en dietas para aves y rumiantes, evaluando los parámetros productivos. En estudios realizados en aves, García *et al* (2005a) se evalúa el rendimiento y la calidad de la carne. En un estudio sustituye al maíz por sorgo en cantidades de 0%, 25%, 50%, 75% y 100% y en el otro, formula la dieta en base a 100% maíz, 100% sorgo alto tanino y 100% sorgo bajo en taninos. Como resultados de las investigaciones no se encontraron efectos sobre las características de desempeño de las aves, de rendimiento de carcasa, sobre las características sensoriales y químicas de los músculos de la pata y pechuga. Sin embargo, en un trabajo realizado por Torres (2010) donde sustituye el maíz por sorgo en porcentajes de 0, 50%, 75% o en su totalidad, concluye que no se ve afectado el consumo, la ganancia de peso ni la eficiencia productiva para aves de entre 1 -21 días de edad, sin embargo, a los 42 días, se observó un efecto cuadrático mostrando resultados

desfavorables para las dietas de 0 y 100% de sustitución por sorgo. En otro trabajo, Torres *et al.,* (2013) utilizaron tres tratamientos (100% maíz, sustitución de 50% sorgo de bajo tanino y 100% sorgo de bajo tanino) y se concluyó que la conversión alimenticia y el aumento de peso no fueron perjudicados entre el día 1 y 21, con las distintas dietas, sin embargo, para la última etapa de producción (42 días) se observó una baja conversión para las dietas con una sustitución total de maíz por sorgo. En el estudio realizado por Lunedo (2012) donde se compararon dietas con 100% maíz y 100% sorgo de bajo tanino, se demostró que, con respecto a los datos de la canal, el uso de sorgo, en comparación con el maíz, no afectó el desempeño zootécnico de las aves de 1 a 7 días de edad. En el período de cría total, hubo un empeoramiento en la conversión alimenticia de los animales con una dieta de sorgo.

También se ha estudiado en algunos trabajos la calidad de la carne de ave, donde en el trabajo de García *et al.,* (2005b) no se observó un efecto sobre la composición química y sensorial, y encontraron que el pH y los parámetros de color a* (rojez) y b* (amarillamiento) disminuyeron a medida que aumentaron los niveles de sustitución de sorgo, y se produjo un aumento de L* (luminosidad). En dos trabajos, Saleh *et al.,* (2019) y Castroman *et al.,* (2013) se encontró que los niveles de oxidación lipídica fueron menores en la carne de pollos con sustitución de maíz por sorgo en la dieta, sin efecto en la oxidación proteica, Saleh *et al.,* (2019) realizo también el estudio de los niveles de antioxidantes, hallando que la sustitución favorecía al aumento de las enzimas GPX y SOD. Un resultado similar posterior (del Puerto *et al.,* 2016) indica que no hubo diferencia entre las dietas con sorgo y con maíz sobre la oxidación de lípidos, la oxidación proteica y el contenido de hierro hemo en la carne la carne de ave.

Investigaciones en rumiantes de los últimos años se ha encontrado un efecto "benéfico" sobre el estado general de los animales (control biológico de los parásitos) y sobre la producción de carne y de leche gracias a la presencia de estas sustancias (los taninos), se han visto ventajas como: El complejo taninos–proteínas de la dieta incrementa las proteínas "by pass" o pasantes, mayor reconstitución del epitelio intestinal, reducción de la "postura" de huevos de parásitos gastrointestinales, reducción de los niveles de "amonio" en rumen (Fernández, 2010).

Se ha realizado un estudio comparativo entre grano de maíz y el grano de sorgo con bajo y alto contenido de taninos. Dónde no hubo diferencias significativas en las ganancias de peso entre el grano de maíz y el sorgo granífero con altos taninos y sí las hubo respecto al sorgo con bajos niveles de taninos. Sin embargo, desde el punto de vista económico el Margen Neto parcial del Sorgo con altos taninos superó en más del 6% al del grano de maíz. (Rifell *et al.,* 2004)

2.5.2. Glicerol

El glicerol es el nombre común del compuesto orgánico (1, 2,3- propanotriol) descubierto en 1779 por W. Scheele. Puede llamarse también glicerina, trihidroxipropano, glicilalcohol 1,2,3 trihidroxipropano (de Sousa *et al.,* 2015). Es líquido a temperatura ambiente (25 °C), de sabor dulce, higroscópico, inodoro y viscoso (IUPAC, 2011). La glicerina es un subproducto de la producción del biodiesel, y representa un 10% del total de los productos generados. En los últimos años, el crecimiento en la producción del biodiesel ha llevado a una producción de grandes cantidades de glicerina, pero la cantidad que se produce es mayor a la capacidad de uso (García *et al.,* 2019). En Uruguay, por cada tonelada de biodiesel producido se obtienen 150 kg de glicerol bruto aproximadamente (Berenchtein *et al.,* 2010).

La glicerina se obtiene mediante la transesterificación de los TAG de aceites de semillas y grasas animales con alcoholes (metanol y etanol), catalizados por hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH). Según su procesamiento, se encuentra la glicerina cruda y la semi purificada, que se pueden asociar formando la glicerina mixta. La glicerina cruda posee una alta concentración de AG, impurezas como metanol, jabones, ésteres metílicos de AG y glicéridos, que le brindan un bajo valor comercial. Para obtener la glicerina semi-purificada, ésta se somete a varios procesos de acidificación, neutralización y filtración, donde se remueven la mayor parte de los AG. Ésta contiene mayores % de glicerol y menos metanol y AG (García *et al.,* 2019).

La glicerina posee características nutricionales importantes que lo hacen apropiado para su uso en la alimentación de monogástricos, como fuente energética (García *et al.,* 2019). No hay una estandarización de sus valores energéticos, pero son similares al del maíz para pollos y cerdos. Posee una energía bruta de 4320 kcal por kg de glicerol puro y una alta eficiencia de utilización por parte de los animales (Berenchtein *et al.,* 2010). Estudios previos han mostrado que la mejor concentración de glicerina cruda en la dieta de pollos va de 5 a 7% (Bernardino *et al.,* 2014; Urgnani *et al.,* 2014; Guerra *et al.,* 2011). Según trabajos realizados, algunos autores encontraron limitaciones en la metabolización del glicerol cuando se utilizan altas tasas de inclusión en la dieta posiblemente debido a la saturación de la enzima glicerol quinasa (Min *et al.,* 2010; Vernon y Walker,1970). Esta sobresaturación lleva a que el glicerol que no se metabolice sea excretado en la orina (Dasari, 2007). Se encontró que niveles de sustitución de 10% no afecta el desempeño de las aves, sin hallar efectos en la ganancia de peso ni en la conversión alimenticia (Pulgarin Casallas, 2015; Zavarize, 2012), pero si un aumento en el consumo de agua, impactando en la calidad de la cama (Komatsu, 2014; Goretti, 2012). Parece ser que el alto nivel de sodio de la glicerina puede aumentar el consumo de agua y la producción de orina. Estos autores recomiendan un 6% de inclusión durante todo el ciclo (Pulgarin Casallas, 2015) o de 10 % de inclusión hasta los 7 días y 5 % en el resto de la crianza (Silveira da Silva, 2010).

Estudios efectuados por Freitas et al. (2017), incluyendo niveles crecientes de glicerina en dos etapas de la vida de las aves, en pre inicial (1 a 7 días de edad) y final (35 a 42 días de edad), concluye que, en la primera semana de vida, niveles de glicerina de 5 y 10% promueven mejora significativa en la ganancia de peso y en la conversión alimenticia, sin afectar el consumo de ración. Sin embargo, para la última semana de vida incluir 10% de glicerina en la ración lleva a reducciones significativas en la conversión alimenticia. Este autor recomienda el uso tanto de 5 o 10% de inclusión de glicerina en la dieta para la primera semana de vida y 5% para el resto del período.

En el trabajo de Cerrate et al. (2006) se añadió glicerina en un 0%, 5% y 10% de la dieta, en el primer experimento, y no se observaron diferencias en el rendimiento de las aves entre las dietas del 5% y 0% de glicerina, y además con dietas del 10% consumieron significativamente menos alimento que las de 0% y 5% de glicerina y, en consecuencia, tuvieron un peso corporal significativamente reducido. En el segundo experimento se añadió glicerina en un 0%, 2.5% y 5% y se encontró que las aves alimentadas con dietas de 2.5 y 5% de glicerina tuvieron una tasa de crecimiento y conversión de alimento que no difirió significativamente de la de las aves alimentadas con la dieta sin glicerina. En otro estudio (Romano *et al.*, 2014), se vio que los pollos de engorde son capaces de metabolizar adecuadamente el glicerol cuando la dieta contiene hasta un 7,5% de glicerina cruda, pero los cambios metabólicos desfavorables pueden ser observados cuando los niveles son más altos. Henz et al. (2014) probó un diseño aleatorio, con seis tratamientos (0, 3, 6, 9, 12 y 15% de glicerina bruta). La inclusión de hasta un 6,06% de glicerina cruda en la dieta de pollos de engorde durante el período de 1 a 21 días de edad, no tuvo efectos adversos en el rendimiento de los animales durante esta etapa, en comparación con el grupo libre de glicerina. A medida que superaba el 6,06 % de glicerina, se observaba la cama más húmeda.

En un reciente trabajo (da Silva, 2017) evaluando el efecto de la sustitución de un 20 o 30% del maíz por sorgo y la totalidad del aceite de girasol por glicerol, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos dietarios en los parámetros productivos de las aves estudiados (peso vivo, consumo, ganancia de peso, índice de conversión y rendimiento de carcasa).

Lo que se puede deducir de los trabajos anteriores es que el porcentaje de inclusión de glicerina cruda en la dieta de las aves no debe superar el 6% en la etapa de terminación. Además, hay escasos trabajos que evalúen el efecto de la inclusión de glicerol sobre la calidad de la carne de ave.

A su vez la glicerina también es utilizada como alternativa nutricional en otros animales. Estudios realizados por de Souza et al. (2012) donde se evaluó la incorporación de 0%, 2.8%, 6.1%, 9.0% de glicerina en pasturas, para determinar el nivel de desempeño, eficiencia alimenticia y digestibilidad en vaquillonas pudo constatar un efecto negativo en el desempeño animal, alteración leve de la digestibilidad y el bienestar animal. Pudo constatar que el uso de glicerina en la dieta dependerá de la calidad de la misma, ya que la glicerina que se utilizó para la investigación era de bajo grado de purificación.

Donkin (2008) realizó un estudio incluyendo la glicerina a la dieta de vacas lecheras, reduciendo las alteraciones metabólicas asociados al período de transición. Estudios realizados por Mourot *et al*. (1994) en suinos mostraron una mayor capacidad de retención de agua en el músculo *Longissimus dorsi*, proporcionando una carne de mejor calidad, utilizando una dieta de 5% de glicerina agregada. El agregado de glicerina, de forma gradual en la ración de cerdos, fue uno de los trabajos realizado por Berenchtein *et al.*, (2010) en cerdos en crecimiento, donde los resultados arrojaron que la glicerina puede ser utilizada como componente energético de la dieta de cerdos en crecimiento y terminación, hasta un valor del 9% de inclusión, sin afectar el rendimiento de los animales y las características de la carcasa. El valor energético de la glicerina es de aproximadamente 4.320 kcal de Energía bruta (EB) por kg, para el glicerol bruto (Lammers *et al.*, 2007). Desde el punto de vista de la calidad de la carne, Melo et al. (2014) utilizó glicerina bruta hasta los niveles de 200 g/kg de inclusión en la dieta de cerdos y pudo observar que no se producían modificaciones en los parámetros físico-químicos de la carne de los cortes lomo y pernil. En estudios realizados por Mazzo (2018) la suplementación de la dieta con glicerina bruta en equinos es segura, ya que no afectó el comportamiento alimenticio, y la salud digestiva de los animales, por lo que justifica el uso como alimento económico para la especie.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar si la sustitución parcial del maíz por sorgo alto tanino, asociado al glicerol, en la dieta de terminación de pollos parrilleros, puede afectar el estado oxidativo y contenido mineral de la carne proveniente de los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius.*

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Determinar la oxidación lipídica y proteica en los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius* de pollos parrilleros en terminación, recibiendo una dieta con sorgo y glicerol.
b) Determinar el contenido de hierro total, hierro hemo y zinc total, en los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius* de pollos parrilleros en terminación, recibiendo una dieta con sorgo y glicerol.
c) Determinar si hay diferencias entre los músculos estudiados, en cuanto a los niveles de oxidación y estatus mineral.

4. HIPÓTESIS

a) La sustitución parcial del maíz por sorgo más glicerol mejoraría la calidad de la carne de aves, desde el punto de vista oxidativo.
b) La sustitución del maíz por sorgo más glicerol podría mantener el estatus mineral en la carne de ave.
c) Habría diferencias entre los músculos estudiados, en cuanto a los niveles de oxidación lipídica y proteica, y estatus mineral.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. ANIMALES Y DIETAS

Para la realización del experimento se utilizaron aves de la línea Ross de ambos sexos, que fueron alojadas en un galpón de la Unidad Avícola Experimental de la Facultad de Agronomía, acondicionado para aves, con temperatura controlada, fotoperiodo de 23 horas de luz y 1 hora de oscuridad. Se comenzó con 120 pollos de un día de edad, provenientes de una planta incubadora comercial, que se criaron a piso sobre cama de cáscara de arroz y recibieron una ración iniciadora base maíz/soja (PC: 21,90 %; EM: 2931 kcal/kg) y agua ad libitum. A los 17 días de edad, se seleccionaron 90 aves, por homogeneidad de peso, similar condición corporal y sanidad, que se alojaron en un total de 30 jaulas (3 aves por jaula) de madera de 90 x 90 cm con cama de cáscara de arroz y equipadas con comederos y bebederos individuales. Las aves se distribuyeron al azar en 5 grupos (n=18 jaulas por grupo) a los que se les ofreció una de las dietas experimentales que se detallan a continuación. Las dietas se diseñaron de manera de presentar contenidos similares de proteína cruda y energía metabolizable.

Dieta Testigo**:** formulada a base de maíz, harina de soja y aceite de girasol.
Dieta 20% S: dieta testigo a la cual se le sustituyó el 20 % del maíz por sorgo.
Dieta 30% S: dieta testigo a la cual se le sustituyó el 30 % del maíz por sorgo.
Dieta 20% S+G: dieta testigo a la cual se le sustituyó el 20 % del maíz por sorgo y la totalidad del aceite de girasol por glicerol cruda.
Dieta 30% S+G: dieta testigo a la cual se le sustituyó el 30 % del maíz por sorgo y la totalidad del aceite de girasol por glicerol cruda.

Tabla 3. Formulación y composición de las dietas experimentales expresada en porcentaje (da Silva, 2017)

Dietas experimentales					
Ingredientes (%)	Testigo	20 % S	30 % S	20 % S+G	30 % S+G
Maíz	49	39	29	39	29
Sorgo	0	20	30	20	30
Harina de soja	30	30	30	30	30
Harina de carne	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Aceite	1,5	1,5	1,5	----------	----------
Glicerol	----------	----------	----------	1.5	1.5
Fosfato	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Carbonato	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Sal	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Lisina	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Metionina	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Anticoccígeo	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Premix (*)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Colina	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Composición química					
EM (kcal/kg)	2990	2930	2900	2930	2900
PC (%)	21,8	21,6	21,5	21,6	21,5

(*) Pre-mezcla vitamínico-mineral para pollos de engorde. Aporte: (cada 1,5 kilogramos de la dieta): 12.000.000 IU de vitamina A, 2.000.000 IU de vitamina D3, 25.000 IU de vitamina E, 7.6 g de vitamina K, 5 g de vitamina B2, 10 g de calcio D-pantotenato, 30 g de niacina, 0,5 g de ácido fólico, 13 mg de vitamina B12, 500 g de cloruro de colina, 0,5 g de vitamina B1, 1 g de vitamina B6, 90 g de Mn, 35 g de Zn,

25 g de Fe, 2 g de Cu, 2 g de I, 0,1 g de Co y 0,1 g de Se. EM: energía metabolizable; PC: proteína cruda

Cabe mencionar que se evaluaron los parámetros productivos de las aves, como el peso vivo a la faena (g/ave), consumo (g/ave), ganancia de peso (g/ave), índice de conversión (kg de alimento/kg de ganancia de peso) y rendimiento de faena (%), no observando diferencias significativas entre los tratamientos dietarios (da Silva, 2017).

A los 51 días de edad, las aves se sacrificaron mediante corte en la vena yugular, respetando las normas establecidas por la CHEA (Comisión Honoraria de Experimentación Animal) y ayuno previo de 7 horas. Se faenaron en una planta comercial ubicada a 10 min de la Facultad de Agronomía. Luego de la faena, las carcasas fueron enfriadas y a las 24 horas *postmortem* fueron trasladadas al laboratorio, donde se extrajeron los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius.* Estos músculos fueron envasados al vacío y congelados a -20 °C. Una porción de los músculos se liofilizó para las determinaciones del contenido de hierro total y sulfhidrilos. Las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Alimentos y Calidad de Productos, y en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía.

5.2. MÚSCULOS

En este estudio se trabajó con los músculos *Pectoralis major y Gastrocnemius* de pollos de la línea Ross. En la figura 4, vemos la ubicación anatómica de estos músculos.

El *Pectoralis* se extiende desde la quilla del esternón a la clavícula y la membrana esternocoracoclavicular hasta la cresta pectoral del húmero (McLellan, 1992). El *Gastrocnemius* ocupa la región caudal del tibio-tarso y se extiende parcialmente hacia la lateral, formado por tres cabezas en la mayoría de las aves, dos proceden del fémur y una de la tibia (Sisson *et al.*, 1982).

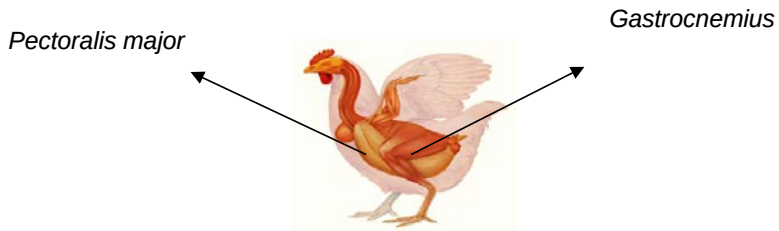

Figura 4. Ubicación anatómica de los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius*

Los músculos de la pechuga (*Pectoralis*) de pollo son blancos y los de la pata (*Gastrocnemius*) son más rojos. Esto se debe a la composición de los músculos en distintos tipos de fibras, que se relaciona con la actividad que realizan. Los músculos de la pechuga de las aves, que participan de la actividad de vuelo, presentan una mayor cantidad de fibras blancas, en aves que tienen muy poca capacidad de volar, vuelan distancias muy cortas con movimientos de las alas muy rápido.

La poca irrigación sanguínea y el bajo contenido de mioglobina y mitocondrias de las fibras musculares blancas indican un metabolismo anaeróbico, donde la energía proviene de la degradación del glucógeno a glucosa (Schreurs, 1999). Por otro lado, los músculos de la pata que son más rojos, cumplen una función de mantenimiento de la postura en el animal. Las fibras rojas, lentas, presentan un alto contenido de mioglobina, gran irrigación sanguínea y gran cantidad de mitocondrias, y dependen de procesos oxidativos para el suministro de energía (Schreurs, 1999).

5.3. DETERMINACIONES

5.3.1. Oxidación Lipídica

Se determinó la oxidación lipídica en ambos músculos por la técnica de TBARS (especies reactivas al ácido tiobarbitúrico) descrita por Lynch y Frei (1993), con ciertas modificaciones para carne de ave (del Puerto *et al.*, 2016). Se pesaron aproximadamente 5 g de carne que se homogeneizaron en un Waring-Blender junto con 100 ml de KCl+EDTA y 1 ml de BHT durante 1 min a máxima velocidad. Se colocaron 30 ml del homogeneizado en un tubo Falcon y 6 ml en otro tubo con tapa que se colocó en freezer, para determinar al día siguiente, el contenido de carbonilos y la concentración de proteínas. Se centrifugó el homogeneizado a 2000 *g* durante 10 min a 4 ºC. Se extrajo 1 ml del sobrenadante de cada muestra y se colocó en tubo de vidrio, al cual se le agregó 1 ml de la mezcla TBA-TCA. Se preparó un blanco con 1 ml de KCl, y se colocaron los tubos de vidrio en agua en ebullición durante 30 min. Luego se colocaron 5 min en hielo para detener la reacción y a temperatura ambiente durante 45 minutos. Se agregaron 3 ml de n-butanol a cada tubo, se pasaron por el vortex, y se centrifugaron a 3000 *g* durante 10 min. Se midió la absorbancia a 535 nm del sobrenadante en un espectrofotómetro (T70 UV/Vis, PG Instruments Ltd.). Los resultados se expresaron en mg MDA/kg carne.

5.3.2. Oxidación Proteica

5.3.2.1 Carbonilos Proteicos

Para la determinación del contenido de carbonilos proteicos en los músculos estudiados, se siguió la técnica descrita por Mercier et al. (2004). Primero, se descongelaron las muestras homogeneizadas el día anterior, en un baño maría a 25 ºC y luego se centrifugaron a 2000 *g* por 10 min a 4 ºC. Se extrajeron 2 ml del homogeneizado para la determinación del blanco y 2 ml para la determinación de la muestra, que se colocaron en tubos de vidrio. Se agregaron 2 ml de HCl 2M al blanco y 2 ml de DNPH en HCl 2 M a las muestras. Se incubaron a temperatura ambiente durante 1 hora y se agitaron en vortex cada 10 min. Se agregaron 2 ml de

TCA 20% y se dejó reposar durante 15 min pasando por el vortex cada 5 min. Se centrifugaron a 2000 *g* por 10 minutos y se eliminó el sobrenadante. Se agregaron 4 ml de etanol: acetato de etilo (1:1) para el lavado del pellet, 3 veces, centrifugando luego de cada lavado. Se disolvió el pellet con 6 ml de guanidina en KH_2PO_4 y se incubó a temperatura ambiente durante 15 min pasando por el vortex cada 5 min. Luego se centrifugó a 2400 *g* por 10 min y se midió la absorbancia del sobrenadante a 370 nm del blanco y de cada una de las muestras en un espectrofotómetro (T70 UV/Vis, PG Instruments Ltd.). Los resultados se expresaron en nmoles DNPH/mg proteína. Para poder expresar los resultados por mg de proteína se determinó la concentración de proteínas de cada muestra mediante la técnica de Stoscheck (1990) a 280 nm (UV) utilizando BSA como estándar de proteína.

5.3.2.2. Sulfhidrilos

Para la determinación del contenido de sulfhidrilos en los músculos de pollo estudiados, se siguió la técnica descrita por Jongberg et al. (2013) basada en el reactivo de Ellman´s ácido 5,5´- ditio-bis (2-nitrobenzoico) (DTNB). Se pesó 1 g de carne y luego se homogeneizó en 20 ml de una solución que contenía Urea-SDS-PBS (Urea 8 M, SDS 3%, PBS 0.1 M, pH 7,4) empleando un Ultra-turrax (IKA T18 Basic) a velocidad 2 (8000 rpm). Se pasó por vortex (Vortex Genie, Model K550-GE, Scientifc Industries) un minuto a velocidad 10 y se incubó con agitación (Roto Mix, Thermolyne) a velocidad 5 (140 rpm) por 1 hora. Luego se filtró la muestra (Whatman n°1) hasta obtener 5 ml. Se tomaron 40 µl del filtrado y se adicionaron 1960 µl de la solución Urea-SDS-PBS y 600 µl del reactivo de Ellman´s (DTNB 10 mM en PBS 0.1 M). Se incubó en oscuridad durante 15 minutos a temperatura ambiente y se leyó la absorbancia a 412 nm (espectrofotómetro T70 UV/Vis, PG Instruments Ltd.). Los resultados se expresaron en nmoles SH/mg proteína, y se determinó la concentración de proteínas de cada una de las muestras a 280 nm utilizando la técnica de Stoscheck (1990) empleando BSA como estándar de proteína.

5.3.3. Hierro y Zinc Total

Para la determinación del contenido de hierro y zinc total en los músculos estudiados se empleó la técnica descrita por Cabrera et al. (2010) y Ramos et al. (2012), utilizando espectrometría de absorción atómica de llama (Perkin Elmer, Analyst 300) y estándares de hierro y zinc apropiados (Fluka, EAA). Primero se pesaron 0,5 g de muestra liofilizada de la carne de los músculos Pectoralis y Gastrocnemius, en crisoles que se colocaron en una mufla a 550 °C durante 48 horas para obtener las cenizas. Luego, se agregaron 2 ml de HCl 6 N a cada crisol con las cenizas y se colocaron en una plancha calefactora a temperatura mínima hasta que la solución quede transparente. Se agregaron 2 ml de HNO3 1N y se dejó calentar 15 min más. Se dejó enfriar y se filtró con papel (Whatman n°1) y embudo de vidrio a matraces de 10 ml. Se completó el volumen de los matraces con agua desionizada. Los resultados se expresaron en mg/kg de músculo fresco.

5.3.4. Hierro Hemo

Para la determinación de hierro hemínico se realizó la extracción de hemina con una solución de acetona acidificada, según Hornsey (1956), Ramos et al. (2009) y Ramos et al. (2012). Las muestras de 2 g de carne de pollo se cortaron finamente y se maceraron con 9 ml de acetona acidificada (180 ml de acetona: 4 ml de HCl: 16 ml de agua desionizada) en tubos de vidrio durante 4 minutos. Los tubos se taparon y se colocaron en la oscuridad durante una hora. Luego se filtró con papel de filtro (Whatman GFA) y se midió la absorbancia a 640 nm en un espectrofotómetro GENESYS 6-UV (Thermo Corporation, USA). El contenido de Fe hemínico se calculó usando el factor 0,0882 µg Fe/µg de hematina (Hornsey, 1956). Los resultados se expresaron en ppm (mg/kg músculo fresco) y para poder corregir por contenido de agua en la muestra, se pesaron 2 g de la muestra fresca y se secaron en estufa a 105 °C durante 48 horas.

5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó el software NCSS (2007) y se estableció una significancia de $P<0,05$. Los resultados se expresaron como medias ± SEM. Se realizó un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM para evaluar el efecto del tratamiento dietario y el efecto del músculo y sus interacciones. Se realizó una ANOVA de una vía, seguida del test de Tukey-Kramer para comparar los tratamientos dietarios dentro de cada músculo, y para comparar los músculos dentro de cada tratamiento dietario.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. OXIDACIÓN LIPÍDICA

Como se puede ver en la Tabla 4 se obtuvo un efecto del tratamiento dietario ($P<0.0001$), donde los grupos 20% S+G y 30% S+G presentaron menores niveles de oxidación lipídica que los grupos 20% S y 30% S. Por lo que, el agregado de glicerol a los grupos que tenían sustitución parcial de maíz por sorgo (20% y 30%), disminuyó los niveles de TBARS en la carne. Esto podría ser explicado en parte por el alto contenido de PUFA que presenta el aceite de girasol, por lo cual sería más susceptible a la oxidación lipídica que el glicerol, y que podría estar trasladando moléculas de MDA a la sangre y de ahí a los músculos del animal. El grupo testigo (maíz) no fue diferente a ninguno de los otros grupos (sorgo y sorgo más glicerol). Este resultado concuerda con el trabajo de del Puerto et al. (2016) donde no se encontró un efecto de la sustitución parcial del maíz por sorgo (36%) en los niveles de oxidación lipídica en el músculo Pectoralis de pollos, y no concuerda con el trabajo de Castroman et al. (2013), ya que encontraron menores niveles de TBARS en la carne de pollo del sistema orgánico (sorgo) comparado con la del sistema convencional (maíz), y con el trabajo de Saleh et al. (2019) donde en la carne de pollos con sustitución del 25, 50 y 100% de maíz por sorgo se observaron menores niveles de oxidación lipídica. En el trabajo de Du et al. (2002) se encontró una mejor estabilidad oxidativa en la carne de pollos alimentados con sorgo alto tanino (10%) comparado con la dieta control de maíz-soja-lino y con sorgo bajo tanino (10%). Esto puede ser explicado por una mayor presencia de polifenoles en el sorgo alto tanino, que actúan como antioxidantes.

En el presente trabajo, no se obtuvieron diferencias entre los músculos estudiados (Pectoralis y Gastrocnemius), en cuanto a la oxidación lipídica de la carne de ave ($P>0.05$), al igual que en el trabajo de Castroman et al. (2013). Sin embargo, hay varios trabajos en carne de pollo (Muhlisin et al., 2016; del Puerto et al., 2014; Levrero et al., 2014; Soyer et al., 2010) donde se ha observado un valor de TBARS más elevado en el músculo Gastrocnemius comparado con el Pectoralis, lo cual se

puede relacionar con un mayor porcentaje de lípidos presentes en el Gastrocnemius (Lorenzo et al., 2011; Cortinas et al., 2004).

Tabla 4. TBARS (mg MDA/kg carne) en los músculos *Pectoralis* y *Gastrocnemius* de aves alimentadas con dietas de sorgo (20%S; 30%S) o sorgo más glicerol (20%S+G; 30%S+G) en sustitución parcial del maíz (Testigo)

	Testigo	20% S	30% S	20% S+G	30% S+G
Pectoralis	0.24±0.03b	0.32±0.02ab	0.40±0.04Aa	0.22±0.01b	0.26±0.02b
Gastrocnemius	0.35±0.02a	0.35±0.02a	0.27±0.02Bab	0.25±0.03b	0.24±0.03b
Efectos principales	Efecto dieta: (P<0.0001), 20% S+G, 30% S+G < 20% S, 30% S T= 20% S+G, 30% S+G, 20% S, 30% S Efecto músculo: NS Interacción dieta x músculo: (P<0.001)				

Resultados expresados como la media ± error estándar de la media (n=8). Letras diferentes en minúscula marcan diferencias significativas (P<0.05) entre tratamientos en cada músculo. Letras diferentes en mayúscula marcan diferencias significativas (P<0.05) entre músculos en cada tratamiento. NS: no significativo. T: testigo.

6.2. OXIDACIÓN PROTEICA

6.2.1. Carbonilos Proteicos

Al observar los resultados de la oxidación proteica (carbonilos proteicos) en la carne de pollos con distintos porcentajes de sustitución de maíz por sorgo e inclusión de glicerol (Tabla 5), vemos que no se obtuvo un efecto del tratamiento dietario ($P>0.05$). Esto coincide con otros trabajos nacionales en carne de ave, donde se sustituyó un determinado porcentaje del maíz por sorgo (del Puerto et al., 2016; Castroman et al., 2013), por puntina de arroz (Levrero et al., 2014) y donde se suplementó con Se (del Puerto et al., 2014) en la dieta. El hecho de no haber encontrado un efecto de la dieta sobre la oxidación proteica es un resultado positivo, ya que la carbonilación se ha destacado como una de las modificaciones más notables en las proteínas de los alimentos oxidados (Estévez y Luna, 2017), que puede conllevar a la pérdida de solubilidad y funcionalidad proteica, así como la diminución de la actividad proteolítica (digestibilidad), elementos que a su vez favorecen la pérdida del valor nutricional y propiedades tecnológicas de la carne (Estévez, 2011).

A su vez, tampoco se obtuvo un efecto del músculo sobre el contenido de carbonilos proteicos ($P>0.05$), lo cual coincide con los trabajos de Castroman et al. (2013), del Puerto et al. (2014) y Levrero et al. (2014) en carne de ave.

Tabla 5. Contenido de carbonilos proteicos (nmoles DNPH/mg proteína) en los músculos *Pectoralis* y *Gastrocnemius* de aves alimentadas con dietas de sorgo (20%S; 30%S) o sorgo más glicerol (20%S+G; 30%S+G) en sustitución parcial del maíz (Testigo)

	Testigo	20% S	30% S	20% S+G	30% S+G
Pectoralis	0.12±0.02	0.13±0.03	0.11±0.01	0.15±0.02	0.14±0.02
Gastrocnemius	0.12±0.02	0.14±0.01	0.11±0.01	0.11±0.01	0.11±0.01
Efectos principales	Efecto dieta: NS Efecto músculo: NS Interacción dieta x músculo: NS				

Resultados expresados como la media ± error estándar de la media (n=8). NS: no significativo.

6.2.2. Sulfhidrilos

La presencia de grupos SH en las proteínas de la carne, es principalmente responsable de las propiedades de formación de geles, así como también de flavores durante los tratamientos térmicos (Korzeniowska *et al.,* 2018). Al observar los resultados del contenido de SH en la carne de ave (Tabla 6), vemos un efecto del tratamiento dietario ($P<0.0001$), donde el grupo Testigo presentó un mayor contenido de SH intactos comparado con los otros grupos dietarios. Esto quiere decir que el agregado de sorgo en la dieta de las aves pudo haber disminuido los grupos SH, ya sea quelatando los mismos o provocando su pasaje a otras moléculas. Selle et al. (2013) encontraron una disminución lineal de los grupos -SH con la incorporación de sorgo, interpretando un efecto negativo sobre la solubilidad de la proteína, y particularmente la que es rica en cistina o cisteína. El tipo de proteína, propio del sorgo, las kafirinas o los procesos de alquilación con puentes disulfuros (Duodu *et al.,* 2003) pueden ser la causa de esta pérdida de grupos tioles en la carne de todos los tratamientos que incluyeron sorgo en sustitución del maíz.

Se podría emitir una hipótesis de que los polifenoles presentes en el sorgo podrían estar unidos a los -SH y de alguna forma alterar la proteína. Al haber muy pocas publicaciones en este tema, se nos hizo difícil la comparación de nuestros resultados.

También se observó un efecto del tipo de músculo (P<0.05) donde el *Gastrocnemius* presentó valores más altos de -SH comparado con el *Pectoralis*. En este sentido, en un trabajo (Korzeniowska *et al.*, 2018), donde se estudiaron varios músculos de pollo, los músculos de la pechuga presentaron menores niveles de -SH que los músculos de la pata, lo cual puede estar conectado con el tipo de fibra y su metabolismo. Los músculos de la pechuga están compuestos mayoritariamente por fibras blancas, y los de la pata por fibras rojas o mixtas (Korzeniowska *et al.*, 2018).

Tabla 6. Contenido de SH (nmoles/mg proteína) en los músculos *Pectoralis* y *Gastrocnemius* de aves alimentadas con dietas de sorgo (20%S; 30%S) o sorgo más glicerol (20%S+G; 30%S+G) en sustitución parcial del maíz (Testigo)

	Testigo	20% S	30% S	20% S+G	30% S+G
Pectoralis	133±3a	81±2b	80±2Bb	81±2b	82±1b
Gastrocnemius	133±5a	86±2b	86±2Ab	87±3b	85±2b
Efectos principales	Efecto dieta: (P<0.0001), T>20%S, 30%S, 20%S+G, 30%S+G Efecto músculo: (P<0.05) Ga>Pe Interacción dieta x músculo: NS				

Resultados expresados como la media ± error estándar de la media (n=8). Letras diferentes en minúscula marcan diferencias significativas (P<0.05) entre tratamientos en cada músculo. Letras diferentes en mayúscula marcan diferencias significativas (P<0.05) entre músculos en cada tratamiento. NS: no significativo; T: testigo; Pe: Pectoralis; Ga: Gastrocnemius.

6.3. HIERRO TOTAL

El contenido promedio de hierro total encontrado varió desde 7.1 a 12.1 mg/kg carne fresca en el músculo *Pectoralis*, y desde 10.1 a 14.9 mg/kg carne fresca en el músculo *Gastrocnemius*. Estos valores son más altos a los encontrados por Lombardi-Boccia *et al.,* (2002) (4 mg/kg en pechuga y 7 mg/kg en pata) y Muhlisin *et al.,* (2016) (1.67 mg/kg en pechuga y 1.70 mg/kg en pata) en carne de pollo.

Se observó un efecto de la dieta ($P<0.0001$) (Tabla 7), donde las aves que recibieron el tratamiento 20%S presentaron un mayor contenido de hierro en su carne comparado con los otros tratamientos. En trabajos anteriores (Luciano *et al.,* 2009) se encontró un resultado similar, así como en otras especies, en donde la presencia de taninos en la dieta favoreció la cantidad de hierro muscular, y esto puede deberse ya sea a que el tipo de tanino presente en estos sorgos puede tener un efecto distinto a los taninos condensados (Delimont *et al.,* 2017), o a que este tipo de sorgo no tiene presencia de fitatos, los cuales estarían más asociados a la quelatación del hierro a nivel intestinal. O como lo expresa Luciano et al. (2009) habría un efecto de conservación del hierro en la carne de animales que reciben taninos en la dieta, aduciendo un efecto de protección de la estabilidad oxidativa de las proteínas y por tanto de la degradación del hierro en otras formas a través de un proceso de oxidación.

Además, se obtuvo un efecto del músculo ($P<0.01$) donde el *Gastrocnemius* presentó un mayor contenido de hierro total que el *Pectoralis*, lo cual fue observado por otros investigadores en carne de pollo (Muhlisin *et al.,* 2016; Lombardi-Boccia *et al.,* 2002) y se explica por una mayor concentración de mioglobina y hemoglobina en el músculo *Gastrocnemius.*

Tabla 7. Contenido de hierro total (mg/kg de carne fresca) en los músculos *Pectoralis* y *Gastrocnemius* de aves alimentadas con dietas de sorgo (20%S; 30%S) o sorgo más glicerol (20%S+G; 30%S+G) en sustitución parcial del maíz (Testigo).

	Testigo	20% S	30% S	20% S+G	30% S+G
Pectoralis	8.8 ± 0.4b	12.1 ± 1.9a	7.8 ± 0.5b	7.9 ± 0.7b	7.1 ±1.1b
Gastrocnemius	9.6 ±0.9b	14.9 ± 1.3a	10.9 ±1.3b	11.1 ± 0.9b	10.1 ±1.8b
Efectos principales	Efecto dieta: (P<0.0001); 20%S > T, 30%S, 20%S+G, 30%S+G Efecto músculo: (P<0.01); *Ga > Pe* Interacción dieta x músculo: NS				

Resultados expresados como la media ± error estándar de la media (n=8). Letras diferentes marcan diferencias significativas (P<0.05) entre tratamientos en cada músculo. NS: no significativo. T: testigo; Pe: Pectoralis; Ga: Gastrocnemius.

6.4. HIERRO HEMO

El contenido promedio de hierro hemo varió desde 2.9 a 3.4 mg/kg carne fresca en el músculo *Pectoralis*, y desde 5.7 a 6.3 mg/kg carne fresca en el músculo *Gastrocnemius*. Los valores encontrados en el músculo *Pectoralis* son superiores a los encontrados por Lombardi-Boccia *et al.,* (2002) (1.2 mg/kg) y Muhlisin *et al.,* (2016) (1.27 mg/kg), así como también en el *Gastrocnemius* los valores fueron superiores a los observados por estos mismos autores (2 mg/kg y 1.46 mg/kg, respectivamente), en carne de pollo.

En los resultados del contenido de hierro hemo (Tabla 8) no se observó un efecto del tratamiento dietario (P>0.05), al igual que en el trabajo de del Puerto *et al.,* (2016) donde se realizó una sustitución parcial del maíz por sorgo (36%) en la dieta de las aves. Sin embargo, en el trabajo de Castroman *et al.,* (2013) el contenido de hierro hemo fue mayor en la carne de aves del sistema orgánico (sorgo) que en la del sistema convencional (maíz).

Al igual que para el hierro total, se observó un efecto del músculo ($P<0.0001$) donde el *Gastrocnemius* presentó un mayor contenido de hierro hemo comparado con el *Pectoralis.* Esto también fue observado en otros trabajos en carne de ave (Muhlisin *et al.,* 2016; Castroman *et al.,* 2013; Lombardi-Boccia *et al.,* 2002). Al igual que para el hierro total, el carácter oxidativo y un mayor contenido de mioglobina y hemoglobina en el músculo *Gastrocnemius* comparado con el *Pectoralis* explican estas diferencias. En efecto, la mioglobina está mayormente presente en el músculo estriado de los vertebrados y en el sarcoplasma de las fibras del músculo esquelético oxidativo (Ordway y Garry, 2004). El efecto observado de la dieta con sorgo en sustitución parcial del maíz, sobre el mayor contenido de hierro total (ver Tabla 7) no se tradujo en igual resultado con respecto al hierro hemo en el presente trabajo. Diferencias entre los músculos que fueron objeto de cada estudio, en cuanto a sus características oxidativa o glicolítica o presencia de tipos de fibras podrían explicar las diferencias observadas. En las aves, el músculo *Pectoralis*, está íntegramente formado por fibras de tipo IIB (glicolíticas) mientras que el músculo *Gastrocnemius* presenta distintas proporciones de fibras oxidativas y glicolíticas (IIA) (Hakamata *et al.,* 2018). Esta clasificación hace a la utilización del substrato, las de tipo IIB son glicolíticas y lo usan rápido y las de tipo IIA son oxidativas-glicolíticas y lo usan rápido, sin embargo, recientemente se demostró que la capacidad respiratoria de la mitocondria de cada músculo muestra diferencias, siendo la del músculo con fibras tipo IIA más alta (Hakamata *et al.,* 2018). Esto podría explicar la mayor necesidad de incorporar más mioglobina y por tanto más hierro en este músculo.

Tabla 8. Contenido de hierro hemo (mg/kg de carne fresca) en los músculos *Pectoralis* y *Gastrocnemius* de aves alimentadas con dietas de sorgo (20%S; 30%S) o sorgo más glicerol (20%S+G; 30%S+G) en sustitución parcial del maíz (Testigo).

	Testigo	20% S	30% S	20% S +G	30% S+ G
Pectoralis	3.2±0.4	3.4 ± 0.5	3.2 ± 0.4	2.9 ± 0.5	3.1 ± 0.5
Gastrocnemius	5.9±0.8	5.7 ± 0.5	6.3 ± 0.6	5.9 ± 0.7	5.8 ± 0.8
Efectos principales	Efecto dieta: NS Efecto músculo: (P<0.0001); *Ga* > *Pe* Interacción dieta x músculo: NS				

Resultados expresados como la media ± error estándar de la media (n=8). NS: no significativo. Pe: Pectoralis; Ga: Gastrocnemius.

6.5. ZINC

En la Tabla 9 se pueden observar los resultados del contenido de zinc en cada músculo y para cada tratamiento dietario recibido. El contenido promedio de zinc varió desde 5.9 ± 0.5 con la dieta de 30% S+G y 8.0 ± 0.3 con la dieta 30% S en el músculo *Pectoralis*, y de 11. 6 ± 0.9 con la dieta 30% S y 16.5 ± 1.7 con la dieta 20% S, en el músculo *Gastrocnemius*.

Cuando se analizaron los efectos principales, no se encontró un efecto de la dieta (P>0.05) sobre el contenido de zinc, considerando ambos músculos, pero si hubo un efecto significativo del tipo de músculo, donde el *Gastrocnemius* presentó un mayor contenido de zinc comparado con el *Pectoralis*, lo cual tiene importancia desde el punto de vista nutricional. Además, se compararon los grupos dietarios dentro de cada músculo, observando diferencias significativas. En el músculo *Pectoralis*, el grupo 30%S presentó un mayor contenido de Zn comparado con el grupo 30%S+G (p<0.02). En el músculo *Gastrocnemius*, en estos dos grupos se observó un menor contenido de Zn comparado con los grupos Testigo, 20%S y 20%S+G (p<0.02). Estos resultados son novedosos, ya que, en la bibliografía, no se cita este efecto del sorgo en el contenido de zinc, probablemente un efecto sobre la quelatación del catión zinc por parte de los polifenoles del grano de sorgo.

Tabla 9. Contenido de zinc (mg/kg de carne fresca) en los músculos *Pectoralis* y *Gastrocnemius* de aves alimentadas con dietas de sorgo (20%S; 30%S) o sorgo más glicerol (20%S+G; 30%S+G) en sustitución parcial del maíz (Testigo).

	Testigo	20% S	30% S	20% S+G	30% S+G
Pectoralis	7.5±0.5ab	7.6±0.6ab	8.0±0.3a	6.7±0.3ab	5.9±0.5b
Gastrocnemius	15.3±2.3a	16.5±1.7a	11.6±0.9b	16.2±2.6a	11.7±0.8b
Efectos principales	Efecto dieta: NS Efecto músculo: (P<0.001); *Ga >Pe* Interacción dieta x músculo: NS				

Resultados expresados como la media ± error estándar de la media (n=8). Letras diferentes marcan diferencias significativas (P<0.05) entre tratamientos en cada músculo. NS: no significativo; Pe: Pectoralis; Ga: Gastrocnemius.

6.6. APORTE DE HIERRO Y ZINC DE LA CARNE DE AVES RECIBIENDO DIFERENTES DIETAS, SEGÚN LOS REQUERIMIENTOS DE NIÑOS Y ADULTOS

Una aplicación de este estudio, en cuanto al aporte que estos músculos pueden hacer a la dieta humana, puede observarse en la Tabla 10. En base a los valores de Fe total y Zinc encontrados en la carne de pollo en este estudio, se puede decir que el aporte promedio de Fe en 100 g de *Pectoralis* (0.874 mg) cubre un 8.74% de los requerimientos de un niño, cerca de un 4.85% de los requerimientos para una mujer adulta y cerca de un 10.9 % para un hombre adulto. En cuanto al músculo *Gastrocnemius*, 100 g aportan en promedio 1.132 mg de Fe, lo que estaría cubriendo un 11.32% de los requerimientos de un niño, cerca de un 6.29 % de las recomendaciones para una mujer adulta y un 14.15 % para un hombre adulto. El contenido promedio de zinc, en 100 g de músculo *Pectoralis* es de 0.714 mg, lo que cubre un 14.28 % de los requerimientos diarios de un niño, cerca de un 8.93 % de los requerimientos de una mujer adulta y cerca de un 6.49 % de los requerimientos diarios de zinc para un hombre adulto. En el *Gastrocnemius*, el promedio de Zn es de

1.426 mg, cubriendo un 28.52 % de los requerimientos diarios de un niño, cerca de un 17.83 % para mujeres adultas y cerca de un 12.96 % para los requerimientos de un hombre adulto (DHHS, 2020).

Tabla 10. Contribución en Fe y Zn, expresado en porcentaje, de la carne de aves (músculo *Pectoralis*, Pe y *Gastrocnemius*, Ga) alimentadas con diferentes dietas, a los aportes recomendados para niños (4-8 años) y adultos (mujeres; hombres entre 19-50 años) en base a las RDA.

	%Aporte de Fe (mg/100 g carne)			%Aporte de Zn (mg/100 g carne)		
Edades	**Niños**	**Mujeres**	**Hombres**	**Niños**	**Mujeres**	**Hombres**
Testigo Pe	8,80	4,89	11,00	15,00	9,38	6,82
Testigo Ga	9,60	5,33	12,00	30,60	19,13	13,91
20% S Pe	12,10	6,72	15,13	15,20	9,50	6,91
20% S Ga	14,90	8,28	18,63	33,00	20,63	15,00
30% S Pe	7,80	4,33	9,75	16,00	10,00	7,27
30% S Ga	10,90	6,06	13,63	23,20	14,50	10,55
20% S+G Pe	7,90	4,39	9,88	13,40	8,38	6,09
20%S+G Ga	11,10	6,17	13,88	32,40	20,25	14,73
30% S+G Pe	7,10	3,94	8,88	11,80	7,38	5,36
30% S+G Ga	10,10	5,61	12,63	23,40	14,63	10,64
Promedio Pe	8,74%	4,86%	10,93%	14,28%	8,93%	6,49%
Promedio Ga	11,32%	6,29%	14,15%	28,52%	17,83%	12,96%

Los valores utilizados para comparar los requerimientos fueron los siguientes:

RDA mg/día	**10mg/día**	**18mg/día**	**8mg/día**	**5mg/día**	**8mg/día**	**11mg/día**

7. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que la sustitución de un 20 o 30% del maíz por sorgo, en asociación con un 1,5% de glicerina, en la dieta de pollos en terminación, podría mejorar la estabilidad oxidativa de los lípidos en la carne, en comparación con una dieta con sustitución de 20 o 30% de sorgo. Se necesitan más estudios para concluir respecto al efecto de los cambios de la dieta estudiados, sobre el estado de los grupos–SH, ya que su disminución puede ser un enmascaramiento de los tioles por los compuestos fenólicos o el tipo de proteína propia del sorgo.

Referido a la nutrición humana, se podría recomendar el consumo de carne de pollo, con una sustitución en la dieta de un 20% del maíz por sorgo en la dieta de los pollos, ya que podría aumentar el contenido de Fe total del producto fresco.

Por último, se concluye que el músculo *Gastrocnemius* aportaría un mayor contenido de Fe, Fe hemo y Zn, en comparación con el músculo *Pectoralis major*, por lo cual el músculo de la pata sería una mejor opción de alimentación para personas con mayores requerimientos de estos minerales.

8. BIBLIOGRAFÍA

Armendáriz CR, Gironés CR, Marrero SA, de la Torre AH, Weller DG. 2004. Zn, Mn, Cu, Se, Cr: Nutrición y suplementación. Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos. 353: 37-44.

Ayna CM. 2017. Estado nutricional, nivel de hemoglobina y aporte nutricional de la alimentación complementaria en niños de 6-24 meses del Centro de Salud Vallecito Puno-2016.

Berenchtein B, Costa B, Braz DB, Almeida VV, Tse MLP, Miyada VS. 2010. Utilização de glicerol na dieta de suínos em crescimento e terminação. Revista Brasileira de Zootecnia. 39: 1491-1496.

Berlett, BS, Stadtman, ER. 1997. Protein oxidation in aging, disease, and oxidative stress. Journal of Biological Chemistry. 272: 20313-20316.

Bernardino VM, Rodrigues PB, de Paula Naves L, Rosa PV, Zangeronimo MG, Gomide EM, Saldanha MM, Alvarenga RR. 2014. Content of plasmatic glycerol and activity of hepatic glycerol kinase in broiler chickens fed diets containing different sources and concentrations of glycerine. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 98(2): 328-337.

Bodwell CE, McClain PE. 1971. Composición química de los tejidos animales. En Ciencia de la carne y de los productos cárnicos (Price, J.F., Schweigert, B.S., eds.) p.80-211, Editorial Acribia, Zaragoza, España.

Bokkers EAM, Koene, P. 2003. Behaviour of fast- and slow growing broilers to 12 weeks of age and the physical consequence. Applied Animal Behaviour Science. 81: 59 - 72.

Buckley DJ, Morrisey PA, Gray JI. 1995. Influence of dietary vitamin E on the oxidative stability and quality of pig meat. Journal of Animal Science. 73: 3122-3130.

Cabrera MC, Ramos A, Saadoun A, Brito G. 2010. Selenium, copper, zinc, iron and manganese content of seven meat cuts from Hereford and Braford steers fed pasture in Uruguay. Meat Science, 84: 518–528.

Carruth BR. Adolescencia. En: Brown ML, Filer LJ, Guthrie HA y cols. (eds). Conocimientos actuales sobre nutrición. Washington: OPS: 1991: 375-384.

Carvalho LSS, Fagundez NS, Litz FH, Saar AGL, Fernandez EA. 2015. Sorgo grão inteiro ou moído em substituição ao milho em rações de frangos de corte. (en línea). Enciclopédia Biosfera. 11(21): 1757-1765. Consultado agosto de 2020. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Naiara_Fagundes/publication/289505970_Sorgo_inteiro_ou_moido_em_substituicao_ao_milho_em_racoes_de_frangos_de_corte/links/568d574608ae78cc05141a8c/Sorgo-inteiro-ou-moido-em-substituicao-ao-milho-em-racoes-de-frangos-de-corte.pdf.

Carvalho R, Shimokomaki M, Estévez M. 2017. Poultry meat color and oxidation. Chapter 6. 133-157.

Cascone A. 2005. Study and prevention of lipid oxidation in meat. Tesis Doctoral. Nápoles, Italia. Universidad de Nápoles. 11 p.

Castroman G, del Puerto M, Ramos A, Cabrera MC, 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(2): 12-21.

Cerrate SE, Yan F, Wang Z, Coto C, Sacakli P, Waldroup PW. 2006. Evaluation of glycerin from biodiesel production as a feed ingredient for broilers. International Journal of Poultry Science. 5(11): 1001-1007.

Cifuni GF, Napolitano F, Riviezzi AM, Braghieri A, Girolami A. 2004. Fatty acid profile, cholesterol content and tenderness of meat from Podolian young bulls. Meat Science. 67(2): 289–297. Consultado julio 2020. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.10.017.

Codony Salcedo R, Guardiola Ibarz F, Bou Novensa R. 2011. Características nutricionales y saludables de la carne de pollo y pavo. Barcelona: universidad de Barcelona. Consultado agosto 2020. Obtenido de https://100per100salut.files.wordpress.com/2012/11/informe-nutricional-federacioavicola-def1.pdf.

Cortinas Hernández, L. 2004. Niveles de ácidos grasos poliinsaturados y α-tocoferol en el pienso de broilers: Equilibrio entre composición lipídica y estabilidad oxidativa de la carne [Tesis Doctoral]. Barcelona, España: Universidad Autónoma de Barcelona.135 p.

Cortinas L, Villaverde C, Galobar J, Bausells M, Codony R, Barroeta A. 2004. Fatty acid content in chicken thigh and breast as affected by dietary polyunsaturation level. Poultry Science. 83: 1155-1164.

da Silva A. 2017.Efecto del sorgo y el glicerol en la calidad de carne y metabolismo del glucógeno en aves. Tesis de grado. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía.

Dasari M. 2007. Crude glycerol potencial described. (en línea). Feedstuffs. 4: 16-19. Consultado marzo 2017. Disponible en http://www.feedenergy.comupldownloadswhite-paperscrude-glycerol-potential-described-badec0f3.pdf.

de Sousa DC, de Oliveira, NLA, Dourado LRB, de Campos Ferreira GJB. 2015. Sistema digestório das aves e o glicerol na dieta de frangos de corte: Revisão. Pubvet, 9: 348-399.

de Souza Farias M, do Prado IN, Valero MV, Zawadzki, F, Silva RR, Eiras CE, Lima BS. 2012. Níveis de glicerina para novilhas suplementadas em pastagens: desempenho, ingestão, eficiência alimentar e digestibilidade. Seminar: Ciências Agrárias. 33(3): 1177-1187.

Dean RT, Fu S, Stocker R, Davies MJ. 1997. Biochemistry and pathology of radical mediated protein oxidation. Biochemical Journal. 324: 1-18.

Decker E, Hulyn H. 1992. Lipid oxidation in muscle foods via redox iron. In Lipid oxidation in Food. ACS Washington D. C p 33-55.

del Puerto M, Terevinto A, Cabrera MC, Saadoun A. 2014. Organic and inorganic selenium in poultry diets: effect on lipid and protein oxidation, drip loss and GPx activity in fresh and aged meat. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Supl. 1. 22(5): 177-180.

del Puerto M, Terevinto A, Saadoun A, Olivero R, Cabrera MC. 2016. Effect of different sources of dietary starch on meat quality, oxidative status and

glycogen and lactate kinetic in chicken *Pectoralis* muscle. Journal of Food and Nutrition Research. 4(3): 185-194.

Delimont NM, Haub MD, Lindshield BL. 2017. The Impact of Tannin Consumption on Iron Bioavailability and Status: A Narrative Review. *Current developments in nutrition*. 1(2), 1–12. https://doi.org/10.3945/cdn.116.000042.

Descalzo AM, Insani EM, Biolatto A, Sancho AM, García PT, Pensel NA, Josifovich, J.A. 2005. Influence of pasture or grain-based diets supplemented with vitamin E on antioxidant/oxidative balance of Argentine beef. Meat Science. 70: 35-44.

DHHS. Department of Health & Human Services. Consultado en octubre 2020. Disponible en: https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/Zinc-DatosEnEspanol.pdf.

Donkin, S.S. 2008. Glycerol from biodiesel production: the new corn for dairy cattle. Revista Brasileira de Zootecnia. 37: 280-286.

Du M, Cherian G, Stitt PA, Ahn DU. 2002. Effect of dietary sorghum cultivars on the storage stability of broiler breast and thigh meat. Poultry Science. 81: 1385-1391.

Duodu KG, Taylor JRN, Belton PS, Hamaker BR. 2003. Factors affecting sorghum protein digestibility. Journal of Cereal Science. 38(2): 117- 131. doi:https://doi.org/10.1016/S0733-5210(03)00016-X

Estévez M. 2011. Protein carbonyls in meat systems: A review. Meat Science. 89: 259-279.

Estévez M, Luna C. 2017. Oxidación de proteínas alimentarias: ¿Una amenaza silenciosa para la salud humana? Revisiones críticas en ciencia de los alimentos y nutrición. 57 (17): 3781-3793.

FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). 2019. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Consultado marzo 2020. Disponible en: http://www.fundacionfedna.org/tablas-fedna-composicion-alimentos-valor-nutritivo.

Fernández J, Pérez-Álvarez JA, Fernández-López JA. 1997. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. Food Chemistry. 59: 345-353.

Código de campo cambiado

FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2016. Panorama Agroalimentario. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Avicultura carne 2016. 1-28p. Consultado agosto 2020. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200631/Panorama Agroalimentario_Avicultura_Carne_2016.pdf.

Fleming CR. 1989. Metabolismo de oligoelementos en pacientes adultos que requieren nutrición parenteral total. La revista estadounidense de nutrición clínica. 49 (3): 573-579.

Freitas LW, Menten JFM, Zavarize KC, Pereira R, Romano GG, Lima MB, Dias CTS. 2017. Evaluation of dietary glycerin inclusion during different broiler rearing phases. Brazilian Journal of Poultry Science. 91-96.

Gaitán CD, Olivares GM, Arredondo OM, Pizarro FA. 2006. Biodisponibilidad de hierro en humanos. Revista Chilena de Nutrición. 33(2): 142-148.

Galelli ME. 2000. Alteraciones proteicas debidas al estrés oxidativo promovido por la activación del tetracloruro de carbono a radicales libres. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3233_Galelli.pdf.

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, protegido con vitamina E y selenio orgánico. Tesis Doctorado. Valencia, España. 309 p.

García ERM, Murakami AE, Ospina-Rojas IC, Guerra AFQG. 2019. Performance, meat quality and fatty acid profile of broiler chickens fed mixed semi-purified glycerin. Animal Production Science. 59: 295-303.

García RG, Mendes AA, Andrade C, Paz ICLA, Takahashi SE, Pelícia E, Komiyama CM, Quinteiro RR. 2005a. Avaliação do desempenho e de parâmetros gastrintestinais de frangos de corte alimentados com dietas formuladas com sorgo alto tanino e baixo tanino. Ciência e Agrotecnologia. 29(6): 1248-1257. Consultado julio 2020. Disponible en: http://www.scielo.br/pdf/cagro/v29n6/v29n6a20.pdf.

García RG, Mendes AA, Costa C, Paz ICLA, Takahashi SE, Pelícia KP, Quinteiro RR. 2005b. Desempenho e qualidade da carne de frangos de corte alimentados com diferentes níveis de sorgo em substituição ao milho. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia. 634-643.

García-Casal MN, Landaeta M, de Baptista GA, Murillo C, Rincón M, Rached LB, Bilbao A, Anderson H, García D, Franquiz J, Puche R, García O, Quintero Y, Peña-Rosas JP. 2013. Valores de referencia de hierro, yodo, zinc, selenio, cobre, molibdeno, vitamina C, vitamina E, vitamina K, carotenoides y polifenoles para la población venezolana. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 63(4): 338-361.

González Urrutia, R. 2005. Biodisponibilidad del hierro. Revista Costarricense de Salud Pública. 14(26): 6-12.

Gonzalez RE, Martinez RA, Santolaria FF, Mas PA, Rodriguez MF, Galindo ML, Molina PM, Barros LN. 1998. Relative and combined effects of etanol and protein deficiency on zinc, iron, copper, and manganese contents in different organs and urinary and fecal excretion. Alcohol. 16(1): 7-12.

Goretti G. 2012. Efeitos do glicerol no metabolismo de frangos de corte alimentados com dietas contendo níveis crescentes de glicerina. (en línea). Dissertação para obtenção do título de Mestre em Ciências. Piracicaba, Brasil. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 78 p. Consultado marzo 2017. Disponible en http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-22032013-102123/publico/GISLAINE_GORETTI_ROMANO.pdf.

Goyer RA 1997. Interacciones de metales tóxicos y esenciales. Revisión anual de nutrición. 17 (1): 37-50.

Gray JI, Gomaa EA, Buckley DJ. 1996. Oxidative quality and shelf life of meats. Meat Science. 43: 111-123.

Grune T, Shringarpure R, Sitte N, Davies K. 2001. Age-related changes in protein oxidation and proteolysis in mammalian cells. The Journals of Gerontology: Series A. 56(11): B459-B467.

Guerra RL, Murakami AE, García AF, Urgnani FJ, Moreira I, Picoli KP. 2011. Glicerina bruta mista na alimentação de frangos de corte (1 a 42 dias). Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal. 12(4):1038-1050.

Gutteridge J. 1995. Lipid peroxidation and antioxidants as biomarkers of tissue damage. Clinical Chemistry. 41(12): 1819-1828.

Guyon C, Meynier A, de Lamballeri, M. 2016. Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasys on high-pressure treatments. Trends in Food Science and Technology. 50: 131-143.

Hakamata Y, Watanabe K, Amo T, Toyomizu M, Kikusato M. 2018. Characterization of mitochondrial content and respiratory capacities of broiler chicken skeletal muscles with different muscle fiber compositions. The Journal of Poultry Science. 55(3): 210–216.

Halliwell B. 1994. Free radicals and antioxidants: A Personal View. Nutrition Reviews. 52(8): 253-265.

Halliwell B, Gutteridge JMC. 1989. Free radicals in biology and medicine (second edition and fourth reprint in 1996). Halliwell & Gutteridge eds. Oxford University Press, New York.

Hellmeister F, Machadomenten JF, Neves Da Silva MA, Coelho AAD, Savino VJM. 2003. Efeito de genótipo e do sistema de criacâo sobre o desempenho de frangos tipo caipira. Revista Brasileira de Zootecnia. 32(6): 1883-1889.

Henz JR, Nunes RU, Eyng C, Pozza PC, Frank R, Schone RA, Olivera TMM. 2014. Effect of dietary glycerin supplementation in the started diet on broiler performance. Czech Journal of Animal Science. 59(12): 557-563.

Hornsey HC. 1956. The colour of cooked cured pork. I-Estimation of the nitric oxide-haem pigments. Journal of the Science of Food and Agriculture. 7: 534-540. http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/

Souci SW, Fachmann W, Kraut H. 2008. Food composition and nutrition tables. 7th edition. Medpharm Science Publishers. Stuttgart (Alemania).

Hurrell RF. 1997. Preventing iron deficiency through food fortification. Nutrition Reviews. 55(6): 210-222.

INAC. (Instituto Nacional de Carnes). 2012. Manual de cortes de carnes alternativas para abasto. Conejo-cerdo-pollo-ovinos. Disponible en: https://www.inac.uy/innovaportal/file/7157/1/manual_de_carnes_alternativas.pdf.

Insani EM, Eyherabide A, Grigioni G, Sancho AM, Pensel NA, Descalzo AM. 2008. Oxidative stability and its relationship with natural antioxidants during refrigerated display of beef produced in Argentina. Meat Science. 79: 444-452.

IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). 2011. Unión Internacional de Química Pura y Aplicada. 1993.

Jongberg S, Tørngren MA, Gunvig A, Skibsted LH, Lund MN. 2013. Effect of green tea or Rosemary extract on protein oxidation in Bologna type sausages prepared from oxidatively stressed pork. Meat Science. 93: 538-546.

Kanner J. 1994. Oxidative processes in meat and meat products: Quality implications. Meat Science. 36: 169-189.

Khursheed I, Bandral JD, Sood M, Ahmed N. 2017. Influence of knolkhol on quality characteristics of chicken meat balls. Journal of Applied and Natural Science. 9(4): 2221-2227.

Kido T, Tsuritani I, Honda R, Yamaya H, Ishizaki M, Yamada Y, Nogawa K 1988. Concentración de selenio, zinc, cobre y cadmio en hígados y riñones de personas expuestas al cadmio ambiental. Revista de oligoelementos y electrolitos en salud y enfermedad. 2(2): 101-104.

Komatsu GSN. 2014. Alterações fisiológicas causadas pelas utilização de glicerina na alimentação de frangos de corte. (en línea). Tesis de Mestre. São Paulo, Brasil. Universidade de São Paulo. 95 p. Consultado junio 2020. Disponible en http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-15092014-084130/publico/Glaucia_Samira_Napty_Komatsu_versao_revisada.pdf.

Korzeniowska M, Króliczewska B, Kopeć W. 2018. Effect of dietary selenium on protein and lipid oxidation and the antioxidative potential of selected chicken culinary parts during frozen storage. Journal of Chemistry. 1-12.

Labuza TP. 1971. Kinetics of lipid oxidation in foods. Food Technology. 2: 355-405.

Lammers PJ, Kerr BJ, Weber TE, Dozier WA, Kidd MT, Bregendahl K, Honeyman, MS. 2007. Nitrogen-corrected apparent metabolizable energy value of crude glycerol for laying hens. Journal of Animal Science. 87: 104-107.

Levrero F, del Puerto M, Terevinto M, Saadoun A, Cabrera MC. 2014. Effect of feeding broken rice in substitution of corn on pH, colour and lipid and protein oxidation of fresh and aged poultry meat. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Supl. 1. 22(5): 159-162.

Lombardi-Boccia G, Martinez B, Alter A. 2002. Total hemo and non-hemo iron in raw and cooked meats. Journal of Food Science. 67: 1738-1741.

López CC. 2000. Los taninos en la alimentación de las aves comerciales. Produção Animal. 5-22.

Lorenzo J, Purriños l, Cobas N, Hermida G, Montes R, Franco D. 2011. Diferencias nutricionales entre el muslo y pechuga procedentes del Capón Villalba. En XLVII Simposio de Avicultura en Santiago de Compostela 5-7 octubre de 2011.

Luciano G, Monaham FJ, Vasta V, Biondi L, Lanza A, Priolo A. 2009. Dietary tannins improve lamb meat stability. Meat Science. 81: 120-125.

Lunedo R. 2012. Avaliação da microbiota presente na mucosa intestinal de frangos de corte alimentados com ração a base de milho ou sorgo através de pcr em tempo real. Tesis do Mestre em Zootencia. São Paulo, Brasil. Universidade estadual Paulista Júlio de Mesquita filho. 1-74.

Lynch SM, Frei B. 1993. Mechanisms of copper- and iron-dependent oxidative modification of human low-density lipoprotein. Journal of Lipid Research. 34: 1745-1751.

Maraschiello C, Srraga C, Garca Regueiro JA. 1999. Glutathione peroxidase activity, TBARS, and α-tocopherol in meat from chickens fed different diets. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 47(3): 867-872.

Martínez C, Ros G, Periago MJ, López G. 1999. Biodisponibilidad del hierro en los alimentos. Nutrición y Bromatología. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. Campus de Espinardo, Murcia. España. 49(2).

Martínez AJ. 1999. Fundamentos teórico-prácticos de nutrición y dietética. McGraw-Hill Interamericana de España.

Mazzo HC. 2018. Suplementação de glicerina na dieta de equinos. Tesis do Mestre. São Paulo, Brasil. Universidade de São Paulo. 1-69.

McLelland J. 1992. Anatomía de las Aves. Reader in Veterinary Anatomy Department of PreClinical Veterinary Sciences University of Edinburgh. Scotland. McGraw-Hill Interamericana de España. Manuel Ferrero,13. Madrid. 40:80.

Melo DS, Faria PB, Cantarelli VS, Rocha MFM, Pinto AMBG, Ramos EM. 2014. Qualidade da carne de suínos com uso de glicerina na alimentação. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia. 66: 583-592.

Mercier Y, Gatellier P, Renerre M. 2004. Lipid and protein oxidation in vitro, and antioxidant potential in meat from Charolais cows finished on pasture or mixed diet. Meat Science. 66: 467-473.

MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). 2019. Anuario OPYPA 2019. Análisis sectorial y cadenas productivas. Temas de política. Estudios. Consultado febrero 2020. Disponible en: https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2019

MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). 2018. Anuario OPYPA 2018. Análisis sectorial y cadenas productivas. Temas de política. Estudios. pág. 81-97. Consultado marzo 2019. Disponible en: https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2018

Min Y, Yan FF, Liu Z, Coto C, Waldroup PW. 2010. Glycerin—A new energy source for poultry. International Journal of Poultry Science. 9: 1–4.

Montero MF. 2000. Análisis de la composición bioquímica y de posibles biomarcadores de contaminación en el erizo de mar, *Paracentrotus lividus*, Lmk. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. España.

Morrissey PA, Sheehy PJA, Galvin K, Kerry JP, Buckley DJ. 1998. Lipid stability in meat and meat products. Meat Science. 49: 73-86.

Mourot J, Aumaitre A, Mounier A, Peiniau P, François AC. 1994. Nutritional and physiological effects of dietary glycerol in the growing pig. Consequences on

fatty tissues and post mortem muscular parameters. Livestock Production Science. 38: 237-244.

Muhlisin M, Utamaa DT, Lee JH, Choi JH, Lee SK. 2016. Antioxidant enzyme activity, iron content and lipid oxidation of raw and cooked meat of korean native chickens and other poultry. Asian Autralasian Journal of Animal Science. 29(5): 696-701.

Müller O, Krawinkel M. 2005. Malnutrition and health in developing countries. CMAJ, 173(3), 279-286.

Munoz JAM, Ramos EDF, Alvarado-Ortiz UC, Castaneda CB. 2007. Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. Revista de la Sociedad Química del Perú, 73(3): 142-149.

NCSS (Number Cruncher Statistical System) 2007. 329 North 1000 East, Kaysville, UT 84037, USA.

Nelson KA, Labuza TP. 1992. Relatioship between water and lipid oxidation rates: In Lipid oxidation in Food. ACS Washington DC. 93-103p.

Nelson TS, Stephenson EL, Burgos A, Floyd J, York IO. 1975. Effect of tannin content and dry matter digestion on energy utilization and average amino acid availability of hybrid sorghum grain. Poultry Science. 54: 1620-1623.

OCDE/FAO. (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico / Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2017. Perspectivas Agrícolas 2017-2026, OECD Publishing, París. Consultado agosto 2020. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-es.

Olivas AJF, Wall MA, González AGA, López DJA, Álvarez PE de la RLA, Ramos JA. 2015. Taninos hidrolizables: bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos sobre la salud. Nutrición Hospitalaria [en línea]. 31(1). 55-66p. ISSN 16995198. Consultado abril 2019. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7699.

OPS (Organización Panamericana de la Salud). 2002. Compuestos de hierro para la fortificación de alimentos. Guías para América Latina y el Caribe.

Ordway GA, Garry DJ. 2004. Myoglobin: an essential hemoprotein in striated muscle. Journal of Experimental Biology. 207(20): 3441-3446.

Orozco Campo R, Meleán Romero R, Romero Medina A. 2004. Costos de producción en la cría de pollos de engorde. Revista Venezolana de Gerencia. 9 (28): 1-27. Universidad de Zulia. Venezuela. Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/290/29092806.pdf

Passmore R, Nicol BM, Rao MN, Beaton GH, DeMaeyer EM, World Health Organization. 1975. Manual sobre necesidades nutricionales del hombre. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.Winick, M. (Ed.). (1984). Nutrition in the 20th Century (Vol. 13). Wiley-Interscience.

Pearson AM. 1983. The contribution of meat to the diet of man. American Meat Science Association.

Pulgarin Casallas DC. 2015. Evaluación de parámetros productivos utilizando tres niveles crecientes de glicerol en dietas para pollos de engorde. (en línea). Fusagasugá, Colombia. Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 63 p. Consultado marzo 2017. Disponible en http://dspace.unicundi.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1435/DOCUMENTO.pdf

Ramos A, Cabrera MC, del Puerto M, Saadoun A. 2009. Minerals, haem iron and non-haem iron contents of rhea meat. Meat Science. 81: 116-119.

Ramos A, Cabrera MC, Saadoun, A. 2012. Bioaccessibility of Se, Cu, Zn, Mn and Fe, and heme iron content in unaged and aged meat of Hereford and Braford steers fed pasture. Meat Science. 91: 116-124.

Reyes SE, Cortéz CA, Morales BE, Avila GE. 2000. Adición de DL-metionina en dietas con sorgo alto en taninos para pollos de engorda. Técnica Pecuaria en México 38(1): 1-8.

Riffel S. 2004. Trabajo de tesis de posgrado: ingeniería agronómica (INTA Balcarce 2004, Buenos Aires, Argentina).

Romano GG, Menten JFM, Freitas LW, Lima MB, Pereira R, Zavarize KC. 2014. Effects of glycerol on the metabolism of broilers fed increasing glycerin levels. Revista Brasileira de Ciência Avícola. 16(1): 97-105.

Código de campo cambiado

Rostagno HS, Albino LFT, Donzele JL, Gómez PC, Oliveira RD, López DC, Ferreira AS, Barreto SLT. 2005. Tablas brasileras para aves y cerdos. Composición de los alimentos y sus exigencias nutricionales. Segunda edición. Ed: Rostagno H.S. UFV-Departamento de Zootrecnia, Vicosa-MG.

Rudyk O, Eaton P. 2014. Biochemical methods for monitoring protein thiol redox states in biological systems. Redox Biology. 13(2): 803-813.

Ruíz JA, Pérez VAM, Esteve GE. 1999. Effect of β-carotene and vitamin E on oxidative stability in leg meat of broilers fed different supplemental fats. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 47(2): 448-454.

Saleh AA, Abudabos AM, Ali MH, Ebeid TA. 2019. The effects of replacing corn with low-tannin sorghum in broiler's diet on growth performance, nutrient digestibilities, lipid peroxidation and gene expressions related to growth and antioxidative properties. Journal of Applied Animal Research. 47(1): 532-539.

Schreurs FJG. 1999. Post-mortem changes in chicken muscle: some key biochemical processes involved in the conversion of muscle to meat. Doctoral Thesis. Wageningen, The Netherlands. Wageningen University & Research. 173p.

Seifried HE. 2003. The antioxidant conundrum in cancer. Cancer Research. 63: 4295-4298.

Selle PH, Liu SY, Cai J, Cowieson AJ. 2013. Steam-pelleting temperatures, grain variety, feed form and protease supplementation of mediumly ground, sorghum-based broiler diets: influences on growth performance, relative gizzard weights, nutrient utilization, starch and nitrogen digestibility. Animal Production Science. 53: 378-387.

Shacter E. 2000. Quantification and significance of protein oxidation in biological samples. Drug Metabolism Reviews. 32: 307-326.

Silveira da Silva CL. 2010. Glicerina proveniente da produção de biodiesel como ingrediente de ração para frangos de corte. (en línea). Tesis do Mestre. São Paulo, Brasil. Universidade de São Paulo. 81 p. Consultado marzo 2017. Disponible en http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-08022011-155718/publico/Camila_Leao_Silveira_da_Silva.pdf.

Sisson S, Grossman JD, Badoux DM, Baumel JJ, Dellmann HD, Didio LJ. Gandhi SS. 1982. Anatomía de los animales domésticos. Salvat, Barcelona.

Soyer A, Özalp B, Dalmis Ü, Bilgin V. 2010. Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat. Food Chemistry. 120: 1025-1030.

Stadtman ER. 1986. Oxidation of proteins by mixed-function oxidation systems: implication in protein turnover, ageing and neutrophil function. Trends in Biological Sciences. 11: 11-12.

Stadtman ER. 1990. Covalent modification reactions are marking steps in protein turover. Biochemistry. 29(27): 6323-6331.

Stahl W. 2000. Lipid oxidation and antioxidants. Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care. 3: 121-126.

Stoscheck CM. 1990. Quantitation of Protein. Methods of Enzymology. 182: 50-68.

Torres KAA. 2010. Avaliação do desempenho zootécnico, da função da mucosa intestinal e da microbiota ileal quando da sustituição do milho pelo sorgo na ração de frangos de corte. Tese Doutorado. São Paulo, Brasil. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. 78 p.

Torres KAA, Pizauro Jr. JM, Soares CP, Silva TGA; Nogueira WCL, Campos DMB, Furlan RL, Macari M. 2013. Effects of corn replacement by sorghum in broiler diets on performance and intestinal mucosa integrity. Poultry Science. 92: 1564-1571.

Tostado-Madrid T, Benítez-Ruiz I, Pinzón-Navarro A, Bautista-Silva M, Ramírez-Mayans JA. 2015. Actualidades de las características del hierro y su uso en pediatría. Acta pediátrica. México. 36(3).

Urgnani FJ, Duarte CRA, Murakami AE, Picoli KP, Eyng C, Fanhani JC. 2014. Performance, meat quality and lipid profile of broiler chickens fed with crude and semi-purified vegetable glycerin from biodiesel production. Animal Nutrition and Feed Technology, 14: 431–445.

USDA (United States Department of Agriculture.). 2020. Livestock and Poultry: world markets and trade. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. 1-16.

USDA (United States Department of Agriculture.). 2019. Livestock and Poultry: world markets and trade. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. 1-21.

USDA (United States Department of Agriculture.). 2011. National Nutrient Database for Standard.

Venereo Gutiérrez, J. 2002. Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. Revista Cubana de Medicina Militar. 31(2): 126-133.

Vernon RG, Walker DG. 1970. Glycerol metabolism in the neonatal rat. Biochemical Journal. 118(3): 531-536.

Waniska RD, Poe JH, Bandyopadhyay R. 1989. Effects of growth conditions on grain molding and phenols in sorghum caryopsis. Journal of Cereal Science. 10: 217–225.

Wolff SP, Garner A, Dean RT. 1986. Free radicals, lipids and protein degradation. Trends in Biological Sciences. 11: 27-31.

Zavarize KC. 2012. Utilização de glicerina proveniente da produção de biodiesel na dieta de frangos de corte. Tese Doutorado. São Paulo, Brasil. Universidade de São Paulo.

Zimmermann MB, Hurrell, RF. 2007. Nutritional iron deficiency. The Lancet. 370 (9586), 511-520.