

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EFFECTO DEL SORGO Y EL GLICEROL EN LA CALIDAD DE CARNE Y
METABOLISMO DEL GLUCÓGENO EN AVES**

por

Ayrton DA SILVA

**TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo.**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2017

Tesis aprobada por:

Director: -----

Dra. Ma. Cristina Cabrera

Ing. Agr. Mag. Dra. Marta Del Puerto

Lic. Biol. Mag. Dra. Alejandra Terevinto

Fecha: 18 de diciembre de 2017.

Autor: -----

Ayrton da Silva

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia desearía agradecer a la Facultad de Agronomía por darme la oportunidad de realizar mi carrera y culminarla con este trabajo final, seguidamente deseo expresar mis más profundos agradecimientos a la tutora de este trabajo Cristina Cabrera, a la cotutora Marta del Puerto y a Alejandra Terevinto quienes con mucho carisma, bondad y conocimientos me guiaron, apoyaron, y me dedicaron su tiempo en todas las instancias de trabajo.

A Roberto Olivero.

A los funcionarios del departamento, Pablo y Carmen, por su ayuda en las distintas etapas del trabajo.

A Sully Toledo y a todo el equipo de biblioteca por su gran atención y dedicación a los estudiantes, en las instancias de consultas, en la guía para la presentación del trabajo final y en la búsqueda de recursos bibliográficos.

A Fabiana Hernández y a mis grandes amigos.

A Paco, Graciela y a mi familia.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1 GLICERINA, SUBPRODUCTO DE LA ELABORACIÓN DE BIODIÉSEL.....	2
2.1.1 <u>Proceso de producción de biodiésel</u>	2
2.1.2 <u>Composición de la glicerina</u>	3
2.1.3 <u>Tipos de glicerina</u>	3
2.1.4 <u>Metabolismo del glicerol</u>	3
2.1.5 <u>Utilización de la glicerina bruta en dieta de pollos parrilleros</u>	5
2.1.6 <u>Efecto de la glicerina en la alimentación de aves sobre parámetros productivos</u>	6
2.1.7 <u>Limitaciones al uso de la glicerina bruta en dietas de aves</u>	7
2.2 SORGO EN DIETAS DE POLLOS PARRILLEROS.....	8
2.3 CONVERSIÓN DE MÚSCULO A CARNE.....	10
2.3.1 <u>Metabolismo del músculo <i>post mortem</i></u>	10
2.3.2 <u>Producción de H⁺, disminución del pH y calidad de carne</u>	11
2.3.3 <u>Propiedades de la carne fresca</u>	12
2.3.3.1 Color.....	12
2.3.3.2 Capacidad de retención de agua.....	13
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	15
3.1 ANIMALES.....	15
3.2 DIETAS EXPERIMENTALES.....	15
3.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ANIMAL.....	17
3.4 MÚSCULOS.....	17

3.5 DETERMINACIONES <i>POST MORTEM</i>	17
3.5.1 <u>Determinación de pH y color en la carne fresca</u>	18
3.5.2 <u>Determinación de retención de agua</u>	18
3.5.3 <u>Determinación de glucógeno total</u>	18
3.5.4 <u>Determinación del lactato total</u>	19
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	21
4.1. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LA RESPUESTA ANIMAL	21
4.2. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LA CALIDAD DE LA CARNE FRESCA	22
4.2.1. <u>pH</u>	22
4.2.2. <u>Pérdida de agua</u>	23
4.2.3. <u>Color</u>	24
4.2.4. <u>Contenido de glucógeno</u>	26
4.2.5 <u>Contenido de lactato</u>	27
5. <u>CONCLUSIONES</u>	29
6. <u>RESUMEN</u>	30
7. <u>SUMMARY</u>	31
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	32

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Composición de las dietas experimentales.....	16
2. Efecto de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol (20 % S, 30 % S, 20 % S+G, 30 % S+G y T) en una dieta recibida de los 21 a 51 días de edad sobre la respuesta animal, 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 (%).	21
3. Efecto de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol (20 % S, 30 % S, 20 % S+G, 30 % S+G y T) en una dieta recibida de los 21 a 51 días de edad sobre el pH tomado 24 horas <i>post mortem</i> en los músculos <i>Pectoralis major</i> (Pm) y <i>Gastrocnemius</i> (Gn).	22
4. Efecto de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol (20 % S, 30 % S, 20 % S+G, 30 % S+G y T) en una dieta recibida de los 21 a 51 días de edad sobre la pérdida de agua, expresada en %, en muestras de los músculos <i>Pectoralis major</i> (Pm) y <i>Gastrocnemius</i> (Gn) obtenidas a 24 horas <i>post mortem</i> , medido durante 24 horas a 4 °C.	23
5. Efecto de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol (20 % S, 30 % S, 20 % S+G, 30 % S+G y T) en una dieta recibida de los 21 a 51 días edad sobre el color, medido como L*, a* y b*, (método CIELab) en los músculos <i>Pectoralis major</i> (Pm) y <i>Gastrocnemius</i> (Gn) a 24 horas <i>post mortem</i>	25
6. Efecto de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol (20 % S, 30 % S, 20 % S+G, 30 % S+G y T) en una dieta recibida de los 21 a 51 días de edad sobre la concentración de glucógeno, expresados en uMol/g de carne, en los músculos <i>Pectoralis major</i> (Pm) y <i>Gastrocnemius</i> (Gn) a 24 horas <i>post mortem</i>	26

7. Efecto de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol (20 % S, 30 % S, 20 % S+G, 30 % S+G y T) en una dieta recibida de los 21 a 51 días de edad sobre la concentración de lactato, expresados en uMol/g de carne, en los músculos *Pectoralis major* (Pm) y *Gastrocnemius* (Gn) a 24 horas *post mortem*..... 28

1. INTRODUCCIÓN

La carne de ave se define como una carne saludable, con bajo aporte energético, y bajo contenido en grasas totales. El perfil nutricional de la carne de pollo presenta proteínas de alto valor biológico de fácil asimilación con importante aporte de aminoácidos esenciales. El aporte de vitaminas también es importante, en especial las del complejo B, principalmente la riboflavina, la niacina, el ácido pantoténico, la piridoxina, la cobalamina y la colina. Los minerales principales son el fósforo, hierro, zinc, y selenio (CINCAP, 2016). El perfil lipídico de esta carne se caracteriza por su bajo contenido de grasas saturadas y elevado contenido en grasas mono insaturadas, y el aporte de ácidos grasos esenciales n-3 y n-6 (FAO, 2014).

Estos atributos han permitido aumentar la demanda por esta carne la cual es acompañada por un aumento en la producción y en las nuevas formas de presentación del producto, esto provoca que la calidad sea para la industria un factor importante.

La calidad de la carne se define en función del segmento de la cadena cárnica que los analice, para la carne fresca, características como el color, la cantidad de grasa, la terneza, jugosidad y sabor son importantes para la adquisición. Mientras que para la carne procesada, es importante la velocidad de caída del pH *post mortem* y el pH final, factor que determinará la capacidad de retención de agua, color, e indirectamente la aptitud tecnológica de la carne para ser procesada. Estos atributos de la calidad de carne, dependen entre otros factores, de la alimentación a través de la reserva de glucógeno del músculo. El valor de pH final alcanzado por la carne y la velocidad de descenso del mismo están determinados principalmente por las reservas de glucógeno muscular al momento del sacrificio (Bendall y Swatland, 1998).

La alimentación tiene un peso significativo en los costos de producción, por este motivo se buscan nuevos ingredientes que obtengan parámetros productivos buenos en las aves, la calidad deseada y a un menor costo. Actualmente con la producción de biodiésel, surge un ingrediente energético que puede ser utilizado en la formulación de las dietas de los animales: la glicerina cruda, en cuya constitución se encuentra el glicerol.

Por lo que es de nuestro interés relacionar el glicerol y el sorgo, componentes de la ración, con las reservas de glucógeno en los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius*, 24 horas *post mortem* y de qué manera éstos influyen en los parámetros de calidad de la carne.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 GLICERINA, SUBPRODUCTO DE LA ELABORACIÓN DE BIODIÉSEL

2.1.1 Proceso de producción de biodiésel

Según la Ley No. 18195 designa el biodiésel a un combustible para motores, compuesto de ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de aceites vegetales o grasas animales (PL, 2007).

Las materias primas para la elaboración de biodiésel son variadas contándose entre ellas colza, canola, girasol, soja, jatrofa, coco, palma, etc., también se utiliza el sebo vacuno y las algas entre otras.

En Uruguay se utilizan principalmente la soja y la canola como fuente de origen vegetal, el sebo vacuno como fuente animal y los productos reciclados, como el aceite de fritura como fuente de elaboración de biodiésel. Este biocombustible puede mezclarse con gasoil derivado del petróleo en diferentes proporciones, pudiendo ser utilizado en forma exclusiva en este tipo de motores. Es no tóxico y es biodegradable (ALUR, s.f.).

Los aceites vegetales y las grasas animales, tienen en su constitución además de triacilglicéridos, ácidos grasos libres, fosfolípidos, esteroides, agua y otras impurezas que hacen imposible su utilización directamente como biocombustible. Estos problemas se resuelven con modificaciones químicas como es la transesterificación alcohólica vía catalítica. La catálisis utilizada para la transesterificación de los triacilglicéridos puede ser ácida, básica, heterogénea o enzimática, siendo la más utilizada por la industria la catálisis básica, por ser más rápida y económica que las otras. Los catalizadores alcalinos son menos corrosivos que los ácidos y los más utilizados son el hidróxido de potasio (KOH) y el hidróxido de sodio (NaOH). En cuanto al alcohol, solamente alcoholes simples se pueden utilizar en la transesterificación como son: metanol, etanol, propanol, butanol y alcohol amílico.

Independientemente del proceso empleado al final del mismo ocurre la separación entre las fases, los ésteres de ácidos grasos constituye el biodiésel y una fase acuosa que constituye la glicerina bruta, conteniendo glicerol, el exceso de alcohol no reactivo, agua y otras impurezas. En conclusión será generado como producto de la reacción biodiésel y como sub producto la glicerina bruta (Krause, 2008).

En Uruguay, por cada tonelada de biodiésel producido se obtienen 150 kg de glicerina bruta aproximadamente (ALUR, s.f.).

2.1.2 Composición de la glicerina

La glicerina bruta puede presentar en su constitución niveles variables de glicerol, agua, ácidos grasos y alcohol no reactivo, el alcohol presente dependerá de cual sea el utilizado en la reacción de transesterificación, en la mayoría de los casos es el metanol.

El componente más importante de la glicerina desde el punto de vista nutricional es el glicerol. El glicerol o propano 1,2,3 triol es un compuesto orgánico perteneciente a la familia de los alcoholes, que se presenta en su forma pura, líquido a temperatura ambiente, altamente higroscópico, viscoso e incoloro. Su nombre se origina de la palabra griega “*glykos*” que significa dulce (Nelson y Cox, 2006).

El término glicerina se refiere al producto en forma comercial y es líquida, viscosa y de color pardo oscuro.

2.1.3 Tipos de glicerina

En el país se comercializa dos calidades de glicerina, que varían en su contenido total de glicerol. Por un lado, la glicerina bruta o cruda y por otro lado un producto de mejor calidad, la glicerina de splitting, denominado así por su proceso de purificación (ALUR, s.f.).

2.1.4 Metabolismo del glicerol

El glicerol es un componente del metabolismo normal de los animales y puede ser encontrado tanto en la circulación como en las células de los mismos. Puede derivar de la lipólisis del tejido adiposo, de la hidrólisis de los triglicéridos de las lipoproteínas de la sangre y de la grasa dietética (Lin, 1977).

Cuando el glicerol es ingerido, es rápidamente absorbido por el intestino, o también puede ser absorbido por el estómago, más lentamente que en el intestino (Lin, 1977).

La absorción intestinal del glicerol puede ser mediante un sistema de transporte pasivo o activo, se considera que la absorción sea a través de un sistema de difusión facilitada por aquaporinas, sin embargo en estudios realizados se encontró una saturación en la absorción, lo que demuestra un sistema de absorción activa mediada por un transportador secundario activo, en este caso un transportador sodio dependiente. Los autores consideran que este sistema sea el más frecuente en la absorción del glicerol por la membrana del intestino, pero no excluyen la posibilidad de que ambos sistemas de transportes sean funcionales (Kato et al., 2004).

El glicerol puede ser metabolizado por el hígado, los riñones y los músculos, siendo el hígado el responsable de metabolizar cerca de $\frac{3}{4}$ del glicerol presente en el organismo. Los riñones además de metabolizar el glicerol, son los responsables de su reabsorción, evitando pérdidas en la orina. Cuando los niveles séricos de glicerol pasan los 1 mM la utilización no es total (Lin, 1977).

En su metabolismo participan tres enzimas, la enzima glicerol quinasa presente mayormente en el hígado pero también en los riñones, la enzima glicerol-3-fosfato deshidrogenasa citosólica (G3P deshidrogenasa o G3P oxireductasa) en el hígado, los músculos, el intestino y el cerebro y la enzima glicerol-3-fosfato deshidrogenasa mitocondrial, con su mayor actividad en los músculos (Vernon et al. 1970, Lin et al. 1976).

Una vez absorbido, en el hígado la primera enzima en metabolizar el glicerol es la glicerol quinasa que lo convierte en gliceraldehído 3 fosfato, este puede formar glucosa por gluconeogénesis, ser oxidado para la producción de energía mediante glucólisis y ciclo de Krebs (Rosebrough et al., 1980), participar en la transferencia de equivalentes reductores del citosol para la mitocondria o ser precursor de la síntesis de triglicéridos (Emmanuel et al. 1983, Brisson et al. 2001).

En tejidos adiposos el glicerol 3 fosfato se obtiene de la dihidroxiacetona fosfato mediante la enzima glicerol 3 fosfato deshidrogenasa.

En el músculo ocurre la captación del glicerol contenido en la sangre y puede ser metabolizado mediante la enzima glicerol reductasa, con la participación de NADPH (Towes, 1996).

Concluyendo, el glicerol posee tres funciones importantes en el metabolismo del animal: puede estar presente como esqueleto de los triglicéridos, participar en el transporte de equivalentes reductores (glicerol 3 fosfato) del citosol para la mitocondria para la fosforilación oxidativa y puede estar presente como esqueleto de carbono para la gluconeogénesis (Lin, 1977).

De esta forma el destino metabólico del glicerol puede ser dirigido dependiendo del tejido y del estado nutricional del animal.

2.1.5 Utilización de la glicerina bruta en dieta de pollos parrilleros

Como se mencionó anteriormente la glicerina bruta tiene en su constitución otros componentes provenientes del proceso de fabricación que define su utilización. Para la industria alimenticia o cosmética es necesario procesarla, obteniendo glicerina refinada, una sustancia con alto nivel de pureza en glicerol. Este proceso se torna económicamente inviable cuando el destino es utilizarla en la alimentación animal, por lo que se utiliza la glicerina bruta.

Varios autores evaluaron la sustitución de glicerina en dietas de pollos parrilleros como fuente de energía y su respuesta en parámetros productivos y calidad de carne.

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 (Vernon et al. 1970, Min et al. 2010). Esta sobresaturación lleva a que el glicerol que no se metabolice sea excretado en la orina (Dasari, 2007).

Para Bernardino et al. (2014b) utilizar hasta 7% de inclusión de glicerina en la dieta de pollos no se satura la enzima glicerol quinasa entre los 22 y 42 días de edad.

En trabajos realizados evaluando los niveles de glicerol plasmático para ratas y humanos, los autores concluyen que los niveles normales para ratas son de 0,1 mM y para humanos son entre 0,05 y 0,1 mM (Lin, 1997). En pollos, Simon et al. (1996) encontraron un nivel plasmático de glicerol en sangre normal de 0,65 mM que aumentó a 4,36 mM con una suplementación de 5% de glicerol en la dieta, con porcentajes más altos de inclusión los niveles plasmáticos de glicerol en sangre variaron de 11 a 54 mM. El mismo autor evaluando el contenido de glicerol en el músculo encontró que con 10% de glicerol en la dieta de las aves, el glicerol contenido en el músculo aumentó de 0,4 a 7,5 mM.

Estos autores concluyen que es factible la adición de glicerol en la dieta de aves y que su eficiencia de utilización depende del porcentaje de inclusión y del aporte energético del ingrediente que se corresponde con la pureza de la glicerina utilizada.

2.1.6 Efecto de la glicerina en la alimentación de aves sobre parámetros productivos

La posibilidad de incluir glicerina en la dieta de pollos parrilleros fue objeto de estudio de numerosos trabajos, en los cuales se determina la respuesta de niveles crecientes de inclusión sobre los parámetros productivos.

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 (Zavarize 2012, Pulgarin 2015) pero si un aumento en el consumo de agua, impactando en la calidad de la cama (Gioretti 2012, Napy 2014). Estos autores recomiendan un 6% de inclusión durante todo el ciclo (Pulgarin, 2015) o de 10 % de inclusión hasta los 7 días y 5 % en el resto de la crianza (Silveira, 2010).

Estudios efectuados por de Freitas (2012) 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, similares resultados encontró Silveira (2010).

Gianfelici (2009) evaluando la energía metabolizable corregida por nitrógeno de la glicerina bruta incluida en 0, 5, 10, 15 y 20% en las dietas encontró que la mayor energía metabolizable se dio en 15% de inclusión. Este mismo autor trabajó con la inclusión de glicerol puro en la dieta de aves con dos tratamientos 0 y 10% y evaluó los niveles de triglicéridos y de colesterol en el hígado y el catabolismo celular del glicerol. Encontró diferencia en el colesterol en el hígado siendo mayor en los animales que consumieron glicerol puro. Este autor concluye que el aporte energético depende del porcentaje de inclusión y se encuentra limitado a más de 7,5% de inclusión en la dieta.

Para Henz (2012) también trabajando con niveles crecientes de inclusión de glicerina en la dieta de aves, concluye que después del día 11 de vida, las aves que no reciben glicerina en la dieta tienen rendimiento superior a las que contienen glicerina en la dieta independiente del nivel de inclusión.

Según Lachinski (2010) evaluando el efecto de niveles crecientes de glicerina bruta en dos etapas de la vida de las aves, encontró para el período de 21 a 42 días, un efecto lineal de los niveles de inclusión sobre el consumo de ración y un efecto cuadrático para ganancia de peso, peso medio corporal y materia seca de la cama. En el período de 1 a 21 días de edad, encontró un efecto lineal creciente para el consumo de ración y la conversión alimenticia en función de los niveles de glicerina bruta en la ración. Para la conversión alimenticia en el período de 1 a 42 días de edad también ocurre un efecto lineal creciente.

Cerrate et al. (2006) concluyen que el glicerol inhibe la actividad de las enzimas fosfoenolpiruvato, carboxiquinasa y glutamato deshidrogenasa, resultando en una menor eficiencia de conversión en aves alimentadas con dietas que contenían 10 % de glicerina en la dieta en comparación con aves alimentadas con 0 o 5 % de inclusión de glicerina en la dieta.

Dentro de los trabajos citados se hallan resultados variados, que dependen del nivel de inclusión de glicerina en la dieta y en la etapa de la vida del ave que se produzca la inclusión, también va a depender de la composición de la glicerina y del porcentaje de glicerol que contenga.

2.1.7 Limitaciones al uso de la glicerina bruta en dietas de aves

Una de las mayores limitantes que presenta el uso de la glicerina bruta en la alimentación de los animales es el porcentaje de metanol que contenga. En el proceso de elaboración de biodiésel el metanol es usado en exceso en la reacción de transesterificación, siendo recuperado por destilación al final del proceso de forma incompleta, quedando residuos en la glicerina.

Según la FDA, los ésteres de metilo no deben exceder los 150 ppm (0,015%) en la dieta.

Según Jacobsen y Mc Martin (1986) el metanol se metaboliza en formaldehído y éste en ácido fórmico, siendo el principal metabolito responsable de la toxicidad por metanol. El ácido fórmico es el responsable de la acidosis metabólica en la etapa inicial de la intoxicación, y etapas posteriores puede haber hipoxia tisular. Esto causa disturbios visuales progresando a la discapacidad visual. El ácido fórmico es excretado en la orina por los animales, forma de ser identificada la intoxicación por metanol.

El ácido fórmico desempeña una función importante en la síntesis de purinas y de pirimidinas y en la síntesis de ácido úrico que es la principal forma

de excreción de nitrógeno en las aves y reptiles. La susceptibilidad de las especies ante la intoxicación por metanol depende de la capacidad del animal en oxidar el ácido fórmico (Black et al., 1985).

Algunos autores evaluaron la inclusión de formaldehído (15 y 20 ml) en la dieta de pollos y concluyeron que el formaldehído mezclado hasta 5 ml/kg de ración no tuvo efectos adversos en la salud de los pollos (Khan et al., 2006). Jung y Batal (2011) evaluaron en pollos la inclusión en la dieta de glicerinas con diferentes concentraciones de metanol (1,79% a 3,1%) y no encontraron efectos perjudiciales en los desempeños productivos.

Otra limitante que presenta la glicerina bruta depende del catalizador utilizado en la reacción de producción de biodiésel, encontrándose en la glicerina sodio o potasio. Estos pueden estar en cantidades superiores a las requeridas por el animal cuando se incluye glicerina en la dieta.

2.2 SORGO EN DIETAS DE POLLOS PARRILLEROS

El grano de sorgo puede ser utilizado en la alimentación humana, en la producción de biocombustibles y en la alimentación animal, siendo en esta un importante sustituto del grano de maíz en raciones de pollos parrilleros por su menor costo.

El grano de sorgo presenta mayor contenido de proteína que el maíz (8,8 a 15%), aunque con pobre balance de aminoácidos, es pobre en lisina, metionina y treonina. El aporte en energía metabolizable es apenas menor que el maíz (Blum, 1984).

Según estudios realizados, muestran que la sustitución de maíz por sorgo es viable, inclusive como grano entero. Sin embargo esta sustitución todavía es vista con ciertas limitaciones debido a la presencia de taninos condensados (protoantocianidinas) que tiene el grano nativo de sorgo, un factor anti nutricional (Mangan, 1988).

Estos taninos causan disminución del consumo de alimento (Trevino et al., 1992), forman complejos con proteínas disminuyendo su digestibilidad, inhiben la actividad de las enzimas digestivas, aumentan la secreción de proteína endógena, impactan negativamente en la función del tracto gastrointestinal, además de producir toxicidad en la absorción disminuyendo así el desempeño del animal (Tandiang et al., 2014). Los sorgos con alta digestibilidad (HDS) presentan igual perfil nutricional, excepto que la digestibilidad de la proteína se ubica en 10% superior a la de los sorgos

tradicionales (Dowling et al., 2002). Por lo tanto pueden contribuir en más de la tercera parte de la ración sin alterar la performance productiva de los pollos de carne.

La posibilidad de sustituir maíz por sorgo es limitada a un máximo de 20% en pollos en terminación (Sauvant et al., 2004) aunque no se encontraron efectos adversos con 62% de inclusión de sorgo. Trabajos realizados en pollos parrilleros con sustitución en la dieta de maíz por sorgo muestran resultados variados, dependiendo de la edad del animal, del porcentaje de sustitución y si se le ofrece al ave grano entero o molido.

Según García et al. (2005b) trabajando con 4 niveles de sustitución de sorgo (25, 50, 75 y 100%), encontraron que no hubo efecto sobre las características de desempeño, de rendimiento de carcasa y de cortes ni sobre la composición química y sensorial. También encontraron que el pH disminuyó y la luminosidad (L*) aumentó a medida que aumentaron los niveles de sustitución de sorgo.

Estudio realizado por Torres (2010) evaluando entre otras cosas el efecto que tiene la sustitución de maíz por sorgo en el desempeño de los pollos entre el día 1 y los 42 días de edad, concluye que la sustitución parcial (50 o 75%) durante toda la fase de crianza mejora la conversión alimenticia de los animales. Otro estudio coincide con los resultados antes descritos, concluyendo que la conversión alimenticia y el aumento de peso fueron perjudicados entre el día 1 y los 42 días cuando se alimentó a los pollos con una dieta sustituida en un 100 % de maíz por sorgo, sin observar diferencias en el rendimiento de carcasa entre los tratamientos de 50 % de sustitución y 100 % (Torres et al., 2013). En contrapartida, Lunedo et al. (2014) no encontraron diferencias en la ganancia de peso y la ingesta de alimento, pero encontraron un aumento en la eficiencia de conversión entre los 21 y 42 días cuando las aves recibieron una dieta con una sustitución del 100 % de maíz por sorgo.

En cuanto a la utilización de grano entero de sorgo en la alimentación de aves existen trabajos que evidencian resultados diferentes. Carolino et al. (2014) encontraron que el sorgo independientemente de la forma física mejoró parámetros de carcasa sin interferir en la composición química y rendimientos de los cortes.

En un estudio realizado se demuestra que no hubo efecto en la ingesta de alimento, el peso vivo y la conversión alimenticia entre las aves de tratamientos que contenían sorgo entero o molido entre los 21 y 42 días de edad (Fernández et al., 2013). Por otro lado, según Jacobs y Parsons (2013) la eficiencia de alimentación disminuyó después de la primera semana de edad para los pollos que contenían dietas de sorgo entero.

Para Rodgers et al. (2009) encontraron que el rendimiento mejora cuando la dieta contiene sorgo molido y concordando con esto, Carvalho et al. (2015) encontraron un menor consumo de ración cuando en la dieta se les otorga el grano de sorgo entero.

La sustitución de 10 y 20% de sorgo entero en la dieta de pollos parrilleros de un cruzamiento híbrido (New Hampshire x Colombianos machos) resultó en una disminución de la ganancia de peso a los 21 días de edad mientras que para la línea de pollos comercial este efecto no fue evidenciado (Biggs y Parsons, 2009).

Conforme a estos autores se puede concluir que el empleo de sorgo en la formulación de las dietas para pollos parrilleros tiene mayores ventajas cuando es utilizada después de las primeras semanas de vida, y si es necesario incluirlo en esta etapa se debería evitar el uso de grano entero.

2.3 CONVERSIÓN DE MÚSCULO A CARNE

2.3.1 Metabolismo del músculo *post mortem*

En el animal vivo, con suministro adecuado de oxígeno existen vías de obtención de energía tanto anaeróbicas como aerobias. Cuando los requerimientos de energía superan las tasas de producción ya sea por elevadas tasas de consumo de ATP o ausencia de oxígeno se comienza a producir energía por la vía anaeróbica. Bajo estas condiciones fisiológicas el animal promueve la degradación anaeróbica, utilizando sus reservas de glucógeno.

El glucógeno es el principal polisacárido de reserva, está formado por glucosas unidas por enlace α 1-4, y ramificaciones formadas por glucosas unidas por enlace α 1-6. En los mamíferos el glucógeno se acumula en las células del hígado en forma de gránulos citoplasmáticos, y también en células del músculo estriado. El glucógeno hepático sirve para mantener el nivel de glucosa en sangre y el muscular es utilizado por el músculo para fines energéticos propios como una fuente de reserva para generar ATP necesaria para la contracción muscular (Aberle et al., 2012).

Mediante reacciones la glucosa se degrada a piruvato y este se convierte en lactato para regenerar el NAD⁺, la reacción es catalizada por la enzima lactato deshidrogenasa en el citosol de la fibra, este es un mecanismo rápido de producción de ATP. Por esta reacción se liberan H⁺, resultando en el aumento de la concentración de estos iones, los mismos se unen rápidamente y

se tamponan hasta que su concentración excede la capacidad de amortiguación de la célula, por lo que el pH disminuye.

La tasa y el alcance de la disminución del pH muscular después que el animal ha sido sacrificado refleja la intensidad del metabolismo *post mortem* y está influenciado por: el estrés del animal previo al sacrificio (condiciones y tiempo de transporte, período en que los animales esperan en la playa de faena), condiciones de estrés durante el sacrificio, las variaciones en mecanismos metabólicos y contráctiles (dado por la especie, el tipo de músculo, las reservas de carbohidratos y oxígenos) y variaciones de temperatura que pueda sufrir el músculo de acuerdo a su localización. Estos factores son altamente variables y tienen gran impacto en la calidad de la carne (Aberle et al., 2012).

2.3.2 Producción de H⁺, disminución del pH y calidad de carne

El pH es la principal característica de la carne que influye sobre las propiedades y estabilidad de las proteínas y a través de su valor final serán definidos los atributos de calidad de la carne. La velocidad de caída del pH y el pH final, están determinados principalmente por el contenido de glucógeno muscular al momento de la faena y determinan directamente los atributos de calidad de la carne, como la capacidad de retención de agua, el color, la estructura, la firmeza y la textura, e indirectamente determina la aptitud tecnológica que tenga la carne para ser procesada (Aberle et al., 2012).

Los animales pueden clasificarse por ser susceptibles o resistentes al estrés, aquellos animales susceptibles al estrés se caracterizan por tener una glucólisis alta, el pH desciende rápidamente antes que la canal se enfríe provocando la desnaturalización de las proteínas musculares, las mismas pierden su estructura nativa y en este proceso pierden la capacidad de unión al agua, liberando agua, como consecuencia tienen una menor capacidad de retención de agua. También pierden la intensidad de color ya que reflejan menos la luz, todos estos cambios son indeseables, ya sea que el músculo se vaya a utilizar como carne fresca o se someta a un proceso. Este tipo de carnes se conocen como pálidas, blandas y exudativas (carnes PSE, Aberle et al., 2012).

Por otro lado aquellos animales que son resistentes al estrés, experimentan una deficiencia de glucógeno muscular cuando resisten al estrés, asociado a la fatiga, el ayuno, la descarga eléctrica, pero son sacrificados antes de que tengan suficiente tiempo para reponer las reservas glucolíticas. El

agotamiento del glucógeno muscular de estos animales da como resultado una glucólisis limitada conllevando a un pH final elevado tornando al músculo oscuro, firme y seco, ya que el agua está fuertemente unida a las proteínas (carnes DFD, Aberle et al., 2012).

Varios factores han sido identificado como causantes de la detención de la bajada de pH: la concentración inicial de metabolitos, ATP, lactato y fosfocreatina. La glucólisis *post mortem* puede ser detenida por una deficiencia de ADP o glucosa, o a una inhibición de las enzimas glucolíticas por disminución del pH (Aberle et al., 2012).

2.3.3 Propiedades de la carne fresca

2.3.3.1 Color

La apariencia física de la carne es la principal característica en que se basa el consumidor al hacer su elección y dentro de los factores que la comprenden, los investigadores han otorgado al color un papel fundamental (Aberle et al., 2012).

El color de la carne se percibe como impresión global de la síntesis de tres parámetros que a su vez dependen de diversos factores (biológicos, bioquímicos o físico-químicos), los tres parámetros son el tono o matiz, la saturación o intensidad de un color y la luminosidad o claridad. El tono es la propiedad de color dada por el estado químico del pigmento. La saturación se refiere a la cantidad de pigmento presente, y la luminosidad es función del estado físico de la superficie de la carne (Aberle et al., 2012).

La carne de pollo suele tener un color rosa a rojizo determinada por la presencia de pigmentos, principalmente de mioglobina, dependiendo de su estado químico y la distribución en el músculo, por la proporción de grasa y tejido conjuntivo que posea y la existencia de otros pigmentos como la catalasa, citocromos, flavinas y vitaminas B12. La mioglobina es una proteína sarcoplásmica, relativamente pequeña, portadora de oxígeno y su función es la de almacenar oxígeno y facilitar su transporte a las mitocondrias (Nelson y Cox, 2006). Contiene una proteína, la globina, con una sola cadena polipeptídica compuesta por 153 residuos aminoacídicos y un grupo hemo de ferroporfirina igual al de la hemoglobina. Este grupo hemo es el responsable del color rojo-pardo de la mioglobina y la hemoglobina.

Como se mencionó anteriormente el color depende de los estados químicos de la mioglobina y estos son, la desoximioglobina o mioglobina reducida, la oximioglobina o mioglobina oxigenada responsables de colores rojo púrpura y rojo brillante respectivamente y la metamioglobina o mioglobina oxidada de color marrón pardo (Aberle et al., 2012).

El sistema de representación del color más utilizado es el CIELab, este sistema emplea las coordenadas tricromáticas L* (luminosidad), a* (índice rojo) y b* (índice de amarillo), de forma que a partir de relaciones entre ellas se pueden obtener las coordenadas colorimétricas, la intensidad de color y el tono. Varios autores mencionan que la coordenada L* depende de muchos factores como el pH, la capacidad de retención de agua, la humedad, la integridad de la estructura muscular, el grado de oxidación de los hemopigmentos (Palombo y Wijngaards, 1990). También depende del contenido de grasa, ya que materias primas con mayores contenidos de grasa presentan mayores valores de L* (Pérez et al., 1998). La coordenada a* (eje rojo-verde) está relacionada con el contenido de mioglobina. La coordenada b* (eje amarillo-azul) ha sido relacionada con distintos estados de la mioglobina (Pérez et al., 1998).

2.3.3.2 Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua que tenga el músculo es un parámetro de gran importancia sensorial y económica. Es esencial para determinar la calidad de la carne, ya que el agua contenida en el músculo contribuye en forma importante a la mejor deglución de la carne y afecta la jugosidad, textura, ternura y sabor de la misma, afectando el grado de aceptabilidad del producto.

Por otro lado la pérdida de agua ocasiona una disminución del peso final lo que significa una pérdida económica, además de ocasionar una disminución del valor nutricional de la carne ya que junto con el agua se pierden nutrientes como las proteínas solubles, vitaminas y minerales (Aberle et al., 2012).

Este parámetro está regulado por muchos factores tanto intrínsecos como extrínsecos. Entre los primeros está el genotipo y la alimentación que afectan directamente las características del músculo. Los factores extrínsecos corresponden a los tratamientos pre-faena (ayuno, estrés, etc.) que favorecen la disminución de las reservas de glucógeno y por tanto originan carnes con pH final elevado y con baja retención de agua. Tratamientos *post mortem* como el chilling y la maduración han demostrado afectar en mayor o menor medida la

capacidad de retención de agua. En general se acepta que el factor clave para producir estos cambios es el pH (Bendall y Swatland, 1998). Ha sido reconocido que el pH en la primera hora *post mortem* es de gran incidencia en la retención de agua por alteración en la desnaturalización proteica, por tanto cualquier proceso que reduzca el estrés pre-faena reduce la caída del pH lo cual mejora la retención de agua del producto (Aberle et al., 2012).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ANIMALES

En el experimento se utilizaron 120 pollos de ambos sexos de la línea Ross de un día de edad, los que se criaron a piso sobre cama de cáscara de arroz hasta los 17 días. Se les suministro una ración iniciadora base maíz soja (PC, 21,90 %; EM, 2931 kcal/kg) y agua ad libitum. Se los mantuvo en ambiente con temperatura controlada, ventilación y fotoperiodo de 23 horas de luz, 1 hora de oscuridad.

A los 17 días se seleccionaron por homogeneidad de peso y sanidad y se alojaron en jaulas de maderas de 90 x 90 cm con piso de cama de cáscara de arroz y equipadas con comederos y bebederos individuales. Se mantuvo el ambiente de temperatura controlada según las necesidades de los animales y el fotoperiodo de 23 horas de luz, 1 hora de oscuridad. Los animales se distribuyeron al azar en 5 grupos a los que se les ofreció una de las dietas experimentales que se detallan a continuación.

A los 51 días, se sacrificaron según las normas establecidas por la CHEA. El sacrificio se realizó por el corte de la vena yugular hasta el desangrado total de forma de causar el menor estrés posible al animal.

3.2 DIETAS EXPERIMENTALES

Fueron formuladas cinco dietas experimentales (21,5% PC y EM 2900 kcal/kg) siendo las mismas:

- Dieta testigo, a base de maíz, harina de soja y aceite de girasol.
- Dieta testigo a la que se sustituyó el 20 % del maíz por sorgo (20% S).
- Dieta testigo a la que se le sustituyo el 30 % del maíz por sorgo (30% S).
- Dieta testigo a la que se sustituyó el 20 % del maíz por sorgo y la totalidad del aceite de girasol por glicerol (20% S+G).
- Dieta testigo a la que se sustituyó el 30 % del maíz por sorgo y la totalidad del aceite de girasol por glicerol (30% S+G).

En todas las situaciones se formularon dietas isoproteicas e isoenergéticas. La proteína y la energía metabolizable que aporta la dieta se

calcularon a partir de la tabla de composición de alimentos de Blum (1984). La composición de los tratamientos se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro No. 1. Composición de las dietas experimentales

Ingredientes (%)	Dietas experimentales				
	20 % S	30 % S	20 % S+G	30 % S+G	T
Maíz	39	29	39	29	49
Sorgo	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
Anticoccigeo	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					
EMet (kcal/kg) *	2930	2900	2930	2900	2990
PC (%) **	21.6	21.5	21.6	21.5	21.8

*EMet: Energía Metabolizable

**PC: Proteína Cruda

La glicerina bruta utilizada en las raciones fue otorgada por ALUR, Alcoholes del Uruguay.

3.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESPUESTA ANIMAL

Se determinaron las siguientes variables de desempeño animal: peso inicial a los 21 días y peso vivo a la faena, consumo de alimento por ave, ganancia de peso vivo y eficiencia de conversión alimenticia durante el experimento y también rendimiento de carcasa.

Se determinó el peso vivo individual de los animales al inicio (21 días) y al final (49 días). El peso final se determinó luego de un ayuno de 4 horas. A partir de estos datos se estimó la ganancia de peso individual como peso final menos peso inicial.

El consumo de alimento individual se determinó por diferencia de peso entre la cantidad agregada a diario y la cantidad sin consumir que existía al día siguiente, el consumo acumulado en el período se calculó como la suma de los consumos diarios acumulados del período.

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

El rendimiento de carcasa se determinó como el cociente entre el peso de carcasa limpia sobre peso vivo por 100.

3.4 MÚSCULOS

Luego de 24 horas del sacrificio, se tomaron muestras de los m. *Gastrocnemius* y *Pectoralis major*, estas fueron envasadas al vacío en bolsas de polietileno con su correspondiente identificación y se congelaron hasta su análisis en freezer a una temperatura de - 30°C.

3.5 DETERMINACIONES *POST MORTEM*

Todas las determinaciones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad de Alimentos y Calidad de Productos de la Facultad de Agronomía.

3.5.1 Determinación de pH y color en la carne fresca

A las 24 horas *post mortem* se midió el pH en los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius* con un phmetro de penetración LT Lutron pH-201.

En este momento también se tomaron valores de color de la carne, con parámetros de luminosidad (L^*), enrojecimiento (a^*), y amarillamiento (b^*) de los m. *Pectoralis major* y *Gastrocnemius*, con colorímetro Minolta Lab CR-10, con iluminante estándar D65.

La coloración de la carne se midió utilizando el método de CIELab, este consiste en relevar tres coordenadas, una hace referencia a la luminosidad (L), otra al enrojecimiento (a), y la tercera al amarillamiento (b). La variable L se define en una escala de 0 (cero) a 100 (cien), donde cero corresponde a la ausencia de luz, negro y el valor cien a la luz blanca. Las variables a y b se definen como el croma o coloración y se indican en dos ejes perpendiculares donde (a) toma valores negativos correspondientes al color verde y valores positivos correspondientes al rojo y el parámetro (b) define el componente azul en valores negativos y el componente amarillo en valores positivos.

3.5.2 Determinación de retención de agua

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

3.5.3 Determinación de glucógeno total

El glucógeno total se midió por colorimetría según el método enzimático de la glucosa oxidasa (GOD).

Se cortó y pesó una muestra de 6 g de m. *Gastrocnemius*, sobre una placa de Petri se cortó la muestra con tijera en pequeños trozos y se colocó en un tubo de vidrio con tapa rosca. Luego se homogeneizaron en ácido clorhídrico 4N. Posteriormente se digirieron a baño maría, a 100°C durante 3 horas

después que comenzó a hervir. Una vez a temperatura ambiente se filtró con papel de filtro MN 640. De este líquido filtrado se tomaron 2ml y se neutralizó con 0,7ml de NaOH 4N.

El contenido total de glucosa se determinó contra curva estándar a 500 nm y se expresó como micromoles de glucógeno por gramo de carne.

Las medidas de glucógeno se realizaron con el kit Glucosa de Reacur que se basa en las reacciones de las enzimas glucosa oxidasa y peroxidasa. La glucosa oxidasa cataliza la oxidación de glucosa a ácido glucónico y peróxido de hidrogeno. Posteriormente el peróxido por la acción de la peroxidasa y en presencia de otros reactivos se transformará en rojo quinona, este color es lo que se mide en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 500nm.

El kit consta de tres reactivos: reactivo 1, buffer fosfato pH 7,4 y fenol, reactivo 2, glucosa oxidasa, peroxidasa y 4-amino-antipirina y el reactivo 3, glucosa estándar (100mg/l). Para la realización de la técnica se disuelve el frasco del reactivo 2 con el frasco del reactivo 1, a esta mezcla se le da el nombre de solución de trabajo. Las medidas se realizan tomando 1ml de solución de trabajo a la cual se le añade 10 µl de la muestra problema, posteriormente se vortexea por unos segundos y luego se incuban a 37°C por 15 minutos para llevar al espectrómetro. También se realizó un blanco que consta únicamente de 1 ml de solución de trabajo.

Antes de realizar las medidas espectrofotométricas de las muestras problemas se construye para cada kit una curva estándar utilizando patrones de concentración conocida. En dichas curvas se interpolan las lecturas de las muestras problemas y de esta forma se haya su concentración en un cálculo que hace el espectrofotómetro. La curva de glucógeno se construyó con dos puntos, una concentración de 10 µl de glucosa estándar con 1 ml de solución de trabajo y otra concentración de 5 µl de glucosa estándar con 1 ml de solución de trabajo.

3.5.4 Determinación del lactato total

La determinación de lactato se realizó por el método colorimétrico con kit enzimático de lactato deshidrogenasa, a partir del mismo hidrolizado neutralizado mencionado anteriormente. Se tomaron 2 ml del hidrolizado neutralizado y se diluyo con 1,7 ml de suero fisiológico.

La concentración de lactato se determinó contra curva estándar a 505nm y se expresó como micromoles de lactato por gramo de carne.

La determinación de lactato se realizó utilizando el kit lactato de Spinreact. Este método se basa en la oxidación del lactato a piruvato y peróxido de hidrógeno por la lactato oxidasa seguida de la formación de un compuesto rojo de quinona a partir del peróxido y en presencia de peroxidasa 4-amino-fenazona y 4-clorofenol. Este kit también consta de tres activos, reactivo 1 o tampón que contiene PIPES Ph 7,5 y 4-clorofenol, reactivo 2, las enzimas lactato oxidasa, peroxidasa y 4-amino-fenazona y el reactivo 3, el patrón acuoso de lactato con una concentración de 10 mg/dL.

La solución de trabajo se prepara diluyendo un vial de reactivo 2 en 10 ml de reactivo 1. Al realizar las medidas se coloca en un tubo de vidrio 1 ml de solución de trabajo y 10 μ l de la muestra problema para determinar la concentración de lactato. Se realiza también un blanco que consta únicamente de 1 ml de solución de trabajo.

Antes de realizar las medidas espectrofotométricas de las muestras problemas se construye para cada kit una curva estándar utilizando patrones de concentración conocida. En dichas curvas se interpolan las lecturas de las muestras problemas y de esta forma se haya su concentración en un cálculo que hace el espectrofotómetro. Para el caso de la curva de lactato se utilizó el mismo procedimiento que glucógeno pero con lactato estándar.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LA RESPUESTA ANIMAL

A continuación se presenta el análisis del efecto de la sustitución de maíz por sorgo o la asociación de sorgo más glicerol sobre el desempeño de los animales.

Cuadro No. 2. Efecto de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol (20 % S, 30 % S, 20 % S+G, 30 % S+G y T) en una dieta recibida de los 21 a 51 días de edad sobre la respuesta animal, 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 (%).

	Dietas experimentales					P
	20 % S	30 % S	20 % S+G	30 % S+G	T	
Peso vivo (g/ave)	4132,2 ± 141,4	4291,1 ± 120,6	4213,1 ± 139,3	4112,8 ± 115,2	4331,4 ± 116,1	0,70
Consumo (g/ave)	6405,8 ± 109,7	6122,3 ± 62,4	6267,7 ± 52,4	6216,7 ± 80,5	6116,7 ± 56,0	0,05
Ganancia Peso vivo (g/ave)	3263,6 ± 141,0	3385,3 ± 117,2	3322,6 ± 142,1	3249,1 ± 112,5	3447,8 ± 109,5	0,79
Índice de conversión (kg de alimento/kg de ganancia)	2,02 ± 0,08	1,86 ± 0,08	1,96 ± 0,09	1,95 ± 0,06	1,81 ± 0,06	0,32
Rend. de carcasa (%)	82,12 ± 0,38	80,94 ± 1,13	81,33 ± 0,27	81,79 ± 0,24	81,71 ± 0,33	0,61

Los valores representan las medias ± SEM de n = 18.

No se observó un efecto del tratamiento dietario sobre los parámetros productivos evaluados. Resultados similares fueron encontrados por Zavarize (2012), Pulgarin (2015) en donde la sustitución creciente de glicerol no afectó significativamente estos parámetros, en este experimento la inclusión de glicerol se mantiene constante y lo que aumenta es la proporción de sorgo, pero de todas formas no se encontraron efectos significativos.

Por lo tanto se puede interpretar que no hay efectos negativos de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol sobre el desempeño de los animales cuando se evalúa el período entre los 21 y 51 días.

4.2. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LA CALIDAD DE LA CARNE FRESCA

4.2.1. pH

A continuación se presenta el análisis del efecto de la sustitución de maíz por sorgo o la asociación de sorgo más glicerol sobre el pH en los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius* a las 24 horas *post mortem*. Se analizan los efectos principales sobre la dieta y sobre el músculo.

Cuadro No. 3. Efecto de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol (20 % S, 30 % S, 20 % S+G, 30 % S+G y T) en una dieta recibida de los 21 a 51 días de edad sobre el pH tomado 24 horas *post mortem* en los músculos *Pectoralis major* (Pm) y *Gastrocnemius* (Gn).

Músculo	Dietas experimentales					P
	20 % S	30 % S	20 % S+G	30 % S+G	T	
Pm	5,84 ± 0,02	5,87 ± 0,04	5,89 ± 0,05	5,88 ± 0,01	5,89 ± 0,03	0,857
Gn	6,4 ± 0,03ab	6,32 ± 0,05b	6,49 ± 0,04 ^a	6,45 ± 0,04ab	6,45 ± 0,03ab	0,046
Efectos principales						P
Dieta						0,09
Músculo	<i>Gastrocnemius</i> > <i>P. major</i>					0,001

Los valores representan las medias ± SEM de n = 18. Letras diferentes indican diferencias significativas entre dietas experimentales para cada músculo (p<0,05).

Se observan diferencias significativas debido a la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol en el pH último de los músculos *Gastrocnemius*. No se encuentra una asociación de valores de pH con los tratamientos dietarios. Los valores de pH presentados se encuentran dentro del rango de valores para carnes normales (Van Laack et al. 2000, Woelfel y Sams 2001, Barbut et al. 2005). Esto indica que la reserva de glucógeno muscular,

independientemente de la dieta recibida es adecuada para alcanzar valores de pH normales a igualdad de otros factores.

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

4.2.2. Pérdida de agua

A continuación se presenta el análisis del efecto de la sustitución de maíz por sorgo o la asociación de sorgo más glicerol sobre la pérdida de agua en los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius* a las 24 horas *post mortem*. Se analizan los efectos principales sobre la dieta y sobre el músculo.

Cuadro No. 4. Efecto de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol (20 % S, 30 % S, 20 % S+G, 30 % S+G y T) en una dieta recibida de los 21 a 51 días de edad sobre la pérdida de agua, expresada en %, en muestras de los músculos *Pectoralis major* (Pm) y *Gastrocnemius* (Gn) obtenidas a 24 horas *post mortem*, medido durante 24 horas a 4 °C.

Músculo	Dietas experimentales					P
	20 % S	30 % S	20 % S+G	30 % S+G	T	
Pm	4,98 ± 1,17	5,98 ± 1,00	5,69 ± 0,93	6,78 ± 1,25	6,50 ± 1,10	0,796
Gn	3,74 ± 0,45	3,44 ± 0,36	5,14 ± 0,96	6,97 ± 1,00	4,59 ± 1,15	0,066
Efectos principales						P
Dieta						0,12
Músculo						0,06

Los valores representan las medias ± SEM de n = 6.

No se observó un efecto del tratamiento dietario ni un efecto del tipo de músculo sobre la pérdida de agua.

Se puede interpretar que no hay efectos negativos de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol sobre la pérdida de agua de los músculos

estudiados. Los valores se encuentran dentro de los rangos correspondientes para carnes normales citados por Mehaffey et al. (2006).

Esto tiene grandes implicancias en la industria de la carne, ya que pérdidas de agua inadecuadas ocasionan pérdidas económicas.

4.2.3. Color

A continuación se presenta el análisis del efecto de la sustitución de maíz por sorgo o la asociación de sorgo más glicerol sobre el color en los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius* a las 24 horas *post mortem*. Se analizan los efectos principales sobre la dieta y sobre el músculo.

Cuadro No. 5. Efecto de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol (20 % S, 30 % S, 20 % S+G, 30 % S+G y T) en una dieta recibida de los 21 a 51 días edad sobre el color, medido como L*, a* y b*, (método CIELab) en los músculos *Pectoralis major* (Pm) y *Gastrocnemius* (Gn) a 24 horas *post mortem*.

Músculo		Dietas experimentales					P
		20 % S	30 % S	20 % S+G	30 % S+G	T	
Pm	L*	51,78 ± 1,14	52,03 ± 2,13	47,81 ± 0,77	51,01 ± 2,45	54,93 ± 1,93	0,124
	a*	1,98 ± 0,90	0,85 ± 0,24	1,75 ± 0,94	2,02 ± 0,77	2,37 ± 1,65	0,861
	b*	11,1 ± 1,5	10,58 ± 1,21	10,37 ± 1,06	13,08 ± 1,19	10,23 ± 1,98	0,618
Gn	L*	50,38 ± 1,58 ab	54,83 ± 1,28 a	49,98 ± 1,01ab	48,11 ± 1,13 b	53,65 ± 1,55 a	0,008
	a*	6,2 ± 1,83	5,6 ± 1,43	1,95 ± 0,43	4,47 ± 0,89	4,78 ± 1,07	0,168
	b*	11,9 ± 0,84 ab	14,25 ± 0,96 a	8,92 ± 0,99 b	11,96 ± 1,25 ab	12,35 ± 1,2 ab	0,028
Efectos principales							P
Dieta	L*	Testigo > 20 % S+G y 30 % S+G					0,004
	a*						0,4
	b*						0,2
Músculo	L*						0,9
	a*	<i>Gastrocnemius</i> > <i>P. major</i>					0,0002
	b*						0,3

Los valores representan las medias ± SEM de n = 6. Letras diferentes indican diferencias significativas entre dietas experimentales para cada músculo (p<0,05).

Se observan diferencias significativas en la coordenada de luminosidad debido a las dietas experimentales en *Gastrocnemius*, cuando la dieta contiene sorgo más glicerol el músculo presenta menores valores de luminosidad, esto no se corresponde con los trabajos citados, ya que dietas con glicerol presentan carnes con mayores valores de luminosidad (Zaravide, 2012). De todas maneras los valores de luminosidad que presentan estas carnes se

encuentran dentro de los valores de carne normal independientemente del tratamiento (Van Laack et al., 2000). Para las otras coordenadas en este músculo no se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos. Para *Pectoralis major* no se observan diferencias significativas en ninguno de los parámetros.

Se observó un efecto del músculo sobre la coordenada a*, donde el músculo *Gastrocnemius* presentó un valor más elevado de a* comparado con el *Pectoralis major*. Esto se explica porque el *Gastrocnemius* posee un mayor contenido de mioglobina y el valor de a* se relaciona con el contenido de mioglobina en el músculo.

4.2.4. Contenido de glucógeno

A continuación se presenta el análisis del efecto de la sustitución de maíz por sorgo o la asociación de sorgo más glicerol sobre el contenido de glucógeno muscular en los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius* a las 24 horas *post mortem*. Se analizan los efectos principales de la dieta y del músculo.

Cuadro No. 6. Efecto de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol (20 % S, 30 % S, 20 % S+G, 30 % S+G y T) en una dieta recibida de los 21 a 51 días de edad sobre la concentración de glucógeno, expresados en uMol/g de carne, en los músculos *Pectoralis major* (Pm) y *Gastrocnemius* (Gn) a 24 horas *post mortem*.

Músculo	Dietas experimentales					P
	20 % S	30 % S	20 % S+G	30 % S+G	T	
Pm	0,96 ± 0,09	0,67 ± 0,08	0,76 ± 0,11	0,94 ± 0,09	0,96 ± 0,12	0,164
Gn	0,61 ± 0,05	0,52 ± 0,05	0,63 ± 0,08	0,65 ± 0,06	0,56 ± 0,05	0,596
Efectos principales						P
Dieta						0,11
Músculo	<i>P. major</i> > <i>Gastrocnemius</i>					0

Los valores representan las medias ± SEM de n = 18.

No se observaron diferencias significativas en el contenido de glucógeno muscular a las 24 horas *post mortem* debido a las dietas

experimentales. Los valores resultantes se encuentran dentro de los valores de contenido de glucógeno para carnes de tipo normal. Estos valores de glucógeno son similares a los encontrados por Savenije et al. (2002) en músculos *Pectoralis* a las 6 horas *post mortem*. Estos autores analizaron la cinética de glucógeno y compararon valores de animales que habían sido sometidos a ayuno y a transporte contra otros que no.

Se puede interpretar que la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol, no tiene efectos perjudiciales sobre la calidad de la carne con respecto al testigo.

Se observan diferencias significativas en el contenido de glucógeno muscular cuando se considera el tipo de músculo. El músculo *Pectoralis major* es de carácter glucolítico, almacena grandes cantidades de glucógeno como fuente de energía por lo que presenta mayores contenidos de este metabolito. En cambio el músculo *Gastrocnemius* es de carácter oxidativo y contiene menos reserva de glucógeno por lo tanto presenta valores más bajos (Warris et al., 1988).

4.2.5 Contenido de lactato

A continuación se presenta el análisis del efecto de la sustitución de maíz por sorgo o la asociación de sorgo más glicerol sobre el contenido de lactato muscular en los músculos *Pectoralis major* y *Gastrocnemius* a las 24 horas *post mortem*. Se analizan los efectos principales de la dieta y del músculo.

Cuadro No. 7. Efecto de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol (20 % S, 30 % S, 20 % S+G, 30 % S+G y T) en una dieta recibida de los 21 a 51 días de edad sobre la concentración de lactato, expresados en uMol/g de carne, en los músculos *Pectoralis major* (Pm) y *Gastrocnemius* (Gn) a 24 horas *post mortem*.

Músculo	Dietas experimentales					P
	20 % S	30 % S	20 % S+G	30 % S+G	T	
Pm	181,0 ± 17,9	234,7 ± 18,9	219,8 ± 18,7	206,5 ± 17,3	203,2 ± 16,1	0,296
Gn	226,1 ± 16,1	196,8 ± 23,5	219,3 ± 17,6	246,9 ± 15,3	234,6 ± 21,1	0,283
Efectos principales						P
Dieta						0,78
Músculo						0,18

Los valores representan las medias ± SEM de n = 18.

No se observaron diferencias significativas en el contenido de lactato muscular a las 24 horas *post mortem* entre los tratamientos dietarios.

La producción de iones H⁺ debido a la hidrólisis de ATP en el metabolismo *post mortem* del músculo y la consecuente formación de lactato debida a la glucólisis no variaron entre los tratamientos y son adecuadas para disminuir el pH de la carne a valores normales.

No se observaron diferencias significativas en el contenido de lactato muscular a las 24 horas *post mortem* entre músculos.

5. CONCLUSIONES

Se cumple con el objetivo del trabajo, evaluar el efecto del sorgo y el glicerol en la calidad de carne de aves. La sustitución de maíz por sorgo o la asociación de sorgo más glicerol (20 % S, 30 % S, 20 % S+G, 30 % S+G), no afectó el peso vivo a la faena, el consumo, la ganancia de peso, el índice de conversión ni el rendimiento de faena cuando se alimentó a las aves entre los 21 a 51 días de edad. No se observan diferencias significativas en el pH final de estas carnes debidas a los tratamientos, y los valores se encuentran dentro de los rangos para carnes normales. Existen diferencias significativas en la luminosidad que presentan estas carnes debida a los tratamientos, pero sin efectos negativos sobre las mismas. Por último, el análisis de los contenidos de glucógeno y lactato a las 24 horas post mortem no presentan diferencias significativas entre las dietas.

Se puede concluir que las sustituciones estudiadas en las dietas de estos animales no tienen efectos negativos sobre la calidad de carne, resultando carnes con parámetros evaluadores de calidad adecuados. Esto tiene gran implicancia en la industria, permitiendo la utilización de otras materias primas para la fabricación de raciones, con menores costos y resultados en calidades de productos equivalentes.

La determinación de glucógeno y lactato de este trabajo constituye un aspecto novedoso para la carne de pollo nacional, como también el uso de ingredientes para la alimentación producidos en el país.

6. RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la sustitución de maíz por sorgo o sorgo más glicerol en la calidad de carne de ave. Para cumplir con este objetivo se criaron 120 pollos de engorde de ambos sexos a los cuales se les adjudicó una dieta experimental entre los 21 y 51 días de edad. Se formularon cinco dietas experimentales las cuales consistieron en, una dieta testigo, a base de maíz, harina de soja y aceite de girasol, una dieta testigo a la que se sustituyó el 20 % del maíz por sorgo (20% S), otra dieta a la que se le sustituyó el 30 % del maíz por sorgo (30% S), otra dieta a la que se sustituyó el 20 % del maíz por sorgo y la totalidad del aceite de girasol por glicerol (20% S+G) y otra dieta a la que se sustituyó el 30 % del maíz por sorgo y la totalidad del aceite de girasol por glicerol (30% S+G). Se mantuvo el ambiente con la temperatura controlada según las necesidades de los animales y el fotoperiodo de 23 horas de luz, 1 hora de oscuridad. El agua y el alimento correspondiente se suministraron ad libitum. Las aves se sacrificaron a los 51 días de edad, y a las 24 horas *post mortem* se determinó el color (método CIElab) y pH en los músculos *Gastrocnemius* y *Pectorales major*. En este momento se extrajeron muestras de estos músculos, las cuales se conservaron congeladas a menos 30° C para posterior análisis. Se cuantificó glucógeno total por colorimetría según el método enzimático de la glucosa oxidasa, y lactato según el método enzimático de lactato deshidrogenasa. No se encontraron diferencias significativas en los parámetros de desempeño animal, en el pH final de la carne, ni en las reservas de glucógeno y lactato muscular debido a las dietas experimentales. Para el color se encontraron diferencias significativas en la coordenada L*, siendo la carne de aves alimentadas con la dieta testigo mayor que 20 % S+G y 30 % S+G.

Palabras clave: Carne de ave; Sorgo; Glicerol; Glucógeno; Lactato.

7. SUMMARY

The objective of the investigation was to evaluate the effect of the substitution of corn with sorghum or sorghum plus glycerol on the poultry meat quality. To achieve this 120 broiler chicken were raised, both sexes, which were on a strict diet between their 21th. and their 51th. day of life. Five experimental diets were formulated. The first one was the control diet, which consisted in corn, soybean meal and sunflower oil. The second one was a control diet in which the corn was replaced by sorghum (20% S), another diet to which 30% of corn was replaced by sorghum (30% S), another diet to which the 20% of corn by sorghum and all of sunflower oil by glycerol (20% S + G) and another diet to which 30% of corn was replaced by sorghum and all of sunflower oil by glycerol (30% S + G). The environment was maintained with the temperature controlled according to the needs of the animals and the photoperiod of 23 hours of light, 1 hour of darkness. Water and corresponding food were supplied to the libitum. The birds were sacrificed at the age of 51 days, and 24 hours *post mortem* the color (CIElab method) and pH in the *Gastrocnemius* and *Pectoral major* muscles were determined. At this time samples of these muscles were extracted and kept frozen at minus 30 Celsius degrees to analyze later. Total glycogen was quantified by colorimetry according to the enzymatic method of glucose oxidase, and lactate according to the enzymatic method of lactate dehydrogenase. No significant differences were found in the parameters of animal performance, nor on the final pH of the meat, neither on the reserves of glycogen and muscle lactate due to the experimental diets. For the color, significant differences were found in the L * parameter, with meat from birds fed with the control diet being greater than 20% S + G and 30% S + G.

Keywords: Poultry meat; Sorghum; Glycerol; Glycogen; Lactate.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Adamu, M. S.; Kubkomawa, H. I.; Doma, U. D.; Duduwa, A. T. 2012. Carcass and gut characteristics of broilers fed diets containing yellow sorghum (*Sorghum bicolor*) variety in place of maize. *International Journal of Sustainable Agriculture* 4 (1): 08-11.
2. ALUR (Alcoholes del Uruguay, UY). s.f. Productos químicos. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado jun. 2017. Disponible en <http://www.alur.com.uy/productos/biorefineria.php>.
3. Arbele, E.; Forrest, J.; Gerrard, D.; Mills, E. 2012. Principles of meat science. Dubuque, USA, Kendall Hunt. 395 p.
4. Barbut, S. 1997. Problem of pale soft exudative meat in broiler chickens. *British Poultry Science*. 38(4): 355-358.
5. _____.; Zhang, L.; Marcone, M. 2005. Effects of pale, normal, and dark chicken breast meat on microstructure, extractable proteins, and cooking of marinated fillets. *Poultry Science*. 84(5): 797-802.
6. Bendall, J. R.; Swatland, H. J. 1988. A review of the relationships of pH with physical aspects of pork quality. *Meat Science*. 24(2): 85-126.
7. Bernardino, V. M.; Rodrigues, P. B.; de Paula Naves, L.; Zangeronimo, M. G.; Alvarenga, R. R.; Rosa, P. V.; Santos, L. M.; Teixeira, L. V. 2014a. Activity of glutamate dehydrogenase and protein content in the breast of broilers fed diets containing different sources and levels of glycerine. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 98(3): 559-568.
8. _____.; _____.; _____.; Rosa, P. V.; Zangeronimo, M. G.; Gomide, E. M.; Saldanha, M. M.; Alvarenga, R. R. 2014b. 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.
9. Biggs, P.; Parsons, C. M. 2009. The effects of whole grains on nutrient digestibilities, growth performance, and cecal short-chain fatty acid concentrations in young chicks fed ground corn-soybean meal diets. *Poultry Science*. 88(9): 1893-1905.

10. Black, K. A.; Eells, J. T.; Noker, P. E.; Hawtrey, C. A.; Tephly, T. R. 1985. Role of hepatic tetrahydrofolate in the species difference in methanol toxicity. (en línea). Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 82(11): 3854-3858. Consultado mar. 2017. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC397886/pdf/pnas00351-0330.pdf>.
11. Blum, J.-C. 1984. L' alimentation des animaux monogastriques: porc, lapin, volailles. Paris, INRA. 282 p.
12. Brisson, D.; Vohl, M. C.; St-Pierre, J.; Hudson, T. J.; Gaudet, D. 2001. Glycerol: a neglected variable in metabolic processes? Bioessays. 23(6): 534-542.
13. Carolino, A. C. X. G.; Silva, M. C. A.; Litz, F. H.; Fagundes, N. S.; Fernandes, E. A. 2014. Rendimento e composição de carcaça de frangos de corte alimentados com dietas contendo sorgo grão inteiro. Bioscience Journal. 30 (4): 1139-1148.
14. Carvalho, L. S. S.; Fagundes, N. S.; Litz, F. H.; Saar, A. G. L.; Fernandes, E. A. 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 jul. 2017. Disponible en <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/agrarias/sorgo%20grao%20inteiro.pdf>.
15. Cerrate, S.; Yan, F.; Wang, Z.; Coto, C.; Sacakli, P.; Waldroup, P. W. 2006. Evaluation of glicerine from biodiesel production as a feed ingredient for broilers. (en línea). International Journal of Poultry Science. 5(11): 1001-1007. Consultado mar. 2017. Disponible en <http://scialert.net/qredirect.php?doi=ijps.2006.1001.1007&linkid=pdf>.
16. CINCAP (Centro de Información Nutricional de la Carne de Pollo, AR). s.f. Nutrición y salud. (en línea). Buenos Aires. s.p. Consultado mar. 2017. Disponible en <https://www.cincap.com.ar/beneficios-del-consumo-de-pollo/>
17. Dasari, M. 2007. Crude glycerol potencial described. (en línea). Feedstuffs. 4: 16-19. Consultado mar. 2017. Disponible en

<http://www.feedenergy.comupdownloadswhite-paperscrude-glycerol-potential-described-badec0f3.pdf>.

18. de Freitas, L. W. 2012. Avaliação do uso glicerina em dietas para frangos de corte nas fases pré-inicial e final. (en línea). Dissertação para obtenção do título de Mestre em Ciências. Piracicaba, Brasil. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 91 p. Consultado mar. 2017. Disponible en http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-22032013-110540/publico/Leonardo_Willian_de_Freitas.pdf.
19. Dowling, L. F.; Arndt, C.; Hamaker, B. R. 2002. Economic viability of high digestibility sorghum as feed for market broilers. *Agronomy Journal*. 94(5): 1050-1058.
20. Dozier, W. A.; Kerr, B. J.; Corzo, A.; Kidd, M. T.; Weber, T. E., Bregendahl, K. 2008. Apparent metabolizable energy of glycerin for broiler chickens. (en línea). *Poultry Science*. 87(2): 317-322. Consultado mar. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00309>.
21. Emmanuel, B.; Berzins, R.; Robblee, A. R. 1983. Rates of entry of alanine and glycerol and their contribution to glucose synthesis in fasted chickens. *British Poultry Science*. 24(4): 565-571.
22. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2014. Función de las aves de corral en la nutrición humana. (en línea). Queensland, Australia. 2 p. Consultado mar. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/016/al709s/al709s00.pdf>
23. Fagundes, N. S. 2016. Diferentes estratégias do uso de sorgo para frangos de corte: desempenho e saúde intestinal. (en línea). Tese para obtenção do título de Doutora em Ciências. Piracicaba, Brasil. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 156 p. Consultado jul. 2017. Disponible en http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-01082016-153147/publico/Naiara_Simarro_Fagundes_versao_revisada.pdf.
24. Fernandes, E. A.; Pereira, W. J. S.; Hackenhaar, L.; Rodrigues, R. M.; Terra, R. 2013. The use of whole grain sorghum in broiler feeds. (en línea). *Brazilian Journal of Poultry Science*. 15(3): 169-286.

Consultado jul. 2017. Disponible en
<http://www.scielo.br/pdf/rbca/v15n3/08.pdf>.

25. Ferreira, G. P.; Corrêa, G. D.; Wolff, M. F.; Ibanhes, J. R.; Rodrigues, T.; Aparecido, E. M. 2017. Glicerina bruta na alimentação de frangos de corte. (en línea). In: Congresso Brasileiro de Zootecnia (27^o., 2017, Santos, SP). Trabalhos apresentados. Brasília, Associação Brasileira de Zootecnistas. s.p. Consultado jun. 2017. Disponible en <http://abz.org.br/trabalhos/glicerina-bruta-na-alimentacao-de-frangos-de-corte/>
26. García, R. G.; Mendes, A. A.; Andrade, C.; Paz, I. C. L. A.; Takahashi, S. E.; Pelícia, E.; Komiyama, C. M.; Quinteiro, R. R. 2005a. Avaliação do desempenho e de parâmetros gastrintestinais de frangos de corte alimentados com dietas formuladas com sorgo alto tanino e baixo tanino. (en línea). *Ciência e Agrotecnologia*. 29(6): 1248-1257. Consultado jul. 2017. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v29n6/v29n6a20.pdf>.
27. _____.; _____.; Costa, C.; Paz, I. C. L. A.; Takahashi, S. E.; Pelícia, E.; Komiyama, C. M.; Quinteiro, R. R. 2005b. Desempenho e qualidade da carne de frangos de corte alimentados com diferentes níveis de sorgo em substituição ao milho. (en línea). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 57(5): 634-643. Consultado jul. 2017. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/abmvz/v57n5/26912.pdf>.
28. Gianfelici, M. F. 2009. Uso de glicerol como fonte de energia para frangos de corte. (en línea). Dissertação para obtenção do título de Mestre em Zootecnia. Porto Alegre (RS), Brasil. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Faculdade de Agronomia. 129 p. Consultado mar. 2017. Disponible en <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28308/000769981.pdf?sequence=1>.
29. Gioretti Romano, 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 mar. 2017. Disponible en http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-22032013-102123/publico/GISLAINE_GORETTI_ROMANO.pdf.

30. Guchin, N. 2009. Proyecto Agro-energético de ANCAP. (en línea). In: Seminario Encuentro Regional sobre Biocombustibles y Energías Renovables (2009, Montevideo). Presentaciones (Power Point). Montevideo, s.e. s.p. Consultado jun. 2017. Disponible en <https://es.scribd.com/presentation/265749063/Biocombustibles-ANCAP-Grupo-Montevideo-97>.
31. Henz, J. R. 2012. Utilização da glicerina bruta em rações para frangos de corte. (en línea). Dissertação apresentada como pré-requisito de conclusão de pós-graduação em Zootecnia. Marechal Candido Rondon, Brasil. Universidade Estadual do oeste do Paraná. 57 p. Consultado mar. 2017. Disponible en http://tede.unioeste.br/tede/tde_arquivos/8/TDE-2013-09-16T191829Z-1043/Publico/Jefferesson_Rafael_Henz.pdf.
32. Jacobs, C.; Parsons, C. M.; 2013. The effects of coarse ground corn, whole sorghum, and a prebiotic on growth performance, nutrient digestibility, and cecal microbial populations in broilers fed diets with and without corn distillers dried grains with solubles. *Poultry Science*. 92(9): 2347-2357.
33. Jacobsen, D.; McMartin, K. E. 1986. Methanol and ethylene glycol poisonings. Mechanism of toxicity, clinical course, diagnosis and treatment. *Medical Toxicology*. 1(5): 309-334.
34. Jung, B.; Batal, A. B. 2011. Nutritional and feeding value of crude glycerin for poultry. 2. Evaluation of feeding crude glycerin to broilers. (en línea). *Poultry Science*. 20: 514–527. Consultado mar. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00338>.
35. Johlin, F. C.; Fortman, C. S.; Nghiem, D. D.; Tephly, T. R. 1987. Studies on the role of folic acid and folate-dependent enzymes in human methanol poisoning. *Molecular Pharmacology*. 31(5): 557-561.
36. Kato, T.; Hayashi, Y.; Inoue, K.; Yuasa, H. 2004. Functional characterization of the carrier-mediated transport system for glycerol in everted sacs of the rat small intestine. *Biological Pharmacology Bulletin*. 27(11): 1826-1830.
37. _____; Hayashi, Y.; Inoue, K.; Yuasa, H. 2005. Glycerol absorption by Na⁺-dependent carrier-mediated transport in the closed loop of

the rat small intestine. *Biological Pharmacology Bulletin*. 28(3): 553-555.

38. Khan, A.; Hussain, S. M.; Khan, M. Z. 2006. Effects of formalin feeding or administering into the crops of white leghorn cockerels on hematological and biochemical parameters. *Poultry Science*. 85(9): 1513-1519.
39. Krause, L. 2008. Desenvolvimento do processo de produção de biodiesel de origem animal. Tese para obtenção do título de Doutor em química. Porto Alegre (RS), Brasil. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Instituto de Química. 155 p.
40. Lachinski de Holanda Guerra, R. 2010. Glicerina bruta na alimentação de frangos de corte. (em linha). Dissertação para obtenção do título de Mestre em Zootecnia. Maringá, Brasil. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. 67 p. Consultado mar. 2017. Disponível em https://www.google.com.uy/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiVuJXR3JXVAhXDHJAKHQnWAGsQFggrMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.ppz.uem.br%2Ftrabalhos-de-conclusao%2Fdissertacoes%2F2010%2Frafael-lachinski-de-holanda-guerra%2Fat_download%2Ffile&usg=AFQjCNG5YQMaRcaisTZA G92-cUR2nWoAZw.
41. Lima, E. M. C.; Rodrigues, P. B.; Alvarenga, R. R.; Bernardino, V. M.; Makiyama, L.; Lima, R. R.; Cantarelli, V. S.; Zangeronimo, M. G. 2013. The energy value of biodiesel glycerine products fed to broilers at different ages. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 97(5): 896-903.
42. Lin, E. C. C. 1997. Glycerol utilization and its regulation in mammals. *Annual Review of Biochemistry*. 46: 765-795.
43. Lin, M. H.; Romsos, D. R.; Leveille, G. A. 1976. Effect of glycerol on lipogenic enzyme activities and on fatty acid synthesis in the rat and chicken. *Journal of Nutrition*. 106(11): 1668-1677.
44. Lunedo, R.; Fernandez-Alarcon, M. F.; Carvalho, F. M.; Furlan, L. R.; Macari, M. 2014. Analysis of the intestinal bacterial microbiota in maize- or sorghum-fed broiler chickens using real-time PCR. *British Poultry Science*. 55(6): 795-803.

45. Machado Costa Lima, E. 2011. Energia metabolizável da glicerina proveniente de três fontes da produção do biodiesel para frangos de corte. (en línea). Dissertação para obtenção título de Mestre em Zootecnia. Lavras, MG, Brasil. Universidade Federal de Lavras. 47 p. Consultado mar. 2017. Disponible en http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2491/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Energia%20metaboliz%C3%A1vel%20da%20glicerina%20proveniente%20de%20tr%C3%AAs%20fontes%20da%20produ%C3%A7%C3%A3o%20do%20biodiesel%20para%20frangos%20de%20corte.pdf.
46. Mangan, J. L. 1988. Nutritional effects of tannins in animal feeds. (en línea). Nutrition Research Reviews. 1(1): 209-231. Consultado jul. 2017. Disponible en https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/2C91893A3DE2C05F2DA663AE1D49BFF7/S0954422488000162a.pdf/nutritional_effects_of_tannins_in_animal_feeds.pdf.
47. Mehaffey, J. M.; Pradhan, S. P.; Meullenet, J. F.; Emmert, J. L.; McKee, S. R.; Owens, C.M. 2006. Processing, Products, and Food Safety. Poultry Science. 85: 902-908.
48. Min, Y. N.; Lui, F. Z.; Wang, Z.; Coto, C.; Cerrate, S.; Costa, F. P.; Yan, F.; Waldroup, P. W. 2008. Evaluation of distillers dried grains with solubles in combination with glycerin in broiler diets. (en línea). International Journal of Poultry Science. 7(7): 646-654. Consultado mar. 2017. Disponible en <http://scialert.net/qredirect.php?doi=ijps.2008.646.654&linkid=pdf>.
49. _____; Yan, F.; Lui, F. Z.; Waldroup, P. W. 2010. Glycerin-A new energy source for poultry. (en línea). International Journal of Poultry Science. 9(1): 1-4. Consultado mar. 2017. Disponible en <http://scialert.net/qredirect.php?doi=ijps.2010.1.4&linkid=pdf>.
50. Murer, V. F. 2013. Grãos de sorgo secos por destilação com solúveis em dietas para frangos de corte. (en línea). Dissertação para obtenção do título de Mestre em Ciências. Pirassununga, Brasil. Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. 57 p. Consultado jul. 2017. Disponible en http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/10/10135/tde-05122013-083519/publico/VIVIANE_MURER_FRUCHI_Original.pdf.

51. Napy Komatsu, G. S. 2014. Alterações fisiológicas causadas pela utilização de glicerina na alimentação de frangos de corte. (en línea). Dissertação para obtenção do título de Mestra em Ciências. Piracicaba, Brasil. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 95 p. Consultado mar. 2017. Disponible en http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-15092014-084130/publico/Glauria_Samira_Napy_Komatsu_versao_revisada.pdf.
52. Nelson, D. L.; Cox, M. M. 2006. Lehninger; principios de bioquímica. 4a. ed. Barcelona, Omega. 1119 p.
53. Palombo, R.; Wijngaards, G. 1990. Characterization of changes in psychometric colour attributes of comminuted porcine lean meat during processing. Meat Science. 28(1): 61-76.
54. Peña Martínez, J. E. 2012. Uso do óleo de soja, óleo ácido, lecitina e glicerina de soja na alimentação de frangos de corte; valor energético da dieta, desempenho e qualidade da carne. (en línea). Tese para obtenção do título de Doutor em Zootecnia. Porto Alegre (RS), Brasil. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Faculdade de Agronomia. 155 p. Consultado mar. 2017. Disponible en <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/70350/000875795.pdf?sequence=1>
55. Pereira Bernardino, V. M. 2012. Fontes e níveis de glicerina na alimentação de frangos de corte em diferentes fases de criação. (en línea). Tese para obtenção do título de Doutor em Zootecnia. Lavras, MG, Brasil. Universidade Federal de Lavras. 200 p. Consultado mar. 2017. Disponible en http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/578/1/TESE_Fontes%20e%20n%C3%ADveis%20de%20glicerina%20na%20alimenta%C3%A7%C3%A3o%20de%20frangos%20de%20corte%20em%20diferentes%20fases%20de%20cria%C3%A7%C3%A3o.pdf.
56. Pérez, J. A.; Fernández, J.; Sayas, M. E.; Cartagena, R. 1998. Caracterización de los parámetros de color de diferentes materias primas usadas en la industria cárnica. Eurocarne. 63: 115-122.

57. PL (Poder Legislativo, UY). 2007. Ley 18.195. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado jul. 2017. Disponible en <https://legislativo.parlamento.gub.uy/temporales/leytemp7430634.htm>
58. Pulgarin Casallas, D. C. 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 mar. 2017. Disponible en <http://dspace.unicundi.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1435/DOCUMENTO.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
59. Rodgers, N.; Iji, P. A.; Mikkelsen, L. L.; Svihus, B.; Hetland, H.; Choct, M. 2009. Effect of grain particle size and milling method on broiler performance and apparent metabolizable energy. In: Australian Poultry Science Symposium (20th., 2009, Sydney, New South Wales, Australia). Proceedings. Sydney, Poultry Research Foundation. pp. 133-139.
60. Rosebrough, R. W.; Geis, E.; James, P.; Ota, H.; Whitehead, J.; 1980. Effects of dietary energy substitutions on reproductive performance, feed efficiency, and lipogenic enzyme activity on large white turkey hens. Poultry Science. 59 (7): 1485-1492.
61. Sauvant, D.; Pérez, J. M.; Tran, G. 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. Paris, INRA. 304 p.
62. Savenije, B.; Lambooij, E.; Gerritzen, M. A.; Venema, K.; Korf, J. 2002. Effects of feed deprivation and transport on preslaughter blood metabolites, early postmortem muscle metabolites, and meat quality. Poultry Science. 81: 699-708.
63. Shakouri, M. D.; Iji, P. A.; Mikkelsen, L. L.; Cowieson, A. J. 2009. Intestinal function and gut microflora of broiler chickens as influenced by cereal grains and microbial enzyme supplementation. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 93(5): 647-658.
64. Silveira da Silva, C. L. 2010. Glicerina proveniente da produção de biodiesel como ingrediente de ração para frangos de corte. (en línea). Dissertação para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Piracicaba, Brasil. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 81 p. Consultado mar. 2017.
Disponível em
http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-08022011-155718/publico/Camila_Leao_Silveira_da_Silva.pdf.

65. Simon, A.; Bergner, H.; Schwabe, M. 1996. Glycerol as a feed ingredient for broiler chickens. *Archives of Animal Nutrition*. 49(2): 103-112.
66. _____; Schwabe, M.; Bergner, H. 1997. Glycerol supplementation in broiler rations with low crude protein content. *Archives of Animal Nutrition*. 50(3): 271-282.
67. Tandieng, D. M.; Diop, M. T.; Dieng, A.; Yoda, G. M. L.; Cisse, N.; Nassim, M. 2014. Effect of corn substitution by sorghum grain with low tannin content on broilers production: animal performance, nutrient digestibility and carcass characteristics. *International Journal of Poultry Science*. 13(10): 568-574.
68. Torres, K. A. A. 2010. Avaliação do desempenho zootécnico, da função da mucosa intestinal e da microbiota ileal quando da substituição do milho pelo sorgo na raça de frangos de corte. Tese doutora em Zootecnia. São Paulo, Brasil. Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho". Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Campus de Jacoticabal. 78 p.
69. _____; Pizauro, J. M. Jr.; Soares, C. P.; Silva, T. G.; Nogueira, W. C.; Campos, D. M.; Furlan, R. L.; Macari, M. 2013. Effects of corn replacement by sorghum in broiler diets on performance and intestinal mucosa integrity. *Poultry Science*. 92(6): 1564-1571.
70. Towes, C. J. 1996. Evidence for the metabolism of glycerol by skeletal muscle and the presence of a muscle nicotinamide-adenine dinucleotide phosphate-dependent glycerol dehydrogenase. (em linha). *Journal of Biochemistry*. 98: 27-29. Consultado mar. 2017.
Disponível em
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1264939/pdf/biochemj00757-0297.pdf>.
71. Trevino, J.; Zefferies, D.; Houston, B. 1992. Effects of tannins from faba beans (*Vicia faba*) on the digestion of starch by growing chicks. *Animal Feed Science and Technology*. 37: 345-349.

72. Van Laack, R. L.; Liu, C. H.; Smith, M. O.; Loveday, H. D. 2000. Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poultry Science*. 79(7): 1057-1061.
73. Vernon, R. G.; Walker, D. G. 1970. Glycerol metabolism in the neonatal rat. (en línea). *Biochemical Journal*. 118: 531-536. Consultado mar. 2017. Disponible en <http://www.biochemj.org/content/ppbiochemj/118/3/531.full.pdf>.
74. Warriss, P. D.; Kestin, S. C.; Brown, S. N.; Bevis, E. A. 1988. Depletion of glycogen reserves in fasting broiler chickens. *British Poultry Science*. 29: 149-154.
75. Woelfel, R. L.; Sams, A. R. 2001. Marination performance of pale broiler breast meat. *Poultry Science*. 80(10): 1519-1522.
76. Zavarize, K. C. 2012. Utilização de glicerina proveniente da produção de biodiesel na dieta de frangos de corte. (en línea). Tese para obtenção do título de Doutora em Ciências. Piracicaba, Brasil. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 83 p. Consultado mar. 2017. Disponible en http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-10122012-085318/publico/Kelen_Cristiane_Zavarize_versao_revisada.pdf.