

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE ZOOTECNIA

Análisis de las características físicas, químicas y sensoriales de la carne proveniente de aves reproductoras pesadas, así como de su potencial técnico como materia prima

Diana Carolina Valerio Garita

Tesis presentada para optar por el título en el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2019

HOJA DE APROBACIÓN

Este proyecto fue aprobado por la comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia.

M. Sc. Alejandro Chacón Villalobos

Director de tesis

Ph. D. Catalina Salas Durán

Miembro del tribunal

M. Sc. Michael López Herrera

Miembro del tribunal

M. Sc. Rebeca Zamora Sanabria

Miembro del tribunal

M. Sc. Rodolfo WingChing Jones

Director de Escuela

Bach. Diana Carolina Valerio Garita

Sustentante

DEDICATORIA

A mami por ser una mujer admirable y porque hoy soy quien soy gracias a ella.

A todos aquellos que se sumaron en mi camino y han sido parte de esta aventura.

Y a todos a los que, como yo, han tenido que “activar el Espartaco que llevamos dentro”.

AGRADECIMIENTOS

A mami por recordarme día a día que puedo dar aún más y que las cosas no pasan por casualidad y por enseñarme que la libertad es un tesoro invaluable. A Naty, por ser de una sola pieza y porque a su modo único ha estado presente. A Fer por limpiar mis rodillas cuando lo requerí y a papi por demostrarme que en el único lugar donde puedo encontrar una mano es en el extremo de mi propio brazo.

A Pollo Rey por haberme proporcionado la materia prima para este proyecto y por toda la colaboración durante el proceso. A Guido Miranda por su entera disposición al inicio de este proyecto. A Don René Jacobo por abrirme las puertas de la empresa.

A Bob por ayudarme a recoger mis muestras, por ser un compañero de aventuras y estar en la mejor de las disposiciones siempre.

A Marce por su colaboración y apoyo incondicional durante este proceso

A Rocío por darme de su tiempo y ayuda en el laboratorio cuando así lo requerí.

A Ana Ochoa por madrugar y mostrarme el proceso de recolecta de los reproductores.

A Giovanni González y a Alonso por siempre estar con la mejor de las disposiciones para ayudarme.

A Catalina Salas, Elsie Loría, Jennifer Madrigal y María José Hernández por su entera disponibilidad al acompañarme en el proceso de recolecta de las muestras. En especial a Cata por ser una de mis guías en esta aventura y por estar siempre dispuesta y prácticamente entregar su vida a los estudiantes, una persona ejemplar sin lugar a duda.

A mi director de proyecto M.Sc. Alejandro Chacón Villalobos por esos mensajes de recordatorio, por siempre estar pendiente de todo (incluso de mi estado anímico) y por contagiarme esa pasión por el trabajo.

ÍNDICE

HOJA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. General.....	4
2.2. Específicos:	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1. Carne de pollo.....	5
3.2. Proceso de conversión de músculo a carne	7
3.2.1. Músculo.....	7
3.2.2. Sarcómero	8
3.3. Proteína de origen animal.....	8
3.4. Cambios post-mortem	10
3.4.1. Rigor mortis	10
3.4.2. Maduración.....	10
3.4.2.1. Capacidad de Retención de agua (CRA)	11
3.4.2.2. Color	11
3.4.2.3. pH	12
3.4.2.4. Textura	13
3.4.2.4.1. Método para mejorar la terneza en la carne	14
3.4.2.5. Lípidos.....	14
3.4.2.6. Tejido conectivo.....	15
3.5. Defectos en la calidad de la carne	17
3.5.1. Pechuga de madera.....	17
3.5.2. Estrías Blancas.....	17

3.5.3. Miopatía del Pectoral Profundo (Músculo Verde)	18
3.6. Caracterización del manejo antemortem de los reproductores pesados	19
4. MATERIALES Y MÉTODOS	20
4.1. Localización.....	20
4.2. Materia Prima.....	20
4.3. Análisis estadístico de los resultados	22
4.4. Análisis Químico de la Carne	24
4.4.1 Determinación del color.....	24
4.4.2 Determinación de la Capacidad de Retención de Agua (CRA)	24
4.4.3 Determinación del pH	25
4.4.4 Determinación de la textura.....	25
4.4.4.1 Análisis de perfil de textura (TPA)	25
4.4.5 Determinación del porcentaje de humedad	27
4.4.6 Determinación de las fracciones de proteína	28
4.4.6.1 Determinación de colágeno	28
4.3.7. Análisis sensorial de agrado.....	29
4.3.7.1. Obtención de los resultados del Panel Sensorial de Agrado	31
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
5.1. Color	32
5.2. Capacidad de Retención de Agua (CRA).....	34
5.3. Análisis de Perfil de Textura.....	36
5.4. pH	39
5.5. Humedad	42
5.6. Proteína	43
5.6.1. Colágeno	45
5.7. Análisis sensorial de agrado.....	47
6. CONCLUSIONES	49
7. RECOMENDACIONES	50
8. LITERATURA CITADA.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Nombre	Página
1	Cuadro 1. Comparación de la carne en cortes de pierna y muslo de las especies más comunes.	6
2	Cuadro 2. Composición Nutricional de la carne de pollo.	6
3	Cuadro 3. Composición química de la carne fresca de pollo (porción de 100g).	9
4	Cuadro 4. Parámetros de medición para la prueba de fuerza de corte mediante el uso de la cuchilla Warner-Bratzler.	26
5	Cuadro 5. Parámetros de medición para la prueba de perfil de textura mediante el uso de una sonda de aluminio.	27
6	Cuadro 6. Resultados promedio obtenidos para los parámetros L^* , a^* y b^* mediante el uso el colorímetro.	32
7	Valores de “p” de diferentes comparaciones de los grupos en estudio para los parámetros L^* , a^* y b^* del análisis de color	34
8	Cuadro 8. Valores de promedio del lixiviado de muslo y pechuga conjuntamente, recolectado para cada uno de los grupos experimentales.	35
9	Cuadro 9. Resultados para el parámetro fuerza de corte de la carne de reproductores pesados en comparación con el pollo de engorde	36
10	Cuadro 10. Resultados de los valores de “p” de los diferentes contrastes de los grupos experimentales para el parámetro fuerza de corte	37
11	Cuadro 11. Resultados de los valores promedio de los diferentes grupos en estudio para el parámetro de perfil de textura (TPA)	38
12	Cuadro 12. Resultados promedio obtenidos de pH mediante el uso de un pHmetro de penetración	40

13	Cuadro 13. Valores de “p” obtenidos para los diferentes contrastes de los cinco grupos experimentales	41
14	Cuadro 14. Resultados de humedad para cada uno de los grupos experimentales con el método de estufa de convección	42
15	Cuadro 15. Valores de “p” para los diferentes contrastes realizados a los grupos experimentales	43
16	Cuadro 16. Composición promedio de tipos de proteína en los grupos experimentales de reproductores pesados y el pollo de engorde	44
17	Cuadro 17. Valores de “p” para los diferentes contrastes entre los grupos experimentales	45
18	Cuadro 18. Resultados promedio obtenidos de las proteínas del estroma en la carne de reproductores pesados y pollo de engorde en el laboratorio del CITA	46
19	Cuadro 19. Resultados obtenidos de las proteínas del estroma en la carne de reproductores pesados y pollo de engorde en el laboratorio LASA (2019)	46
20	Cuadro 20. Datos de los 91 panelistas clasificados según el nivel de agrado	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Músculo esquelético y estructura del sarcómero	7
2	La estructura del sarcómero	8
3	Horno convencional donde se cocinaron las muestras de carne de pollo de engorde y reproductores pesados	30
4	Asistentes de laboratorio dando instrucciones a los diferentes panelistas	31
5	Comparación de las medias de la CRA de los tratamientos y grupo control	35
6	Gráfico de fuerza de corte promedio obtenido experimentalmente para muslo de un reproductor pesado	39
7	Gráfico de perfil de textura promedio obtenido experimentalmente en muslo de reproductor pesado	39

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación fue caracterizar la carne proveniente de dos líneas de reproductores pesados con edad a sacrificio de 65 semanas. Donde se concluyó, por los resultados obtenidos, que el mejor uso que se le puede dar a la carne de dichas aves es en la elaboración de embutidos o formados. Para establecer dichas características se realizaron análisis como color, pH, humedad, capacidad de retención de agua (CRA), fracciones de proteína y textura, fuerza de corte, con cuchilla de Warner-Bratzler y perfil de textura (por sus siglas en inglés TPA, *Texture Profile Analysis*) donde se evaluó masticabilidad, cohesividad, elasticidad y dureza. Así mismo, con el afán de generar más información sobre la aceptación de la carne de reproductores pesados, se realizó un panel sensorial de agrado debido a que, en comparación con la carne de pollo de engorde (edad a sacrificio de 42 días), la carne de reproductores pesados por ser faenados a mayor edad se espera sea una carne con características de textura menos favorables. Para establecer los parámetros mencionados anteriormente, se realizó un análisis químico de la carne de reproductores pesados en los cinco diferentes grupos de estudio, hembras y machos de la línea genética Ross, hembras y machos de la línea genética Cobb y un grupo control de pollo de engorde comercial para un total de 28 muestras. Para cada grupo se evaluó la pechuga y el muslo. Se obtuvieron porcentajes de humedad de aproximadamente 72% para muslo donde no se encontraron diferencias significativas entre los grupos de estudio y el grupo control ($p=0,91$) sin embargo, si se encontraron diferencias significativas para la pechuga entre el grupo experimental control en comparación con los reproductores pesados ($p=0,03$). Del porcentaje de proteína sarcoplasmática, se obtuvo que no hay diferencias significativas ni para el muslo ($p=0,23$) ni para la pechuga ($p=0,41$). De igual manera fueron los resultados para la fracción de proteína miofibrilar para muslo ($p=0,39$) y para pechuga ($p=0,18$). Para la determinación del pH se obtuvo que no hay diferencias significativas para muslo ($p=0,61$) ni para pechuga ($p=0,21$) entre el grupo control y los grupos experimentales, sin embargo, si se encontraron diferencias significativas del pH según la parte ($p<0,001$), teniendo un resultado promedio para la pechuga y muslo de reproductores de 5,90 y de 6,23 respectivamente, en comparación con los valores del pollo de engorde donde se reportó un valor de 6,02 para pechuga y 6,31 para muslo. Por otro lado, no se consiguieron establecer diferencias significativas para el valor de CRA entre los grupos experimentales y el grupo control debido a el método que se utilizó para la obtención de dicho análisis, sin embargo, la línea genética Ross presenta una tendencia de CRA más baja que la línea genética Cobb y el pollo de engorde. Con respecto a la cantidad de colágeno se obtuvo que no hay diferencias significativas para la pechuga ($p=0,06$)

sin embargo si se encontraron diferencias significativas para el muslo ($p=0,01$). Comparando la parte según grupo en estudio se obtiene que solamente en gallina Ross y gallo Cobb se presentan diferencias significativas ($p=0,02$) para ambas partes. En la determinación del color para los parámetros L^* , a^* de la carne cruda, se obtuvo que hay diferencias significativas entre el tipo de ave y la parte ($p<0,001$), sin embargo, no se encontraron diferencias significativas para la pechuga ($p=0,75$) entre el grupo control y los grupos experimentales; para el parámetro b^* se obtuvo que hay diferencias significativas tanto para la pechuga como para el muslo entre el grupo control y los grupos experimentales ($p<0,001$). Para la determinación de la fuerza de corte se observó que hay diferencias significativas entre el grupo control y los grupos experimentales de reproductores ($p<0,001$) para ambas piezas en estudio (muslo y pechuga). Además, se reportan diferencias significativas entre el tipo del ave y la parte en los grupos experimentales de la línea genética Ross ($p<0,001$) y gallo Cobb ($p=0,001$). Con respecto al análisis de perfil de textura, se encontraron diferencias significativas ($p<0,001$) para los parámetros de dureza y masticabilidad. En cuanto a los parámetros de elasticidad y cohesividad de muslo ($p=0,91$) y pechuga ($p=0,83$) no se reportan diferencias significativas entre el grupo control y los grupos en estudio de reproductores. El panel sensorial de agrado con 91 personas consumidoras de carne de pollo confirmó lo que se esperaba, siendo que en una escala del 0 al 10, donde 0 es “desagradable” y 10 “agradable” se obtuvo un resultado promedio de agrado de la carne de pollo de 7,38 y el nivel de agrado promedio para la carne de reproductores pesados fue de 4,70. Esta última, es una carne proveniente de animales de 65 semanas de edad al sacrificio en comparación con los 42 días aproximadamente que dura el período de vida del pollo de engorde por lo que es una carne con mayor contenido de colágeno y mayor resistencia al corte.

1. INTRODUCCIÓN

El mercado mundial de la carne ha experimentado cambios en la última década gracias a las nuevas tendencias de consumo que se han visto influenciadas por dietas vegetarianas y/o veganas. No obstante, el consumo de carne continúa siendo predominante, pero ahora con acompañamientos más saludables dado que la gastronomía mundial está más orientada a comidas más sanas (Errecart 2015).

La carne es un alimento rico en proteínas de alto valor biológico, así como de minerales tales como el hierro y vitaminas; su composición varía según la especie, la raza, la edad y el sexo (Chacón 2004, Rodríguez y Magro 2008, Badui 2006). Sin embargo, no solo las características antes mencionadas son las que van a determinar la calidad de la carne; la ternera, jugosidad y sabor son otros de los componentes asociados a la carne que hace que la misma sea del agrado de los consumidores (Chacón 2004, Mead 2004).

El consumo de carne de pollo ha venido creciendo y seguirá en aumento con el paso de los años. Según las proyecciones para el año 2050, la población mundial habrá pasado de 7.300 millones de habitantes a 10.000 millones de habitantes, es decir habrá un incremento del 30%, lo que representa para el sector agropecuario un compromiso enorme para alimentar al mundo (OCDE 2012, DESA 2014, FAO 2015).

Según estimaciones por parte de la Cámara Nacional de Avicultores (CANAVI), en Costa Rica para el año 2015 se produjeron 122.400 toneladas de carne de pollo, con rendimientos por ave de 1,7 kg aproximadamente, y con una producción de 72 millones de pollos para el mismo año. Esto representa un consumo per cápita de 27 kg (Fratti 2016), con una población de 4.832.234 (INEC 2013).

En un estudio realizado por la OCDE y FAO (2017) se proyectó que para el año 2024, la carne de pollo seguirá siendo la más cotizada mundialmente, con un incremento de 133 millones de toneladas en comparación con 111 millones de toneladas en el 2015, mientras que para las demás especies se consumirán 16,7 millones de carne porcina, 9 millones de carne bovina y 3,8 millones de ovina (Boari et al. 2014). A nivel latinoamericano, según la Asociación Latinoamericana de Avicultura (ALA) (2019) el consumo de pollo per cápita al año lo lidera San Vicente/Granadinas con 85,3 kg, en segundo lugar Trinidad y Tobago con 63,8 kg, seguido de

Jamaica con 57,8 kg; Costa Rica se encuentra en el puesto número 24 con 30,2 kg. En promedio en toda la región latinoamericana se consumen 37,2 kg.

Esto hace que, las explotaciones avícolas busquen nuevas prácticas de aprovechamiento de los productos obtenidos de la industria, como la carne de las aves reproductoras pesadas las cuales son aves que se descartan alrededor de las 65 semanas de vida. Las líneas genéticas usadas en Costa Rica son Cobb 500 (compañía Cobb Vantress) y Ross (compañía Aviagen) con un peso al descarte de alrededor de 5 kg (Ross 2017).

Las gallinas de desecho son sacrificadas y utilizadas en la producción de alimentos concentrados para animales o en la preparación de alimentos para consumo humano como sopas de bajo valor agregado. Anteriormente eran utilizadas en la agricultura como compostaje, producción de abono o simplemente al momento de descartarlas se enterraban (Owens et al. 2010).

La suavidad de la carne es uno de los parámetros más importantes para el consumidor al momento de establecer la aceptación; este importante aspecto de la carne varía considerablemente con la edad de los animales al momento del sacrificio. Es por lo anterior que la edad de descarte de las aves puede tener importantes implicaciones (Sindik et al. 2012, Mercado 2015).

La posibilidad de utilizar la carne de las gallinas reproductoras pesadas como materia prima para la elaboración de productos con valor agregado podría estar fuertemente influenciado por este tipo de factores, los cuales deben ser considerados si se busca un beneficio económico para la industria avícola (De Souza et al. 2011).

Kokozynsky et al. (2016) mencionan la popularidad que tiene el uso de la carne aves de desecho en África y Asia por lo que en el presente estudio se desea caracterizar la carne de reproductoras pesadas para aprovechar su carne para consumo humano debido a que recientemente se han reportado consumos crecientes de carne de aves de corral y las aves de desecho representan el 7% de toda la carne de aves de corral producida en el mundo.

Por lo anterior y debido a que no se encontraron estudios a nivel nacional, es que en el presente trabajo se estudió y estableció el perfil técnico de la carne de aves reproductoras

pesadas, de manera que dicha información sea la base para una posterior elaboración de un producto de mayor valor agregado. Teniendo en consideración que al año aproximadamente se sacrifican 90 000 hembras y 12 000 machos reproductores pesados donde se tienen pesos promedios para hembras de 3,5 Kg y para machos de 4,2 Kg.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Evaluar la factibilidad zotécnica e industrial del aprovechamiento de la carne de aves reproductoras pesadas de desecho.

2.2. Específicos:

1. Caracterizar el manejo *antemortem* y sacrificio de los reproductores pesados de descarte para garantizar la obtención de una carne inocua y de calidad.
2. Analizar las características físicas y químicas de la carne de reproductora pesada para establecer por medio de criterios técnicos su posible uso como materia prima.
3. Realizar un panel sensorial para verificar el nivel de agrado de la carne de reproductores pesados en comparación con la de pollo de engorde.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Carne de pollo

Estados Unidos de América (EUA) es el mayor productor de carne avícola en el mundo, teniendo un 18% de la producción mundial seguido de China, Brasil y la Federación de Rusia y en el 2016 la carne de origen avícola representó cerca del 36% de la producción mundial de carne. Dicha carne es la principal fuente de proteína animal (FAO 2019).

La carne de pollo es altamente cotizada debido a que su precio es más accesible que el de otras carnes por presentar costos de producción más baratos en comparación con otras producciones. Para producir 1kg de carne de pollo de engorde comercial se requiere aproximadamente 1,7 Kg de alimento balanceado (Farrel 2013). Se proyecta un crecimiento de la producción de carne del 13% en el 2026 comparado con el periodo base de (2014-2016). La carne de aves de corral es el principal impulsor del crecimiento de la demanda de carne debido a su bajo precio en el mercado (OECD y FAO 2017).

La carne de pollo es una carne blanca, magra, pues su tejido adiposo es de fácil remoción y baja en calorías. La grasa es mayoritariamente monoinsaturada, aporta bajos contenidos de ácidos grasos saturados y una adecuada cantidad de ácidos grasos de la familia omega 3 y 6. Además tiene niveles altos de proteína de alto valor biológico debido a su contenido de aminoácidos esenciales. Dentro de los beneficios se encuentra que la carne de pollo es alta en fósforo el cuál es un mineral esencial para la buena salud de dientes, huesos, hígado y riñones (Martínez y Mora 2010).

Se puede observar en el Cuadro 1 una comparación entre la carne de pollo res y porcino con respecto a sus respectivos porcentajes de proteína, grasa y agua. Se aprecia que la carne de pollo tiene un porcentaje de proteína alto en comparación con la de cerdo y res y con un aporte bajo de grasa, tal como lo justifican Martínez y Mora (2010).

Dentro de las ventajas que posee la carne de pollo con respecto a otras carnes es que la digestibilidad es mayor, esto debido a que posee menor proporción de tejido conectivo que las carnes rojas y mucho del mismo se elimina al quitar la piel. Además, las fibras musculares son más finas lo cual reduce la dureza por lo que su textura es más suave (Martínez y Mora 2010).

Cuadro 1 Comparación de la carne en cortes de pierna y muslo de las especies más comunes.

Carne	Proteína (%)	Grasa (%)	Agua (%)
Pollo	20,4	3,1	77,0
Res	18,9	13,5	66,7
Porcino	16,6	22,5	59,5

Fuente: Kirk et al. (2006)

La carne de pollo también es fuente de niacina y vitamina B₆, aportando 73% y 97% respectivamente del consumo recomendado a hombres y mujeres que practican actividad física moderada (Martínez y Mora 2010, Moreiras et al. 2013). En el Cuadro 2 se puede ver la composición de la carne de pollo.

Cuadro 2. Composición Nutricional de la carne de pollo.

Componente	Por 100g de porción comestible	Componente	Por 100g de porción comestible
Energía (Kcal)	167	Zinc (mg)	1
Proteínas (g)	20	Sodio (mg)	64
Lípidos totales (g)	9,7	Potasio (mg)	248
AG saturados (g)	2,63	Fósforo (mg)	198
AG moninsaturados (g)	4,37	Selenio (µg)	6
AG poliinsaturados (g)	1,82	Tiamina (mg)	0,1
Omega 3 (g)	0,282	Riboflavina (mg)	0,15
Omega 6 (g)	1,502	Equivalentes niacina (mg)	10,4
Colesterol (mg/1000 kcal)	110	Vitamina B ₆ (mg)	0,3
Hidratos de carbono (g)	0	Folatos (µg)	10
Fibra (g)	0	Vitamina B ₁₂ (µg)	Trazas
Agua (g)	70,3	Vitamina C (mg)	0
Calcio (mg)	13	Vitamina A: Eq. Retinol (µg)	Trazas
Hierro (mg)	1,1	Vitamina D (µg)	Trazas
Magnesio (mg)	22	Vitamina E (mg)	-

Adaptado de Moreiras et al. (2013)

3.2. Proceso de conversión de músculo a carne

3.2.1. Músculo

Existen diferentes clasificaciones del músculo, entre ellas están según su inervación: músculo liso de contracción involuntaria (tubo digestivo), estriado de contracción involuntaria (cardiaco) y estriado de contracción voluntaria (esqueléticos, la gran mayoría) (Badui 2006, Onega 2003).

El músculo estriado esquelético voluntario está compuesto por una membrana externa de tejido conjuntivo llamada fascia (epimisio), esta se propaga para formar la aponeurosis y tendones, tejido por el cual el músculo se une al hueso. La membrana interna de la fibra muscular es el sarcolema (eléctricamente excitable). En su interior están las fibras musculares que se unen en haces por una capa de tejido conectivo llamada perimisio. Dentro de las fibras musculares se encuentran las miofibrillas (unidad funcional), estas están directamente agrupadas por tejido conectivo (endomisio) y se encuentran dentro del sarcoplasma de la célula muscular (Parolini 2012, Andújar et al. 2003, Chacón 2004). En la Figura 1 se muestra la estructura del músculo estriado esquelético y en la parte inferior de la misma la estructura del sarcómero.

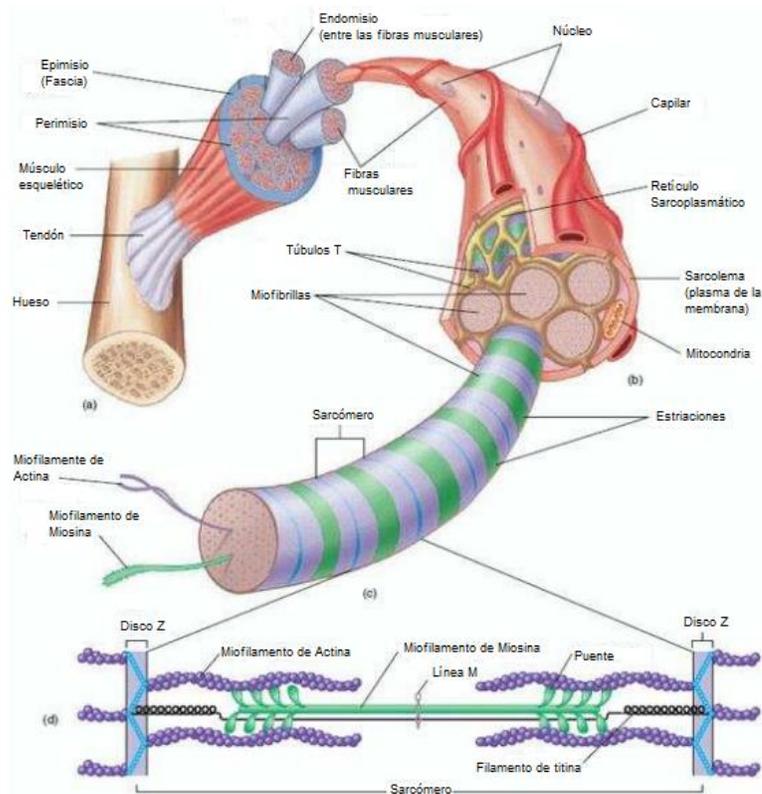


Figura 1. Músculo esquelético y estructura del sarcómero
Adaptado de Parolini (2012)

3.2.2. Sarcómero

Dentro de cada una de las miofibrillas y repitiéndose cada 2,3µm, hay una estructura llamada sarcómero (unidad estructural de la miofibrilla) que está compuesta por diferentes tipos de proteínas; entre ellas las contráctiles llamadas actina y miosina y las regulatorias, tropomiosina y troponinas. Esta estructura se encuentra limitada por las bandas I (isotrópas) y la zona A (anisotrópa). En esta zona delimitada por las bandas y por los túbulos T (delimitan cada sarcómero) es donde ocurre la contracción muscular por acción de los nervios musculares y el calcio (Ca^{2+}). Los miofilamentos finos de actina se deslizan sobre los miofilamentos gruesos de miosina provocando una atracción que produce la contracción del músculo (Parolini 2012, Onega 2003). En la Figura 2 se puede observar la estructura del sarcómero y sus partes. La edad, el sexo, el ejercicio, el tipo de músculo y la nutrición son algunos de los factores que afectan el diámetro de la fibra (Chacón 2004, Onega 2003).

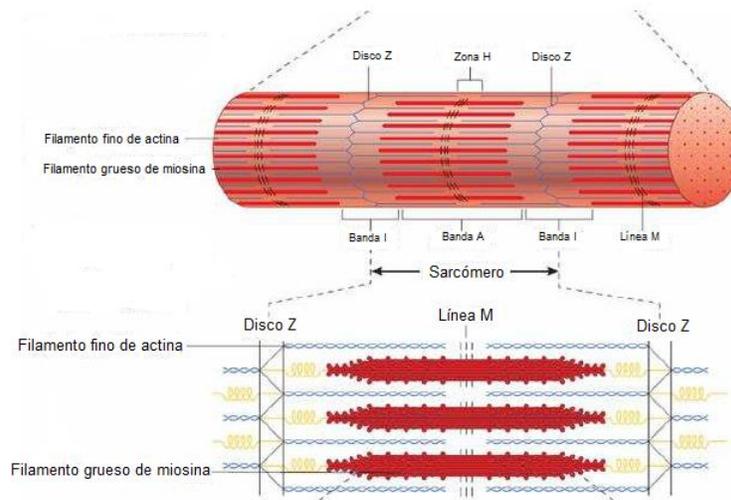


Figura 2. La estructura del sarcómero
Adaptado de Parolini (2012)

3.3. Proteína de origen animal

La proteína del músculo se clasifica en sarcoplasmática y miofibrilar según su solubilidad en disoluciones salinas. Las proteínas sarcoplasmáticas son solubles en soluciones salinas de baja

fuerza iónica (0,05M) y están constituidas por mioalbúmina, globulina y otras enzimas que participan en la vía glicolítica, mientras que las miofibrilares son solubles en soluciones de alta fuerza iónica (0,5M) y están compuestas por la actina y la miosina (contracción) y la troponina y tropomiosina (reguladoras) (Herrera et al. 2008).

La carne cruda contiene entre 19-23% de proteína la cual es inversamente proporcional al contenido de grasa, por lo que con la pérdida de grasa y humedad (agua) por cocción este porcentaje de proteína aumenta a 25-30% (Braña et al. 2011). Además, el hierro hemo de la carne es de fácil absorción e incrementa la absorción del hierro de otras fuentes alimenticias (Onega 2003). La carne comercial fresca prácticamente no contiene carbohidratos y el contenido de fibra es nulo. En el Cuadro 3, se presentan los valores promedio de cortes frescos de la carne de pollo.

Cuadro 3. Composición química de la carne fresca de pollo (porción de 100g).

Componente	Contenido
Agua	75,0%
Proteína	22,8%
Grasa	0,9%
Cenizas	1,2%
Calorías/100g	105

Fuente: Heinz y Hautzinger (2010).

La carne es definida desde un punto científico como la musculatura esquelética de aquellos animales silvestres o de corral que son criados para fines comestibles, esta misma musculatura sufre transformaciones fundamentalmente físico-químicas, bioquímicas y estructurales. En el proceso *post mortem* del animal, la carne va a sufrir dos etapas de transformación: la primera fase llamada *rigor mortis* y la segunda de maduración posterior. De estas dos fases dependerá la calidad sensorial, así como la posibilidad de elaborar a nivel tecnológico productos cárnicos (Rodríguez y Magro 2008).

3.4. Cambios post-mortem

3.4.1. Rigor mortis

Es la primera etapa que ocurre después del sacrificio de los animales (10 a 24 horas después). La unión de actina y miosina se da irreversiblemente, ya que al gastar las reservas de ATP después del sacrificio, esta molécula no se produce más (no hay respiración celular) por lo que las proteínas no tienen energía para desunirse. De manera que la actinmiosina es la que le da la característica de rigidez a la carne; acompañada del descenso del pH hasta valores de 6,5 (por acumulación de ácido láctico) y aumento de la concentración de calcio, que como no hay ATP, el mineral no puede salir de las células musculares ayudando este también a la contracción muscular (Rodríguez y Magro 2008, Andújar et al. 2003, Chacón 2004).

El glucógeno es el carbohidrato más abundante del músculo; mediante este se acumula energía para las funciones de los tejidos. Dicho carbohidrato se almacena principalmente en el hígado y es transportado vía sanguínea a músculos y órganos cuando lo requieren. El glucógeno, después de morir el animal, se degrada en ácido láctico, por lo que su contenido es esencial para la acidificación de la carne y funciona para conservar el sabor y la dureza de la misma (Andújar et al. 2003). Esta etapa ocurre muy rápido en las aves, en promedio lleva de 1 a 2 horas y se llega al máximo del proceso 6 horas post mortem con la liberación de las proteínas lisosómicas las cuales son proteolíticas y son las que van a actuar en la maduración de la carne (Cori et al. 2014).

3.4.2. Maduración

Esta segunda etapa implica un proceso de transformación bioquímica del músculo, por medio de la cual éste adopta las características propias de la carne. Entre estos cambios se encuentran un descenso del pH derivado del ácido láctico que se genera en la respiración anaerobia, y el cual puede tener un efecto en la capacidad de retención de agua de las proteínas en caso de alcanzar valores excesivos. Es también en esta etapa donde procesos enzimáticos proteolizan las proteínas del músculo generando un efecto de ablandamiento posterior al *rigor mortis*. Adicionalmente se generan durante este proceso proteolítico aromas y sabores característicos de la carne (Parolini 2012, Chacón 2004).

3.4.2.1. Capacidad de Retención de agua (CRA)

La CRA es la habilidad de retener el agua que está en el músculo (Di Luca et al. 2011, Walukonis et al. 2002). Es una característica importante para la industria de los subproductos cárnicos (Galián 2007, Di Luca 2011). La pérdida de CRA resulta en pérdidas de nutrientes tales como: proteínas, minerales y vitaminas hidrosolubles (Braña et al. 2011). Es importante económicamente dado que si hay grandes pérdidas o incrementos de agua se afecta el peso de la pieza. La carne es vendida mediante esta medida y muchas propiedades de calidad dependen de la CRA (Mead 2004). La terneza, jugosidad y sabor son los principales atributos de calidad de la carne que se exigen por parte de los consumidores. Especialmente la jugosidad está determinada por la CRA (Leal y Jiménez 2015).

El músculo está constituido por proteínas, carbohidratos, minerales, vitaminas y el mayor componente, el agua. En tejidos magros aproximadamente se tiene un contenido de agua del 75% de su peso y alrededor del 80-85% está localizado dentro de la matriz proteica. Existen dos tipos de interacciones dentro de esta matriz, la primera de ellas proteína-agua que varía del 7 al 8% del total del agua y la segunda del tipo agua-agua la cual se subdivide en otros dos tipos, “agua inmovilizada” variando de 74 a 75% y “agua libre” la cual varía de 16 a 17% respectivamente. Esta última es la que afecta la CRA como tal pues es la que se libera durante el proceso de pérdida de agua de la carne, según sea la desnaturalización que presenten las proteínas miofibrilares debido a la acidez final de los procesos *postmortem* (Kolczak et al. 2007).

3.4.2.2. Color

El parámetro del color en la carne puede asociarse con la CRA que tenga una pieza en particular, dado que esto influencia la manera en que la luz se refleja sobre la misma, existiendo una tendencia a coloraciones más oscuras entre mayor sea el porcentaje de humedad. Por otro lado, si el agua está libre la superficie es húmeda y refleja más radiación por lo que la carne se verá de un color más claro (Onega 2003). Esta característica de la carne es importante ya que el consumidor de primera mano es lo que aprecia de la carne y con base en esto juzga su frescura y calidad (Onega 2003, Mead 2004, Chacón 2007, Braña et al. 2011).

La carne de pollo es única porque la misma se puede vender tanto con piel como sin piel. Existen reportes de preferencias regionales en Estados Unidos por una carne de pollo con una

coloración de pálida a pigmentado mientras que los consumidores en el Reino Unido tienden a preferir carnes más pálidas (no pigmentadas). La pigmentación de la carne puede variar según la dieta de las aves lo que va a depender de la disponibilidad pigmentos liposolubles como por ejemplo los carotenoides, fuentes de alimentación, disponibilidad biológica como raza (capacidad para depositar pigmentos en la piel) y sexo, condiciones previas al sacrificio (escaldado), procedimientos de cocción y condiciones de congelado (Akbar et al. 2017).

El cambio de color está asociado a los pigmentos del músculo (pollos contienen poca cantidad de mioglobina) y de la sangre (hemoglobina). Las condiciones del animal antes y después del sacrificio son clave para preservar el color de la carne. Si un animal es maltratado antes del sacrificio, se ve sometido a estrés e hiperactividad, lo que va a desencadenar en la producción de ácido láctico aun estando en vida. Así mismo, si no experimenta un ayuno controlado 24 horas antes de la matanza, su cuerpo tendrá grandes reservas de glucógeno, y una vez más se tendrán altas producciones de ácido láctico lo que aumentará la acidez en la carne (Cubero et al. 2013, Chacón 2004).

La dispersión de la luz afecta la luminosidad (L^*) de la carne de una manera inversa a la causada por la concentración de pigmentos del grupo hemo, que tienen un efecto sobre el enrojando de la carne (a^*) y el color amarillento (b^*). Los músculos a $pH \geq 6,0$ sufren una desnaturalización mínima de proteínas, baja dispersión de la luz y, por lo tanto, una apariencia translúcida. Sin embargo, los músculos de $pH \leq 6,0$ sufren mayor desnaturalización de las proteínas, lo que provoca una mayor dispersión de la luz y opacidad. Las aves de corral es la única especie que se sabe que tiene músculos que son extremos en color, la carne de pechuga es color rosa pálido y la carne del muslo es rojo oscuro. Defectos de apariencia como hematomas, hemorragias, oscurecimiento óseo y otros, se detectan muy bien en la carne de pollo de engorde por lo que afecta la industria (Akbar et al. 2017).

3.4.2.3. pH

El pH es uno de los principales parámetros a identificar y analizar debido a que afecta las cualidades de la carne, principalmente la CRA y el color. Además, es un factor importante en la estabilidad pues determina el crecimiento de microorganismos específicos. Diferentes fuentes reportan que el pH del músculo de animales sanos y vivos es de alrededor de 7,04, mismo que

disminuye al morir el animal entre otras razones porque el glucógeno se degrada a ácido láctico mediante un proceso anaeróbico (Braña et al. 2011, Gómez y Gómez 2013, Hui et al. 2013).

La variación del pH se da por una serie de factores, por ejemplo, intrínsecos como, genética, metabolismo, susceptibilidad al estrés, entre otros, o por el ambiente en el que se manejó el animal y su canal durante 24 horas previas y después del faenado, siendo estos los factores más relevantes (Cardinali et al. 2015, Dal-Bosco et al. 2014, Hernández et al. 2015).

Al cesar el proceso de maduración de la carne el pH debe encontrarse entre 5,4 y 5,6 sin embargo, estos valores pueden cambiar por los factores anteriormente mencionados. El pH de pollo de engorde puede variar de 5,96 a 6,18 (Karaoglu et al. 2005, Gómez y Gómez 2013).

3.4.2.4. Textura

La textura es un parámetro multidimensional, esto porque para el consumidor es de suma importancia comprar un corte de carne que sea suave y de fácil masticación. La cantidad de colágeno (componente del tejido conectivo) determina la dureza de la carne pues es un tejido que recubre las fibras musculares y el conjunto de ellas por lo que el entrelazado del colágeno va a aumentar a medida que el animal envejece y va a provocar una mayor resistencia mecánica al corte. La dureza es de los atributos que el consumidor valora como más importante dado que determina el valor comercial de la misma (Onega 2003, Mead 2004). Dentro de este parámetro entran otros atributos medibles en la carne que son de importancia comercial como la fuerza del corte, adhesividad, cohesividad y masticabilidad (Braña et al. 2011).

Durante el periodo de maduración se da un proceso llamado proteólisis muscular, donde influyen las enzimas calpaínas y catepsinas (calcio-dependientes), que ayudan al rompimiento de la miofibrilla (cortan el colágeno que une a los sarcómeros) resultando en el ablandamiento de la carne. Estas enzimas son muy activas a pH's menores a 7 como el que se encuentra en el músculo después del *rigor mortis* (Chacón 2005, Chacón 2007, Cubero et al. 2013). Todo este proceso depende de la temperatura donde a menor sea la misma, más bajo será el efecto de las enzimas (Onega 2003).

La calpastatina es el inhibidor de la calpaína. Cumple un papel como regulador de la terneza, ya que al ser inhibidor de la acción de las calpaínas también detiene el proceso de ablandamiento de la carne afectando la calidad de la misma (Motter 2009).

3.4.2.4.1. Método para mejorar la ternera en la carne

Por la importancia que tiene la ternera a nivel comercial es que hay métodos para el mejoramiento de la misma seguidos como lo estipula la *American Meat Science Association* (AMSA) (1978), tales métodos son: suspensión de la pieza, estiramiento mecánico, estimulación eléctrica, ultrasonicación, bajas y altas temperaturas de maduración, aplicación de extractos de frutas, enzimas bacterianas, y aplicación de una onda de choque "*Hydrodyne*" (Chacón 2000, Chacón 2005). A nivel industrial la ternera de la carne se establece por medio del uso de métodos instrumentales; especialmente utilizando texturómetros que miden la fuerza de corte de la carne como una medida indirecta proporcional a su suavidad. Estos texturómetros emplean un dispositivo de ensayo de corte y cizallamiento de Warne-Bratzler, en la forma de una cuchilla que corta transversalmente una muestra cárnica midiéndose la fuerza máxima necesaria para el corte (Novakovic y Tomasevic 2017). Este método es el recomendado por la *American Meat Science Association*.

3.4.2.5. Lípidos

La fracción liposoluble de la carne es la responsable del aroma característico de cada especie y cuando se exponen al aire, ocurren cambios en el aroma, color y sabor de la carne pues hay una reacción de oxidación de los lípidos. La cantidad de lípidos presentes en la carne tendrá influencia directa en la ternera, el sabor y la jugosidad. Lo anterior porque al momento de hacer un corte (o masticarla) promueve la salivación y debilita la estructura del tejido conectivo por lo que es más fácil la masticación (Chacón 2000, Chacón 2004, Cubero et al. 2013).

En el tejido adiposo de la carne se encuentran los lípidos. En su estructura contienen ácidos grasos libres o esterificados con glicerina, donde los triglicéridos son los más comunes. Estos ácidos grasos están presentes en cadenas de 2 a 30 carbonos donde pueden ser saturados o insaturados (dependiendo de su forma química, posición *cis*). Los ácidos grasos saturados comprenden más del 50% del total de ácidos grasos en la carne y los que están presentes en mayor proporción son el palmítico, esteárico y mirístico. Los ácidos grasos insaturados más abundantes en la grasa animal son el oleico, linoleico, linolénico y araquidónico, estos dos últimos son esenciales para el ser humano pues no es capaz de sintetizarlos. Entre mayor sea la composición de ácidos grasos insaturados habrá una mayor tendencia a la oxidación de la carne. (Onega 2003, Ramírez 2004)

Los lípidos del tejido muscular se subdividen en intramusculares e intracelulares. Los primeros son los que se encuentran dentro de las fibras musculares y son los responsables de dar a la carne un aspecto de marmoleo y jugosidad. Estos lípidos intramusculares permiten que se pueda cocinar la carne a altas temperaturas sin perder la calidad del corte. Los lípidos intracelulares forman parte de la mitocondria y membranas, y están compuestos principalmente por fosfoglicéridos y lipoproteínas (Onega 2003).

La composición de la grasa de la carne dependerá de la especie, sexo, genética, ambiente y dieta (Onega 2003). En el caso del pollo de engorde, los ácidos grasos insaturados comprenden dos terceras partes de la grasa total intramuscular, entre ellos se pueden mencionar los monoinsaturados (oleico principalmente), y los poliinsaturados (linoleico (omega 6) y en menor concentración, linolénico (omega 3)). Estas grasas son beneficiosas pues, ayudan a disminuir el colesterol en sangre. Por lo anterior y por sus características sensoriales, la carne de pollo es considerada apropiada para incluir en dietas de personas con necesidades alimentarias y nutricionales especiales como en las dietas para personas con hipertensión (Gallinger et al. 2016).

3.4.2.6. Tejido conectivo

Está compuesto por el colágeno y la elastina. La elastina tiene propiedades más elásticas por lo que suele encontrarse en músculos con mayor actividad. Este tipo de tejido resiste condiciones químicas como la acidez, alcalinidad y el calor. Esos cambios químicos usualmente destruyen el colágeno, lo que hace que el colágeno no sea abundante pues de ser así se tendrían cortes con un nivel de dureza alto y en términos de suavidad, ya poco se podría hacer. A medida que los animales envejecen la cantidad de colágeno es mayor y aumenta el entrecruzamiento de sus cadenas proteicas (Chacón 2000, Herrera et al. 2008)

La etapa de maduración o envejecimiento de la carne (llevado a cabo en refrigeración) tiene lugar 24 horas después del faenado del animal (proceso que sigue después del *rigor mortis*), en esta etapa aumenta el pH y la CRA. Al mismo tiempo, ocurre una modificación de la coloración de la carne dado que al reabsorberse el agua presente en la carne se favorece la formación de metamioglobina. En conjunto a estos cambios se da una proteólisis en la totalidad del músculo

por acción de las proteasas, sin embargo, es la ruptura de la proteína de las miofibrillas la que ocasiona el ablandamiento de la carne (Chacón 2004, Onega 2003, Chacón 2007).

Conforme ha evolucionado el hombre, han cambiado los hábitos alimenticios y con ello los productos de origen animal se han vuelto parte de la dieta. La carne de pollo es un ingrediente básico en la cocina de la población mundial por ser un alimento de alto valor biológico, gastronómicamente muy versátil y económico. Su consumo ha ido cambiando de manera paulatina a lo largo de periodos de industrialización, urbanización y desarrollo económico. Además, la carne de pollo por sus características nutricionales, es una carne más cotizada por ser un alimento que coincide con los objetivos nutricionales, que recomiendan moderar la ingesta de grasa total, saturada y colesterol para reducir el riesgo de enfermedades crónicas (Carbajal 2013).

La alta demanda de esta carne ha disparado las producciones de pollo, por lo que con el paso de los años se ha buscado que las mismas sean cada vez más eficientes e intensivas con el fin de tener mayores pesos del pollo por metro cuadrado. Por ello, se vuelve más importante cumplir con parámetros de calidad de esta carne.

El mercado ha buscado mejorar las producciones de pollo por lo que se ha preocupado por mejorar las líneas genéticas que se manejan hoy en día. Estimaciones de heredabilidad para rasgos de calidad de carne de pollo son asombrosamente altos (0,35-0,81), lo que hace que la selección genética sea una herramienta para mejorar la carne de pollo de engorde (Akbar et al. 2017).

Se ha venido buscando obtener aves más productivas y más resistentes a las enfermedades o patologías, de manera que se mejore la calidad de la carne la cual se define como las características deseables de un producto y en las que se enfoca el productor para satisfacerlas. Todo ello hace que se sacrifiquen la capacidad de termorregulación, fragilidad ósea, vascularización insuficiente, entre otras (Castellini et al. 2012).

3.5. Defectos en la calidad de la carne

Es un hecho bien conocido que se ha logrado cumplir con las producciones masivas de pollo de engorde, por lo que el énfasis hoy en día esta puesto en mejorar la calidad de la carne. Mundialmente en las plantas de cosecha se clasifica la carne de pollo de acuerdo a sus características físicas como conformación, hematomas, partes faltantes, rasgaduras de la piel y presencia o ausencia de defectos en la canal (Akbar et al. 2017). Tales defectos; que se presentarán a continuación, se pueden ver favorecidos por: el sexo, siendo los machos quienes presentan mayor incidencia; la tasa de crecimiento, donde aves más pesadas tienen mayor probabilidad de presentar degeneraciones musculares y la nutrición, ya que las dietas más concentradas van a hacer que la ganancia de peso sea mayor en menor tiempo (Kuttappan 2012).

3.5.1. Pechuga de madera

Se define como una degeneración extensiva de las fibras musculares con disposición de colágeno en las áreas afectadas. Esto resulta en una consistencia dura de los músculos de la pechuga desmejorando la calidad de la carne de pollo que tanto aprecian los consumidores (Bilgili 2017).

De lo anterior no se conoce una causa específica del porqué sucede, sin embargo, varios autores coinciden en que posiblemente se deba a décadas de mejora de las líneas genéticas utilizadas en producción para que estén más enfocadas en la deposición de músculo y de crecimiento más rápido (Bilgili 2017, Folegatti y Martínez 2016, Petracci 2013).

Pollos con pesos iniciales muy bajos son más propensos a sufrir de “pechuga de madera” que aquellos que están dentro de los parámetros normales iniciales de peso. También se puede atribuir a lesiones por problemas de hipoxia o anoxia (Cordeiro 2008).

3.5.2. Estrías Blancas

Se define como el exceso de tejido adiposo o de grasa acumulada a lo largo de las fibras musculares de la pechuga debido a la degeneración de fibras individuales de músculo, lo que también se puede traducir en una pérdida proporcional del contenido de proteína en el músculo (Bilgili 2017, Petracci 2014). Estos autores mencionan que tanto esta miopatía como la “pechuga

de madera” pueden presentarse en la misma ave de manera simultánea. Al igual que la degeneración muscular anteriormente citada (“pechuga de madera”), se desconoce la causa del porqué se presenta (Folegatti y Martínez 2016, Petracci 2014).

3.5.3. Miopatía del Pectoral Profundo (Músculo Verde)

La enfermedad del músculo verde o DPM (por sus siglas en inglés *Deep Pectoral Myopathy*) es un mal degenerativo de los músculos y se caracteriza por necrosis y atrofia de los músculos pectorales menores donde, en presencia de la miopatía, el músculo va a variar de una coloración rosa hemorrágica a gris verdosa. Esta condición surge cuando las fibras musculares sufren una deficiencia de oxígeno y se asocia a un repentino y excesivo aleteo. El desarrollo de la enfermedad se puede dividir en tres categorías. La primera es una lesión inflamatoria aguda en la que el músculo pectoral menor aparece muy rojo y hemorrágico. La segunda, aparece un anillo hemorrágico en el filete interior y la tercera se refiere a la degeneración progresiva y enverdecimiento del tejido dañado, este color verdoso es producto de la ruptura de la hemoglobina y mioglobina al descomponerse en sales biliares (Bilgili y Hess 2008).

Según un estudio por Zimmermann et al. (2012), donde coincide con Bilgili y Hess (2008) esta patología se debe al exceso de movimiento de las alas y al igual que las otras degeneraciones musculares mencionadas, esta se debe al rápido crecimiento del pollo de engorde donde se presentan de significativamente en machos, aves de mayor peso y edad.

Los músculos afectados se desechan durante el deshuese, sin embargo, aquellas piezas que se comercializan completas pocas veces se detecta la miopatía, la cual, no está relacionada con ningún agente infeccioso por lo que no tiene trascendencia en la salud pública, pero sí tiene una apariencia antiestética y en ambos escenarios se tienen pérdidas económicas valiosas (Bilgili y Hess 2008).

Aunque la incidencia de DPM es mayor en pollos de engorde pesados, puede ocurrir a cualquier edad o peso. Otros factores asociados a la aparición de la enfermedad del músculo verde son el sexo; la incidencia puede ser mayor en machos que en hembras, alto rendimiento de carne blanca e índice de crecimiento rápido (Folegatti y Martínez 2016). La identificación y eliminación de aquellos manejos que provoquen alteración de los pollos de engorde, es clave para reducir la incidencia de DPM.

3.6. Caracterización del manejo antemortem de los reproductores pesados

Para realizar la recolección de las aves se realiza todo un manejo logístico en planta de proceso para poder contar con el espacio para el sacrificio de los animales, de lo contrario no se podría empezar la recolección sin tener preparada la llegada de los reproductores a cosecha.

El proceso se inicia con ayunos de al menos 8 horas donde se asegura que el tracto gastrointestinal esté limpio para el momento de la cosecha de los animales. El manejo en granja que se les da es semejante al de un pollo de engorde, donde 8 horas previo a la recolección de levanta la línea de los comederos para que se detenga el consumo de alimento y el encargado de la granja debe velar por mantener en movimiento las aves para que la evacuación del alimento sea más efectiva ya que estas aves al no tener alimento disponible se dejan de mover y su organismo entra en estado de latencia y el tracto gastrointestinal demora más evacuando su contenido También el encargado de granja se asegura de mantener separados a machos de hembras mediante barreras para el momento en que el camión de recolecta llegue a la granja.

El personal encargado de la recolecta de las aves empieza con las hembras, colocando aproximadamente 6 gallinas en cada una de las jabas; este acomodo depende del peso de las aves, en pollo de engorde se manejan de 8 a 10 pollos por jaba. Una vez recolectadas todas las hembras se hace la recolección de machos. Son llevado a la planta de proceso donde se descargan las aves una por una y se cuelgan de las patas con la pechuga sobre una banda que las dirige a una tina con agua donde las impacta una corriente eléctrica en la cabeza para insensibilizarlas de manera que no sientan donde se les hace el corte de la yugular para que mueran desangradas. Este es un proceso que se hace debido a que, por un tema de riesgo microbiológico, el animal no puede morir con la sangre dentro de su cuerpo pues es un foco de contaminación de la carne.

Después de que se realiza el corte de la yugular, pasan por una máquina desplumadora, proceso de eviscerado y un proceso de una hora en un “chiller” donde permanecen por una hora para enfriar la canal y poder almacenarla a temperaturas de hasta -30°C hasta que el producto es llevado a los centros de distribución de cada empresa.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización

Las pruebas físico-químicas se efectuaron en el primer semestre del año 2018 (marzo a julio) en el laboratorio de química de alimentos y en el mes de agosto del año 2019 se realizó el panel sensorial de agrado, en el laboratorio del panel sensorial de la Escuela de Tecnología de Alimentos, de la Universidad de Costa Rica, sede Rodrigo Facio en San Pedro de Montes de Oca, San José.

Las muestras permanecieron en congelación debidamente realizada a una temperatura de -16°C alrededor de 7 meses en la Planta Piloto del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) dentro de las instalaciones de la Universidad de Costa Rica. Este tiempo en congelación no afectó la calidad de la carne pues, en ningún momento se interfirió en la cadena de frío y una congelación bien realizada puede sostener la calidad de la carne hasta dos años, aunque usualmente por aspectos de rentabilidad comercial se emplean periodos que rondan algunos meses inclusive (Chacón 2019).

4.2 Materia Prima

Se utilizaron reproductores pesados, 5 hembras y 5 machos de las líneas genéticas Ross y 5 hembras y 5 machos de la línea genética Cobb así como un grupo control de 8 pollos de engorde comercial, provenientes de la empresa Pollo Rey ubicada en Ciruelas de Alajuela. Dicha empresa pertenece a la División Industrial Pecuaria de la Corporación Multiinversiones (DIPCMI). Esta empresa se encargó del sacrificio y manejo *post mortem* de las aves, facilitando las pechugas y muslos deshuesados que se emplearon como sujetos de estudio para el presente proyecto.

La selección de los sujetos en estudio se realizó completamente al azar y se dio seguimiento cada uno de los individuos elegidos desde su llegada al andén hasta que terminó el proceso dentro de la planta de cosecha con el fin de tener datos de su peso vivo y peso en canal. Posteriormente se hizo la recolecta de las partes de interés, muslo y pechuga deshuesados. Todos los reproductores pesados tenían 65 semanas de edad al momento de cosecha y un peso vivo aproximado de 3,5 kg para el grupo de hembras de la línea genética Ross y 4,3 kg para los machos de la misma línea genética. En el caso de la línea genética Cobb 4 kg para las hembras

y 4,1 kg para los machos. El grupo control que fue el pollo de engorde comercial, se obtuvo pesos promedio de 1,9 kg a 42 días de edad. Los mismos se pesaron en el andén de la planta de cosecha de Pollo Rey.

El procedimiento de colgado inició con la colocación de los animales boca abajo (colgando de sus patas) y con la pechuga apoyada a una banda para luego proceder al aturdimiento con corriente eléctrica seguido del desangrado (degollado). Posteriormente, se procedió con el desplumado y corte de cabeza y patas, luego el eviscerado y limpieza de la canal y en seguida se hizo una inmersión en agua fría (4°C) en un equipo llamado “chiller” por un período de una hora.

Se realizó una excepción con respecto al proceso anterior en el caso de los machos reproductores pesados de ambas líneas genéticas pues, estos al ser animales mucho más grandes que las hembras reproductoras pesadas y que el pollo de engorde comercial, ingresan a la planta de cosecha se hace el proceso de insensibilización y desangrado y la canal pasa a la desplumadora donde posteriormente se detiene el proceso secuencial automatizado. Más adelante se procedió a hacer todo el proceso de limpieza de la canal y obtención de las partes de interés, manualmente.

La diferencia en el manejo de machos y hembras reproductores pesados radicó, además del tamaño diferenciado de los machos, en que los mismos no son utilizados actualmente en esta planta para consumo humano, sino que son enviados a *rendering*.

El almacenamiento de los cinco grupos de estudio en la planta de Pollo Rey se llevó a cabo en cámaras de frío a una temperatura de -35°C donde se asegura que las canales permanezcan a -18°C durante aproximadamente 4 meses. El proceso de cosecha desde el aturdimiento hasta la obtención de la canal dura aproximadamente una hora y treinta minutos.

Para el estudio se utilizó solamente el muslo deshuesado y filete de pechuga de cada uno de los cinco grupos en estudio. Los grupos experimentales se sometieron a una tabla militar para la escogencia al azar de las muestras que se podían procesar según la capacidad del laboratorio, pues se contaba con 61 muestras de los cinco grupos de estudio. Sin embargo, no se tenía el tiempo necesario para trabajar con las mismas por lo que los resultados arrojados con la tabla militar fueron que se debía trabajar con 5 machos y 5 hembras Cobb, 5 machos y 5 hembras

Ross y con 8 pollos de engorde para obtener un 95% de nivel de confianza. Las muestras se trasladaron congeladas en una hielera desde la planta de cosecha de la empresa Pollo Rey hasta la Planta Piloto del CITA, donde permanecieron congeladas a una temperatura de -15°C en bolsas suministradas por la empresa.

4.3 Análisis estadístico de los resultados

Para las variables de concentración (proteína sarcoplasmática, proteína miofibrilar, colágeno y humedad), dado que no siguen una distribución normal, fueron analizadas mediante un modelo lineal generalizado *beta*, con función de enlace logito, usando el paquete *betareg* (Cribari-Neto y Zeilis, 2010). Los valores de las submuestras para cada muestra fueron agrupadas para obtener el promedio y así evitar problemas de pseudorreplicación, ya que no se contaba con la posibilidad de realizar un modelo jerárquico con respuesta *beta*. Por tanto, el modelo final utilizado presenta la siguiente forma:

$$\text{logit}(\pi_{ijk}) = \mu + T_i + P_j + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

π_{ijk} corresponde a la concentración promedio del analito en la k-ésima muestra, de la j-ésima parte y del tratamiento i-ésimo.

μ es el promedio general de concentración.

T_i corresponde a al efecto del i-ésimo tratamiento de tipo de ave ($i = \{\text{Pollo engorde, Gallina Cobb, Gallina Ross, Gallo Cobb, Gallo Ross}\}$).

P_j corresponde al efecto de la j-ésima pieza del ave ($j = \{\text{muslo, pechuga}\}$).

ϵ_{ijk} corresponde al error aleatorio de correspondiente a la muestra k, de la pieza j del tratamiento i.

La variable capacidad de retención de agua (CRA) fue analizada con un modelo lineal generalizado *beta*, similar al anterior excepto porque no se incluyó el efecto de la pieza, ya que los valores obtenidos para cada muestra corresponden al acumulado de la pechuga y el muslo. Las variables pH, así como los componentes del color (L^*, a^*, b^*) fueron analizadas mediante el siguiente modelo jerárquico con variable de respuesta normal:

$$Y_{ijk(l)} = \mu + T_i + P_j + m_k + \epsilon_{ijk(l)}$$

Donde:

$Y_{ijk(l)}$ corresponde a la observación obtenida en la l-ésima submuestra de la k-ésima muestra, de la j-ésima parte y del tratamiento i-ésimo.

μ es el promedio general de concentración.

T_i corresponde a al efecto del i-ésimo tratamiento de tipo de ave ($i = \{\text{Pollo engorde, Gallina Cobb, Gallina Ross, Gallo Cobb, Gallo Ross}\}$).

P_j corresponde al efecto de la j-ésima pieza del ave ($j = \{\text{muslo, pechuga}\}$).

m_j corresponde al efecto aleatorio de la k-ésima muestra ($j = \{\text{muslo, pechuga}\}$)

$\epsilon_{ijk(l)}$ corresponde al error aleatorio de correspondiente a la submuestra l, anidada en la muestra k, de la pieza j, del tratamiento i.

El modelo anterior fue ajustado mediante la función `lmer()` del paquete `lme4` (Bates et al. 2015) para las variables pH, L, A y B, sin embargo, para DE fue necesario utilizar la función `lme()` del paquete `nlme` (Pinheiro et al. 2018) ya que presentaba problemas de estabilidad de las varianzas que requirieron el uso de ponderaciones.

Finalmente, las variables fuerza de corte, dureza, cohesividad, masticabilidad y elasticidad fueron analizadas usando un modelo lineal con variable de respuesta normal:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + P_j + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} corresponde a la observación obtenida en la k-ésima muestra, de la j-ésima parte y del tratamiento i-ésimo.

μ es el promedio general de concentración.

T_i corresponde a al efecto del i-ésimo tratamiento de tipo de ave ($i = \{\text{Pollo engorde, Gallina Cobb, Gallina Ross, Gallo Cobb, Gallo Ross}\}$).

P_j corresponde al efecto de la j-ésima pieza del ave ($j = \{\text{muslo, pechuga}\}$).

ϵ_{ijk} corresponde al error aleatorio de correspondiente a la muestra k, de la pieza j, del tratamiento i.

Estas variables presentaron problemas de heteroscedasticidad, por lo cual el modelo indicado se ajustó mediante el método de mínimos cuadrados generalizados, usando la función de `gls()` del paquete `nlme` (Pinheiro et al. 2018).

Posterior al ajuste del modelo correspondiente, la comparación de medias se realizó mediante contrastes ortogonales preestablecidos. Los valores “p” de dichas comparaciones fueron ajustados por comparaciones múltiples para alcanzar un nivel de significancia global de 0,05 de acuerdo con la prueba de *Scheffé* (Lenth 2019).

Todos los paquetes mencionados funcionan sobre el lenguaje de programación estadística R, versión 3.5.1 (R Core Team, 2018).

4.4 Análisis Químico de la Carne

4.4.1 Determinación del color

La determinación del color de la carne se hizo por medio del uso del colorímetro ColourFlex® modelo 430 de HunterLab. Determinando los parámetros L^* (claro = Luminosidad), a^* (rojizo = coordenada rojo – verde) y b^* (amarillento = azul - amarillo) basándose en la escala de color de CIE $L^*a^*b^*$ (Onega 2003, Braña et al. 2011, Soler y Mateos 2011).

Antes de utilizar el colorímetro se realizó una calibración del equipo mediante el uso de un patrón negro, luego uno blanco y se corroboró la calibración mediante el uso de una teja patrón de color verde. Dicha calibración se llevó a cabo siguiendo las directrices del laboratorio de Química de la Escuela de Tecnología de Alimentos basadas en el uso del equipo.

Se colocó una muestra de carne licuada en un recipiente cilíndrico de vidrio transparente y se midieron 3 réplicas del filete de pechuga y de muslo deshuesado de cada uno de los individuos en estudio. Se compararon los resultados obtenidos de los reproductores contra los datos obtenidos del grupo control el cual está conformado por pollos de engorde de la línea genética Cobb.

4.4.2 Determinación de la Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Para la determinación de la CRA, diferentes autores recomiendan distintos métodos por ejemplo la “Compresión en papel filtro” (Ramírez 2004) o el “Método de centrifugación” (Braña et al. 2011). Sin embargo, por fácil manejo y porque el agua extracelular es la más sencilla de

obtener, la CRA se midió con el método de “Pérdida por goteo” el cuál consistió en recolectar el agua perdida en el proceso de descongelación y posteriormente medirla con equipo volumétrico.

Se colocó la muestra en refrigeración a una temperatura entre 0 y 5°C para proceder a descongelarla por un período aproximado de 3 días. En recipientes individuales, se recolectó el lixiviado que se perdió producto de la descongelación de la pieza.

La CRA se determinó como los gramos de agua dividida entre los gramos del músculo en porcentaje, utilizando la siguiente ecuación:

$$CRA = \left(\frac{g \text{ de agua}}{g \text{ de carne}} \right) \times 100$$

4.4.3 Determinación del pH

Las determinaciones de pH fueron realizadas tanto en pechuga como en muslo de dos líneas genéticas de reproductores pesados contemplando macho y hembra, y en comparación con el pollo de engorde (grupo control), mediante el uso de un pHmetro de penetración previamente calibrado.

4.4.4 Determinación de la textura

Para este análisis se realizaron dos tipos de ensayo, fuerza o resistencia al corte mediante el uso de la cuchilla de Warner-Bratzler y test de compresión para el análisis de perfil de textura (TPA) (Onega 2003).

4.4.4.1 Análisis de perfil de textura (TPA)

Este parámetro se determinó empleando un aparato denominado texturómetro, el cual utilizó una cuchilla de Warner-Bratzler sobre la muestra de 1 cm de arista (Chacón 2000, Cubero et al. 2013, Pineda 2017, Onega 2003).

Esta prueba se hizo con pechugas y muslos cocidos y para ello se siguió el procedimiento citado por Braña et al. (2011) y Onega (2003) realizado en horno precalentado a 165°C. Se introdujeron las piezas en bandejas tapadas con papel aluminio y se monitoreó el centro de las piezas hasta que alcanzaran una temperatura de 70°C.

Se realizaron 6 réplicas de cada una de las partes (pechuga y muslo) de los cinco grupos en estudio y las mismas se cortaron en cubos de 1cm de arista para la determinación de la fuerza de corte, mediante el uso de la cuchilla de Warner-Bratzler. El corte se realizó a 90° con respecto a la dirección de las fibras cuidando siempre que en el cubo de la muestra no hubiese nervios, cartílagos u otros tejidos que pudiese afectar la medición (Chacón 2000, Cubero et al. 2013, Braña et al. 2011y Pineda 2017).

Antes de proceder con la medición se introdujeron los parámetros a seguir en el software del equipo, tales parámetros se pueden ver en el siguiente Cuadro 4.

Cuadro 4. Parámetros de medición para la prueba de fuerza de corte mediante el uso de la cuchilla Warner-Bratzler.

Condición	Valor
Velocidad pre-ensayo	2,0 mm/s
Velocidad durante el ensayo	2,0 mm/s
Velocidad post-ensayo	10,0 mm/s
Distancia	30 mm
Tipo de gatillo	Auto – 20 g
Modo de tarado	Auto
Tasa de adquisición de datos	200 pps

Fuente: Adaptado de Onega (2003)

Se realizó el análisis de TPA en la carne de los reproductores pesados y pollo de engorde con el texturómetro, mediante el uso de una sonda cilíndrica de aluminio de 25 mm de diámetro. Con ella, se ejerce presión en un ciclo doble, con una diferencia de 5 segundos entre compresiones, sobre la muestra de 1 cm de arista (Pineda 2017, Onega 2003). El análisis de

TPA abarca la obtención de datos de masticabilidad y cohesividad los cuales se van a analizar en la sección de resultados.

Se realizaron 6 réplicas de cada uno de las partes (pechuga y muslo). En este análisis, fue fundamental el tamaño, forma y dirección de las fibras de la muestra al momento de la realización del ensayo (Braña et al. 2011, Ramírez 2004 y Pineda 2017).

Al igual que para el test de fuerza de corte, la carne debía estar cocinada por lo que se utilizó el mismo método de cocción anteriormente descrito y antes de hacer los análisis en el texturómetro, se debió introducir en él, las condiciones de operación, mismas que se pueden ver en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Parámetros de medición para la prueba de perfil de textura mediante el uso de una sonda de aluminio.

Condición	Valor
Velocidad pre-ensayo	1,0 mm/s
Velocidad durante el ensayo	1,0 mm/s
Velocidad post-ensayo	1,0 mm/s
Distancia	5 mm
Tiempo (entre compresiones)	5,00 s
Tipo de gatillo	Auto – 20 g
Modo de tarado	Auto
Tasa de adquisición de datos	200s

4.4.5 Determinación del porcentaje de humedad

Se determinó el contenido de humedad en la pechuga y el muslo de los reproductores pesados y del pollo de engorde comercial con el método de estufa de convección (Herrera et al. 2008, Braña et al. 2011).

Se colocaron 30g de muestra por triplicado en cápsulas de metal, previamente pesadas en una estufa a 100°C por un período de 8 horas, hasta llegar a una masa constante. Posteriormente se colocaron en un secador por 20 minutos y se procedió a pesarlas nuevamente y obtener, por

diferencias de masas, el porcentaje de humedad de la carne de reproductores pesados y el pollo de engorde.

4.4.6 Determinación de las fracciones de proteína

Se siguió el procedimiento propuesto por Herrera et al. (2008) donde se obtiene la separación de las fracciones de proteína mediante el uso de dos disoluciones amortiguadoras de fosfatos a dos diferentes concentraciones: 0,05M y 0,5M. Las disoluciones son adicionadas en un volumen de 25 mL por triplicado en tubos de centrifuga, los cuales se llevan a la centrifuga a 4000 rpm, tres veces, por 10 minutos. El sobrenadante que se obtiene, se coloca separadamente en balones aforados de 100 mL en los cuales, después del ciclo por triplicado en la centrifuga, se aforan con agua destilada y de cada uno de los balones se extraen alícuotas de 1 mL. Estas alícuotas se colocan en tubos de ensayo adicionando a su vez 5 mL de reactivo de Biuret y 4 mL de una disolución de tartrato alcalino y las mediciones se comparan con una curva de calibración contra una disolución patrón.

Con el uso de la disolución amortiguadora de fosfatos 0,05M y por medio de la medición espectrofotométrica por el método de biuret, se obtuvo el contenido de proteínas sarcoplasmáticas. Además, con la disolución amortiguadora de fosfatos 0,5M y bajo el mismo proceso se obtuvo el contenido de proteínas miofibrilares adicionando un lavado con 5 mL de una disolución de NaOH 0,1 M. Las proteínas del estroma se cuantificaron mediante el método de gravimetría como el residuo de ambas extracciones (Herrera et al. 2008, Chacón 2005).

4.4.6.1 Determinación de colágeno

El residuo que se obtuvo después de la extracción de las proteínas sarcoplasmáticas y miofibrilares es donde se va a encontrar la cantidad de colágeno.

Para la obtención del mismo se procedió a centrifugar 3 veces dicho residuo con 3 disoluciones diferentes de agua, etanol y acetona a un volumen de 25 mL. Mismo que posteriormente se llevó a una estufa a 55°C por un lapso de 4 horas y después se pesó y se determinó por diferencia de masas el contenido de colágeno.

4.3.7. Análisis sensorial de agrado

En panel sensorial se evaluó el agrado general de la carne de pechuga de reproductoras pesadas de la línea genética Cobb en comparación con la carne de pechuga de pollo de engorde de la línea genética Cobb en diferentes consumidores de esta carne. Se trabajó solamente con la línea genética Cobb en reproductoras pesadas por una cuestión de disponibilidad de la carne pues se tuvo que conseguir muestras más frescas de la misma debido a signo de deterioro en las muestras iniciales.

Se escogió realizar el panel sensorial de agrado con la pechuga, debido a los resultados obtenidos con el análisis de textura, ya que es la parte que presentó menor fuerza al corte, como lo reportan Badui (2006), Chacón (2004), Mercado (2015), Rodríguez y Magro (2008) y Sindik et al. (2012), a nivel general las personas tienen preferencia por carnes más suaves que aquellas que requieren mayor tiempo de masticación. Esto permitió un ahorro de tiempo y dinero en la ejecución del panel sensorial, por cuanto que las piezas de mayor dureza eran las que probablemente iban a presentar un agrado menor. Como se verá más adelante, esta fue una decisión acertada al considerar los resultados de agrado obtenidos.

Las pruebas se realizaron en cubículos individuales con luz blanca y cada uno de ellos contaba con su respectiva computadora donde se disponía a hacer la evaluación del agrado de la muestra de pechuga de pollo de engorde y pechuga del reproductor pesado. Las muestras fueron cubos de 10 gramos tanto de pollo de engorde como del reproductor pesado y se ofrecieron a 91 personas consumidoras de carne de pollo.

Las muestras se cocinaron sin adicionar ningún condimento que pudiera interferir en la textura de la carne o en el agrado, en un horno convencional a 250°C como se muestra en la Figura 3. La temperatura se monitoreó empleando un termómetro de termocuplas directamente insertadas en el centro de la pieza, hasta que reportara un valor de 70°C. Una vez cocinada se procedió a cortar piezas de 10 gramos de peso para ofrecerlas a los panelistas en platos plásticos previamente numerados, pollo de engorde: 215 y reproductor pesado: 618 y además a cada panelista se le ofreció un vaso con agua y otro adicional para expectorar entre una muestra y otra. Se efectuó una prueba de *t'student* para las medias del agrado general obtenido por medio de un panel sensorial en función del tipo de ave del que provino la carne a evaluar. Este tipo de

ave se clasificó en dos grupos, grupo control y un grupo experimental compuesto por reproductoras pesadas.



Figura 3. Horno convencional donde se cocinaron las muestras de carne de pollo de engorde y reproductores pesados. (Elaboración propia)

Todas las muestras estaban numeradas y la presentación de las mismas variaba con el cambio de un panelista a otro con la finalidad de que desconocieran el origen de las mismas. A lo largo del proceso se cuidó que las muestras no se confundieran y así poder asegurar la veracidad de los datos obtenidos. Además, la muestra se debía ofrecer caliente pues no se quería que la temperatura fuera un factor que afectase el agrado de los panelistas. Para mantener las piezas calientes se colocaron en papel aluminio encima de la cocina para que el mismo calor del horno las mantuviera calientes.

Los panelistas en sus respectivos cubículos recibieron una explicación breve del orden que debían seguir para probar las muestras y posteriormente calificarlas, tal como se muestra en la Figura 4. El programa de computación que se les presentaba en la pantalla tenía una escala estructurada de 10 cm donde había un extremo de 0 cm “desagradable”, un punto intermedio a los 5 cm “indiferente” y un extremo de “agradable” a los 10 cm, pudiendo las personas seleccionar cualquier posición a lo largo de la línea según su agrado.



Figura 4. Asistentes de laboratorio dando instrucciones a los diferentes panelistas. (Elaboración propia)

4.3.7.1. Obtención de los resultados del Panel Sensorial de Agrado

Los 91 datos obtenidos se exportaron del programa del laboratorio a un documento de Excel para ser analizados. Se establecieron cuatro rangos para poder clasificar los datos en diferentes grupos, el primero de ellos fue “muy desagradable” otorgando una nota menor a 2,5, el segundo “desagradable” denotando valores entre 2,51 y 5,0, el tercero “agradable” proporcionando una nota entre 5,01 y 7.5 y por último, “muy agradable” dando una nota entre 7,51 y 10,0. Posteriormente se cuantificaron los datos y se clasificaron en los cuatro diferentes grupos de rangos propuestos y se procedió a sacar los porcentajes con respecto al total de los datos obtenidos inicialmente. Debido a que los resultados obtenidos de las notas proporcionadas por los 91 panelistas fueron muy claros, no hubo necesidad de someter los datos a un análisis estadístico inferencial más elaborado.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los reproductores pesados de las líneas genéticas Cobb y Ross utilizados en el experimento fueron sacrificados a las 65 semanas de edad, los rendimientos de canales obtenidos según los datos recopilados de cada uno de los grupos en estudio fueron los siguientes: 80,21% para gallina y 80,52% para gallo, ambos de la línea genética Ross, 84,71% para gallina y para gallo 77,36% ambos de la línea genética Cobb y un 82,86% para pollo de engorde. La composición de la carne de los mismos y sus características físicas y químicas se presenta en cada una de las secciones de este capítulo.

5.1. Color

Según los resultados obtenidos se observa que para los parámetros L^* (luminosidad), a^* (enrojecimiento) hay diferencias significativas entre muslo y pechuga de cada grupo en estudio, siendo que se reporta un valor de "p" $<0,001$ para cada uno de ellos. Para el parámetro b^* (amarillento) se encontraron diferencias significativas en la pieza en estudio de los grupos de gallina Cobb y pollo de engorde, ambos con $p=0,001$. En el grupo experimental de gallo Ross se puede observar que existe una tendencia ($p=0,07$) a que la pechuga es más amarillenta que el muslo. En el Cuadro 6 se pueden apreciar los resultados arrojados con el análisis estadístico.

Cuadro 6. Resultados promedio obtenidos para los parámetros L^* , a^* y b^* mediante el uso el colorímetro.

Parámetros	Pieza en estudio	Grupos en estudio				
		Gallina Cobb	Gallina Ross	Gallo Cobb	Gallo Ross	Pollo Engorde
L^*	Muslo	55,16	51,43	46,44	46,93	63,79
	Pechuga	66,97	65,42	61,13	65,87	66,55
Valor de "p"	Muslo vs Pechuga	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	0,001
a^*	Muslo	7,79	11,55	11,60	9,33	6,17
	Pechuga	2,32	4,61	6,07	4,63	4,54
Valor de "p"	Muslo vs Pechuga	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$
b^*	Muslo	19,92	20,32	17,20	15,88	21,64
	Pechuga	18,82	19,79	17,23	16,50	22,50
Valor de "p"	Muslo vs Pechuga	0,001	0,114	0,927	0,070	0,001

En los diferentes contrastes que se realizaron se obtuvo que para los parámetros L^* , a^* y b^* hay diferencias significativas ($p < 0,001$) para la parte del muslo entre pollo de engorde y los otros grupos en estudio, lo que indica que el muslo de pollo de engorde es más blanco, menos rojizo y más amarillento que el de los reproductores. En lo que respecta a la pechuga en el mismo contraste, se obtuvo que hay diferencias significativas ($p < 0,001$) solamente en el parámetro b^* lo que indica que la pechuga de pollo de engorde es más amarillenta que la pechuga de los reproductores pesados. Los cambios de color en la carne de pollo de engorde en comparación con la carne de los reproductores pesados se pueden explicar por la diferencia de edad entre los mismos pues la edad, es uno de los factores que afecta el color en la carne (Akbar et al. 2017).

En el contraste por sexos (Gallina vs Gallo) se puede apreciar que para el parámetro L^* solo se encontraron diferencias significativas para el muslo ($p = 0,001$), también hay diferencias significativas para el parámetro b^* en muslo y pechuga con un valor de “p” $< 0,001$ para ambas partes y en lo que respecta al parámetro a^* no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las partes. Esto indica que el muslo de la carne de gallina es más blanco y más amarillento que la carne de los gallos. El sexo es otro de los parámetros explicados por Akbar y otros colaboradores (2017) que tiene injerencia en la coloración de la carne.

Otro de los contrastes que se evaluó fue el de líneas genéticas (Cobb vs Ross) donde la estadística de los datos arrojó que no hay diferencias significativas según parte entre las líneas genéticas. Y para el contraste de sexo en las diferentes líneas genéticas (sexo por línea genética) se encontraron diferencias significativas ($p = 0,02$) para el parámetro a^* (enorojecimiento) para el muslo, donde se puede interpretar que esta variable no se vio afectada por el sexo ($p = 0,91$) ni por la línea genética ($p = 0,92$), sin embargo, la interacción entre ambos factores fue significativa ($p = 0,02$) pues las gallinas de la línea Ross (11,55) presentaron valores promedio similares a los de gallo Cobb (11,60). Por su parte, las gallinas Cobb (7,79) y gallo Ross (9,33) tuvieron promedios más bajos. Dichos resultados se pueden apreciar en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Valores de “p” de diferentes comparaciones de los grupos en estudio para los parámetros L^* , a^* y b^* del análisis de color.

Parámetros	Pieza en estudio	Contrastes			
		Pollo vs Reproductores	Gallina vs Gallo	Cobb vs Ross	Sexo por Línea genética
L^*	Muslo	<0,001	0,001	0,841	0,670
	Pechuga	0,749	0,436	0,848	0,282
a^*	Muslo	<0,001	0,907	0,925	0,015
	Pechuga	1,000	0,253	0,990	0,262
b^*	Muslo	<0,001	<0,001	0,889	0,423
	Pechuga	<0,001	<0,001	0,999	0,438

Según los datos obtenidos para los parámetros L^* y a^* se puede determinar que la pechuga de los reproductores pesados es una carne con una apariencia comparable a piezas que se encuentran normalmente en el mercado y que son de aceptación por el consumidor, lo que es un indicador muy importante porque es con base en esta característica que el consumidor decide si comprar o no la carne (Castañeda et al. 2013). La diferencia recae en el parámetro b^* donde se nota una diferencia grande en el color amarillento de la pieza.

Según estudios por parte de la USDA (2008), la carne puede cambiar de blanco azulado a amarillo (parámetro b^*), es aceptable una variación de color y están relacionados con la especie, edad y dieta. En un estudio por parte de Ramírez (2004) se demuestra que el color de la carne, varía por especie y por el tipo de músculo debido a su función, oxigenación, entre otros, así como la raza, condiciones de cría o condiciones climáticas.

El color de la pechuga en su superficie no depende de la presencia de la forma oxigenada de los pigmentos en la alimentación y esa es la razón por la cual hay pocos cambios durante el almacenamiento (Ripoll 2014).

5.2. Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Marón y Zamorano (2004) reportan que la carne de pollo tiene mayor pérdida por goteo que la carne de cerdo y avestruz. Debido a la variabilidad de las muestras, por no ser un método que se mide instrumentalmente, sino que cada pieza se comporta bioquímicamente diferente, cada

individuo va dar un resultado distinto y por ello no se pueden establecer diferencias significativas. Dichos resultados se pueden ver en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Valores de promedio del lixiviado de muslo y pechuga conjuntamente, recolectado para cada uno de los grupos experimentales.

Parámetro	Grupos en estudio				
	Gallina Cobb	Gallina Ross	Gallo Cobb	Gallo Ross	Pollo Engorde
CRA (%)	0,72	0,56	0,64	0,51	0,56

Cuando se grafican los promedios se puede observar que hay una tendencia a que machos y hembras de la línea genética Ross tengan un CRA más bajo que los otros grupos experimentales y el grupo control y machos y hembras de la línea genética Cobb tienden a tener valores más altos. Lo anterior se puede apreciar en la Figura 5.

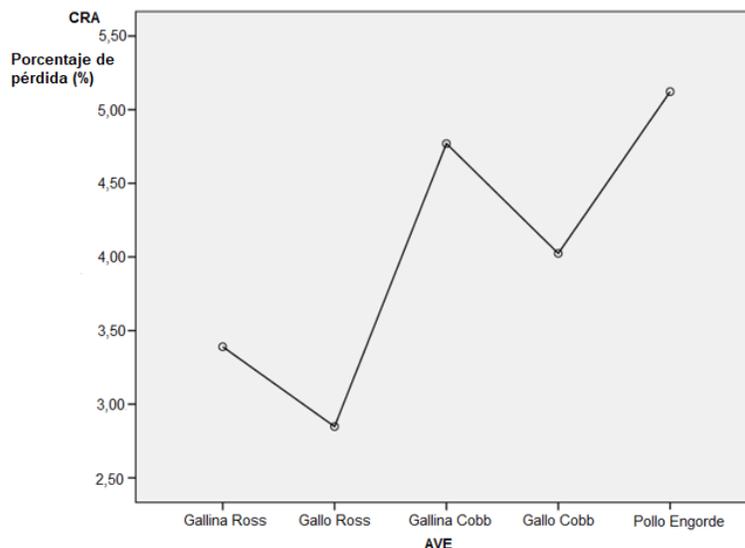


Figura 5. Comparación de las medias de la CRA de los grupos experimentales y grupo control.

Por lo tanto, para poder establecer con mayor claridad el comportamiento de la CRA en futuros estudios se debe realizar el mismo con mayor cantidad de muestras para disminuir la variabilidad y aplicar otros métodos para obtener resultados satisfactorios y compararlos con los del presente estudio.

5.3. Análisis de Perfil de Textura

Los datos que se presentan en el Cuadro 9 son los resultados obtenidos para el parámetro fuerza de corte en los diferentes grupos experimentales. Se puede apreciar que en el grupo de gallina y gallo de la línea genética Ross ($p < 0,001$) y gallo Cobb ($p = 0,001$) hay diferencias significativas entre las partes en estudio (muslo y pechuga). Según Akbar y otros autores (2017) el agua fuertemente unida a las proteínas del músculo tiene un efecto de inflamación en ellas ocupando los espacios entre las miofibrillas dando a la carne a la carne una estructura más firme y siendo que el presente estudio demuestra una tendencia a que la línea genética Ross presente una CRA más baja, es decir una carne con menor porcentaje de humedad, hace que no coincida con la literatura por lo que vuelve a respaldar la importancia de utilizar un método distinto para el análisis este análisis.

Este mismo autor respalda las diferencias de textura entre ambas piezas en estudio (muslo y pechuga) debido a la madurez de las aves (pollo de engorde más joven que reproductores pesados) y la cantidad de colágeno en la carne donde los resultados de este análisis se pueden apreciar más adelante en los Cuadros 18 y 19.

Cuadro 9. Resultados para el parámetro fuerza de corte de la carne de reproductores pesados en comparación con el pollo de engorde.

Parámetro	Pieza en estudio	Grupos en estudio				
		Gallina Cobb	Gallina Ross	Gallo Cobb	Gallo Ross	Pollo engorde
Fuerza de Corte (N)	Muslo	40,12	58,70	75,96	75,65	11,53
	Pechuga	38,83	20,18	46,93	35,71	12,98
Valor de "p"	Muslo vs Pechuga	0,827	<0,001	0,001	<0,001	0,563

En el Cuadro 10 se aprecian los contrastes que se realizaron para mayor comparación de los grupos experimentales donde se encontraron diferencias significativas entre el grupo control de pollo de engorde en comparación con los grupos experimentales de reproductores ($p < 0,001$) entre ambas piezas en estudio siendo que, el pollo de engorde reportó el dato más bajo de fuerza de corte con un valor de 11,53N para muslo y 12,98N para pechuga. Las gallinas Cobb y Ross presentaron datos intermedios con los valores 40,12N para muslo y 38,83N para pechuga y 58,70N para muslo y 20,18N para pechuga respectivamente. Estos valores son significativamente más altos que los valores reportados para pollo de engorde y

significativamente menores que los datos reportados para gallos Cobb y Ross los cuales fueron 75,96N para muslo y 46,93N para pechuga y 75,65N para muslo y 35,71N, respectivamente. Diferentes autores confirman en la literatura que lo anterior era de esperar debido a la edad a sacrificio del pollo de engorde (42 días) en comparación con la edad a sacrificio de los reproductores pesados (65 semanas) pues con la edad la red de colágeno dentro de las fibras musculares se hace más gruesa e intrincada (Chacón, 2019).

Con respecto a la comparación entre sexos, se puede ver con los datos de “p” reportados que para el muslo hay diferencias significativas con respecto a la pechuga, estos datos son razonables debido a que, al tener los cuatro grupos experimentales la misma edad a sacrificio, difieren los machos reproductores de las hembras reproductoras en que presentan estos primeros mayor actividad física y sexual, lo que provoca un mayor desarrollo de la musculatura. Apoyando la anterior información, se puede apreciar que los resultados de comparación entre muslo y pechuga son más altos los datos de muslo siendo que el muslo un músculo más desarrollado por la participación en la locomoción (Kokoszynski et al. 2016).

Entre líneas genéticas solamente se encontraron diferencias significativas ($p=0,01$) para la pechuga. No se encontraron diferencias significativas ni para muslo ($p=0,63$) ni para pechuga ($p=0,92$) según sexo por línea genética.

Cuadro 10. Resultados de los valores de “p” de los diferentes contrastes de los grupos experimentales para el parámetro fuerza de corte.

Parte	Pollo vs Reproductores	Gallina vs Gallo	Cobb vs Ross	Sexo por Línea Genética
Muslo	<0,001	0,002	0,657	0,628
Pechuga	<0,001	0,068	0,010	0,919

Con respecto a los resultados obtenidos del perfil de textura (TPA), para los parámetros de elasticidad y cohesividad se registró que hay diferencias significativas en los grupos en estudio de reproductores en cuanto a la comparación de las piezas en estudio (muslo y pechuga). Para el parámetro dureza no se encontraron diferencias significativas en cuanto a la comparación de la pieza en estudio de cada grupo experimental de reproductores excepto para el grupo control, donde se puede interpretar que el muslo de pollo de engorde presenta una dureza menor que la pechuga. Por último, para el parámetro de masticabilidad se observa que solamente se

encontraron diferencias significativas para el grupo de gallina Ross ($p=0,03$) en cuanto a la pieza en estudio, donde hay un valor de masticabilidad de 0,030N.m mayor en muslo que en pechuga. Dichos resultados se pueden observar en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Resultados de los valores promedio de los diferentes grupos en estudio para el parámetro de perfil de textura (TPA).

Parámetros	Pieza en estudio	Grupos en estudio				
		Gallina Cobb	Gallina Ross	Gallo Cobb	Gallo Ross	Pollo Engorde
Elasticidad (mm)	Muslo	3,610	3,39	3,430	3,610	3,370
	Pechuga	3,210	2,79	2,990	3,110	3,150
Valor de "p"	Muslo vs Pechuga	0,034	<0,001	0,005	0,008	0,143
Cohesividad	Muslo	3,610	3,39	3,430	3,610	3,370
	Pechuga	3,210	2,79	2,990	3,110	3,150
Valor de "p"	Muslo vs Pechuga	0,034	<0,001	0,005	0,008	0,143
Dureza (N)	Muslo	55,750	33,550	57,810	59,930	12,100
	Pechuga	60,450	30,240	53,420	52,470	22,530
Valor de "p"	Muslo vs Pechuga	0,696	0,556	0,695	0,516	0,007
Masticabilidad (N.m)	Muslo	0,130	0,080	0,140	0,150	0,020
	Pechuga	0,120	0,050	0,110	0,110	0,030
Valor de "p"	Muslo vs Pechuga	0,832	0,033	0,279	0,222	0,064

Aquellas muestras que presentaron valores más altos de cohesividad y masticabilidad se asocian como una percepción de mayor esfuerzo de masticación en la boca por lo cual puede presumirse que serán percibidos como más “duros” al ser consumidos.

En las Figuras 6 y 7 se observan ejemplos de las curvas promedio que se obtuvieron en el texturómetro para la fuerza de corte y TPA, respectivamente.

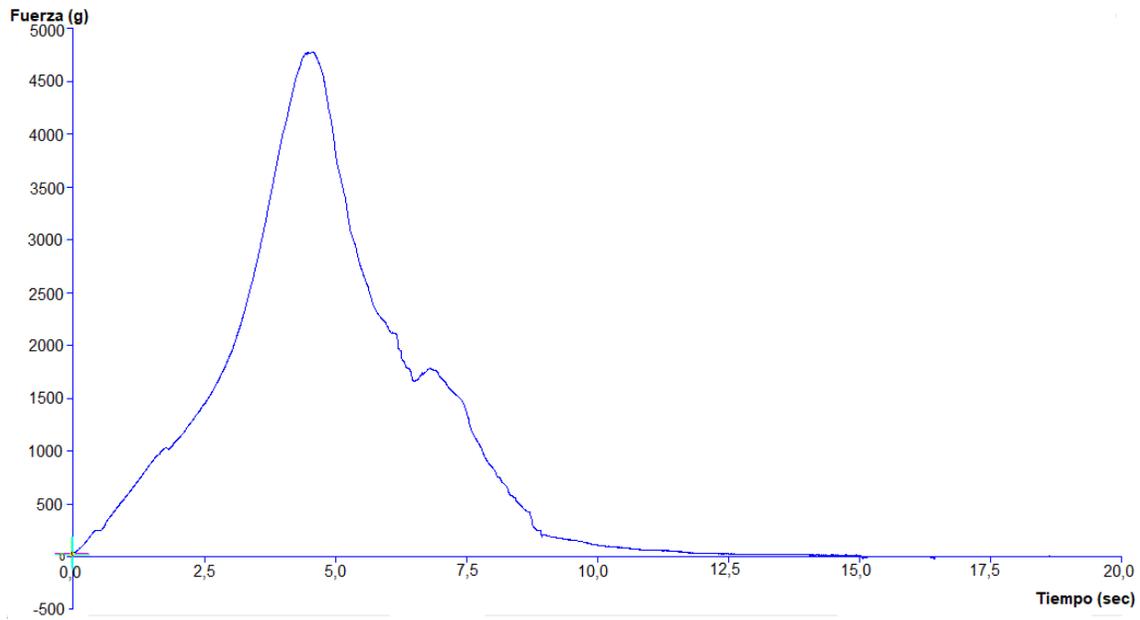


Figura 6. Gráfico de fuerza de corte promedio obtenido experimentalmente para muslo de un reproductor pesado.

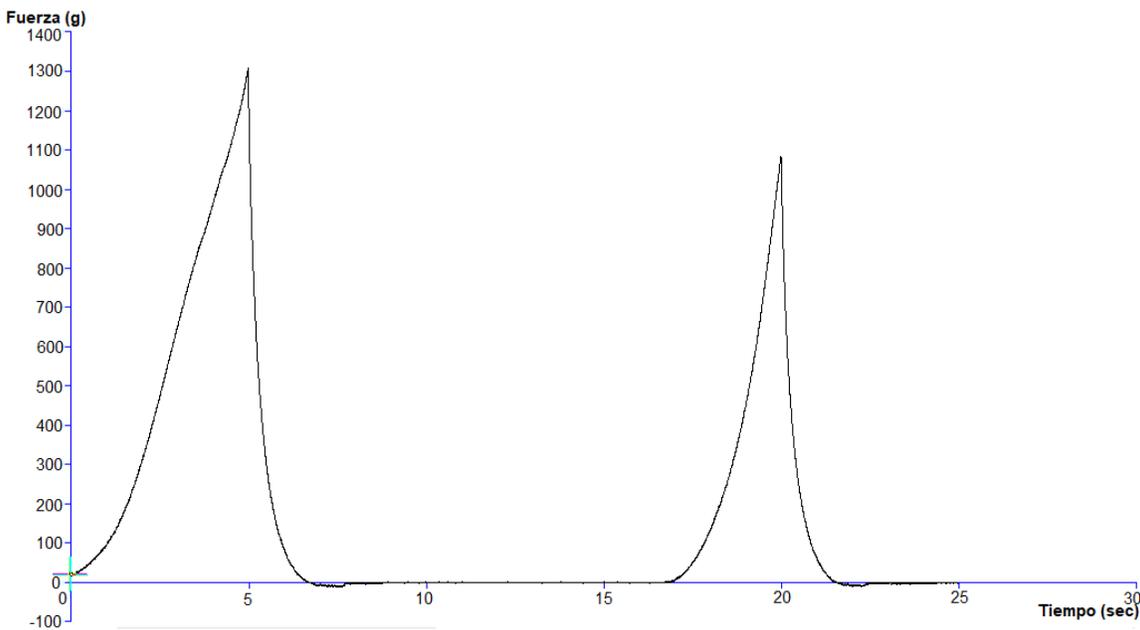


Figura 7. Gráfico de perfil de textura promedio obtenido experimentalmente en muslo de reproductor pesado.

5.4. pH

Es importante recalcar que las pruebas de pH se realizaron de 5 a 9 meses posterior al sacrificio manteniéndose las muestras en congelación durante ese período. Con el paso del

tiempo *post rigor* el pH puede ascender debido a los cambios naturales que suceden al inicio de la maduración. Por esta razón, es posible observar datos cercanos al límite superior del rango reportado para pollo de engorde, el cuál es el dato más cercano que se tiene a un reproductor pesado, en la literatura.

Algunos autores reportan que al culminar el proceso *post mortem* de la carne de pollo el valor de pH puede variar de 5,96 a 6,18 (Karaoglu et al. 2005, Gómez y Gómez 2013). Es importante recalcar que el pH se verá afectado también por factores como la genética, condiciones *pre*, durante y *post* cosecha y el momento de la medición *post mortem* (Cardinali et al. 2015, Dal Bosco et al. 2014, Hernández et al. 2015).

La prueba se hizo por triplicado e introduciendo el electrodo del pHmetro a una profundidad de 2 cm tanto en pechuga como en muslo de los diferentes grupos experimentales y el grupo control. Los resultados que se obtuvieron se pueden observar en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Resultados promedio obtenidos de pH mediante el uso de un pHmetro de penetración.

Parámetro	Pieza en estudio	Grupos en estudio				
		Gallina Cobb	Gallina Ross	Gallo Cobb	Gallo Ross	Pollo de Engorde
pH	Muslo	6,29	6,14	6,27	6,13	6,31
	Pechuga	5,87	5,86	5,93	5,81	6,02
Valor de "p"	Muslo vs Pechuga	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Se encontraron diferencias significativas del pH según la pieza en estudio ($p < 0,001$) en cada uno de los grupos en estudio, teniendo un resultado promedio para el muslo de 6,21 y para la pechuga de 5,87 de los reproductores, en comparación con los valores del pollo de engorde donde se reportó un valor de 6,31 para muslo y 6,02 para pechuga.

En un estudio por Cori et al. (2014) se reporta que al término del proceso *post mortem*, aproximadamente 24 horas *post* faenado, las canales de reproductores pesados y de pollo de engorde están presentando valores finales de pH de 5,70 para pechuga y de 5,90 para muslo. Por lo que era de esperar haber obtenido los resultados anteriormente mencionados pues el músculo del muslo es más activo que el de pechuga antes de la faena y las reservas de

glucógeno en el mismo eran menores al momento del sacrificio. Esto provocó a su vez un cambio menor en el pH del muslo en comparación con el músculo de la pechuga por ello, la pechuga reportó valores de pH más bajos que los valores del muslo. El manejo de situaciones como la cosecha y el transporte se efectuaron de manera tal que fueran muy similares a los que habitualmente se realizan en la industria, por lo cual se presume que tuvieron un impacto mínimo sobre las variables en estudio.

Otros autores reportan que esta diferencia de pH se puede deber a la restricción del movimiento de las piernas de las aves asociado a los ganchos donde se ubican los animales en el matadero. En otro estudio, lo que se reporta es que en codornices siendo un animal fácilmente excitable, en horas *antemortem* ésta es propensa a consumir el glucógeno muscular disponible en las piernas por lo que va a presentar valor de pH más altos en estos músculos en comparación con la pechuga donde es muy posible que almacene mayor cantidad de glucógeno, y por el aleteo intenso que ocurre al ser colocados en los ganchos desencadena el descenso rápido del pH *post mortem* (Cori et al. 2014, Genchev et al. 2005, Cori et al. 2011).

De igual manera para este análisis se hicieron una serie de contrastes entre los grupos en estudio donde se puede observar que no hay diferencias significativas en muslo ($p=0,61$) y pechuga ($p=0,21$) de los reproductores en comparación con las mismas piezas en estudio del grupo control. Asimismo, se puede observar que no hay diferencias significativas en cuanto a la comparación de muslo ($p=0,10$) y pechuga ($p=1,00$) de los diferentes sexos (gallina vs gallo), tampoco se encontraron diferencias significativas en lo que respecta a la comparación entre las líneas genéticas (Cobb vs Ross) ni sexo por línea genética, lo que se puede interpretar como que el valor de pH no depende ni del sexo ni de la línea, además, no hay interacciones entre las mismas. Dichos resultados se pueden apreciar en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Valores de “p” obtenidos para los diferentes contrastes de los cinco grupos experimentales.

Parámetro	Pieza en estudio	Contrastes			
		Pollo vs Reproductores	Gallina vs Gallo	Cobb vs Ross	Sexo por Línea Genética
pH	Muslo	0,613	0,999	0,386	1,000
	Pechuga	0,207	1,000	0,915	0,972

5.5. Humedad

En términos generales, los autores Onega (2003) y Kirk et al. (2006) reportan que los valores promedio para la carne o músculo magro son: 70% humedad, 20% proteína, 9% grasa, 1% cenizas y 160 Kcal/100g.

Los resultados que se obtuvieron para los grupos experimentales y el grupo control, de manera general se pueden apreciar en el Cuadro 14 donde los datos reportan que solamente hay diferencias significativas entre el muslo y la pechuga del grupo experimental de gallo Ross y del grupo control de pollo de engorde, esto quiere decir que se tiene un valor promedio de humedad más alto en el muslo de gallo Ross comparada con la pechuga del mismo grupo experimental y en el caso de pollo de engorde, la pieza que reporta más humedad es la pechuga.

Cuadro 14. Resultados de humedad para cada uno de los grupos experimentales con el método de estufa de convección.

Parámetro	Pieza en estudio	Gallina Cobb	Gallina Ross	Gallo Cobb	Gallo Ross	Pollo Engorde
Humedad	Muslo	71,22	71,28	71,92	75,57	71,98
	Pechuga	71,24	70,76	69,95	72,89	72,98
Valores de "p"	Muslo vs Pechuga	0,976	0,526	0,228	0,048	0,031

En promedio, la humedad para el muslo de los reproductores fue de 72,50% no presentando diferencias significativas ($p=0,91$) en comparación con el dato promedio del pollo de engorde el cual fue de 71,98%. El análisis de humedad para la pechuga arrojó resultados distintos, siendo que se encuentran diferencias significativas ($p=0,03$) entre los reproductores y el pollo de engorde, lo que indica que el pollo de engorde reporta un valor de humedad 1,77% mayor que el promedio reportado por los reproductores con un valor de 71,21%. Akbar y otros autores (2017) respaldan los resultados reportados debido a que a mayor CRA habrá mayor porcentaje de humedad presente en las carnes, y este estudio muestra tendencias de que los reproductores pesados en general presentan CRA's más bajas que los pollos de engorde lo que también está ligado a que a un menor valor de pH menor será la CRA. Dichos resultados se pueden ver en el Cuadro 15 donde se reportan los valores de "p" para los diferentes contrastes entre los grupos experimentales.

Cuadro 15. Valores de “p” para los diferentes contrastes realizados a los grupos experimentales.

Parámetro	Pieza en estudio	Pollo vs Reproductores	Gallina vs Gallo	Cobb vs Ross	Sexo por Línea Genética
Humedad	Muslo	0,914	0,098	0,362	0,401
	Pechuga	0,028	0,990	0,646	0,304

En el Cuadro 15 también se pueden observar comparaciones entre sexos (gallina vs gallo) donde no se encuentran diferencias significativas al igual que para el contraste entre líneas genéticas (Cobb vs Ross). Por último, con los datos reportados en el contraste entre sexo por línea genética, se puede interpretar que el valor de humedad no depende del sexo ni de la línea genética, además, no hay interacciones entre las mismas.

Ramírez (2004) reporta un valor de 72,7% de humedad en pollo de engorde. Akbar et al. (2017) menciona que la capacidad de retención de agua de la carne de pollo es directamente proporcional al valor de pH. Esta información viene a respaldar el dato ligeramente más bajo de humedad obtenido en el estudio debido a que al reportarse valores de pH más ácidos se observó como en las muestras existía menor humedad.

5.6. Proteína

La literatura reporta que en pollo de engorde en 100 gramos de carne se observan valores de 20% de proteína (Moreiras et al. 2013, Gallinger et al. 2016). Lo anterior resalta la importancia de este estudio pues es de los pocos que se pueden encontrar que hacen la diferencia y la caracterización de las proteínas de dicha carne. Para una adecuada caracterización de la carne, es necesario especificar el porcentaje de los tipos de proteína según su solubilidad. Dichas proteínas son: sarcoplasmática, miofibrilar y del estroma.

Del porcentaje de proteína, se obtuvo que no hay diferencias significativas entre la pieza en estudio (muslo y pechuga) de cada uno de los grupos experimentales. Dichos resultados se pueden observar en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Composición promedio de tipos de proteína en los grupos experimentales de reproductores pesados y el pollo de engorde.

Parámetros	Pieza en estudio	Grupos en estudio				
		Gallina Cobb	Gallina Ross	Gallo Cobb	Gallo Ross	Pollo Engorde
Sarcoplasmática (%)	Muslo	1,51	5,49	1,87	2,03	1,29
	Pechuga	1,43	4,42	1,94	1,99	1,09
Valores de "p"	Muslo vs Pechuga	0,917	0,511	0,936	0,971	0,790
Miofibrilar (%)	Muslo	1,73	4,53	1,90	2,04	1,60
	Pechuga	1,92	4,25	2,02	1,95	1,36
Valores de "p"	Muslo vs Pechuga	0,830	0,375	0,893	0,911	0,664

Para el análisis de las fracciones de proteína también se hicieron diferentes comparaciones entre los grupos experimentales con la finalidad de obtener mayor información del estudio estadístico realizado. Dichos resultados se pueden ver en el Cuadro 16, donde se puede observar que para la evaluación de la proteína sarcoplasmática no se encontraron diferencias significativas en el muslo ($p=0,23$) ni en la pechuga ($p=0,41$) de pollo de engorde en comparación con los reproductores pesados. De igual manera se interpretan los datos para la fracción de proteína miofibrilar, donde tampoco se encuentran diferencias significativas entre el grupo control de pollo de engorde y los grupos experimentales de reproductores en cuanto a la pieza en estudio de muslo ($p=0,39$) y pechuga ($p=0,18$).

En lo que respecta a los demás contrastes que se realizaron, donde se hace una comparación entre sexos (gallina vs gallo), líneas genéticas (Cobb vs Ross) y la interacción entre las variables anteriores (sexo por línea genética), no se encuentran diferencias significativas lo que se puede interpretar como que ambas fracciones de proteína no se ven afectadas ni por el sexo ni por la línea genética, además, no hay interacciones entre las mismas. Los resultados se pueden apreciar en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Valores de “p” para los diferentes contrastes entre los grupos experimentales.

Parámetros	Pieza en estudio	Grupos en estudio			
		Pollo vs Reproductores	Gallina vs Gallo	Cobb vs Ross	Sexo por Línea genética
Sarcoplasmática (%)	Muslo	0,258	0,571	0,266	0,348
	Pechuga	0,413	0,696	0,233	0,267
Miofibrilar (%)	Muslo	0,390	0,387	0,153	0,243
	Pechuga	0,179	0,355	0,329	0,265

Autores como Cori et al. (2014) reportan que el contenido de proteínas expresados como un porcentaje de la proteína total para pollos de engorde es el siguiente: $24,29 \pm 8,54\%$ sarcoplasmática y $2,49 \pm 1,03\%$ miofibrilar. Este es de los pocos estudios que muestran una determinación de estas fracciones proteicas. En el caso del presente estudio, las proteínas de reportan como un porcentaje dentro de la totalidad de la carne. Los autores en cuestión emplearon un método de Bradford que reportan el resultado de manera diferente al método de los buffers de fosfatos empleado en el presente estudio, por lo cual no se puede hacer una comparación directa entre los resultados. Es por este motivo que nos limitaremos a describir y discutir la información obtenida en este trabajo de tesis, al no contarse con valores de referencia equiparables a los obtenidos.

Con respecto a la proteína miofibrilar, es notable la diferencia que se obtuvo entre el grupo control y los grupos experimentales. Siendo así, y comparándolos con los datos obtenidos de textura y contenido de colágeno es que el uso de esta carne de reproductores pesados puede encontrar su mejor aplicación en embutidos, donde sus problemas inherentes de textura no representarían una limitante técnica.

5.6.1. Colágeno

La cantidad de colágeno es el primer factor de variación en la terneza de la carne pues se ha observado que existe una estrecha relación entre el contenido del mismo y la dureza del músculo. La edad, sexo y genotipo de los animales hacen que varíe la cantidad de colágeno y la resistencia con la que se entrelaza el mismo alrededor del músculo. Por ello, a medida que los animales maduran es de esperar que el proceso de proteólisis hidrolítica y su solubilidad disminuyan (Chacón 2004, Chacón 2005).

Los resultados obtenidos en el laboratorio de Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) se pueden observar en el Cuadro 18, los mismos levantaron sospecha de la confiabilidad de los datos obtenidos por muestras de deterioro en la carne por lo que se optó por enviar análisis al Laboratorio de Servicios Analíticos (LASA) de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, los cuales se pueden observar en el Cuadro 19, donde se confirmó el deterioro existente en la carne.

Dichos resultados presentan desviaciones en sus valores puntuales. Con respecto a lo usualmente esperado para aves, no obstante, si muestran claramente una tendencia a que los datos obtenidos para los reproductores pesados presentan un alto porcentaje de colágeno pues son animales muy maduros (65 semanas) en comparación al pollo de engorde el cual es sacrificado aproximadamente a los 42 días siendo animales aún muy jóvenes y su carne con una ternera mayor.

Cuadro 18. Resultados promedio obtenidos de las proteínas del estroma en la carne de reproductores pesados y pollo de engorde en el laboratorio del CITA.

Parámetro	Parte	Grupos en estudio				
		Gallina Cobb	Gallina Ross	Gallo Cobb	Gallo Ross	Pollo engorde
Proteínas del estroma (%)	Muslo	42,95	42,48	42,99	35,27	29,35
	Pechuga	37,40	33,78	27,59	35,37	26,12
Valor de "p"	Muslo vs Pechuga	0,541	0,021	0,024	0,989	0,135

Cuadro 19. Resultados obtenidos de las proteínas del estroma en la carne de reproductores pesados y pollo de engorde en el laboratorio LASA (2019).

Parámetro	Parte	Grupos en estudio				
		Gallina Cobb	Gallina Ross	Gallo Cobb	Gallo Ross	Pollo engorde
Proteínas del estroma (%)	Muslo	59	26	39	10,9	13
	Pechuga	14	9,4	4	11	4,3

5.7. Análisis sensorial de agrado

El objetivo principal de la realización del análisis sensorial de agrado, al cual asistieron 91 panelistas, fue determinar el nivel de agrado de una alternativa al pollo de engorde y la carne de reproductores pesados.

La prueba señala la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias para el agrado del grupo control ($m = 7,38$) y la media del agrado para las reproductoras pesadas ($m = 4,70$).

Un 49,45% de los panelistas le dieron a la carne de pollo de engorde una calificación de agrado igual o superior a una nota de 7,5 y un 32,97% una calificación entre 5 y 7,5 a la misma. En contraposición el 60,44% de los panelistas otorgó a la carne de las reproductoras pesadas una calificación igual o inferior a 5. La distribución porcentual completa se adjunta en el Cuadro 15. Esto quiere decir que para el grupo control hasta un 82,42% de los panelistas muestra actitudes que van de la indiferencia hacia el agrado, mientras que en el caso de las reproductoras pesadas la mayoría de los panelistas tienen actitudes que van desde la indiferencia al desagrado. En el Cuadro 19 se puede ver la totalidad de los datos obtenidos de los 91 panelistas.

Cuadro 20. Datos de los 91 panelistas clasificados según el nivel de agrado.

Nota de agrado	Grupo Control	Porcentaje (%)	Grupo Reproductoras	Porcentaje (%)
> 2,5	1	1,10	22	24,18
2,5 - 5	15	16,48	33	36,26
5 - 7,5	30	32,97	22	24,18
7,5 - 10	45	49,45	14	15,38
Total	91	100,00	91	100,00

Los resultados obtenidos coinciden con lo esperado con base en los resultados que arrojaron los análisis de textura y lo reportado por diferentes autores, tales como Onega (2003) y Mead (2004). Estos aseguran que la dureza es de los atributos que el consumidor valora como más importante dado que determina el valor comercial de la carne. Además, los mismos autores mencionan que la edad es un factor determinante de la suavidad de la carne, pues a mayor edad el entrelazado del colágeno va a aumentar y la cantidad del mismo (componente del tejido conectivo) determina la dureza de la carne. Hay que recordar que es un tejido que recubre las

fibras musculares y el conjunto de ellas provocando una mayor resistencia mecánica al corte y según lo menciona Braña et al. (2011) este atributo es de importancia comercial.

6. CONCLUSIONES

En general, la carne de reproductores pesados no presenta diferencias significativas en comparación con la carne de pollo en cuanto a los análisis de pH, CRA y humedad. Sin embargo, las diferencias en cuanto al color amarillento de ambas piezas en estudio, así como la luminosidad y enrojecimiento del muslo.

También se encontraron diferencias significativas en los análisis de textura, contenido de proteína y la fracción de colágeno son muy notorias entre los grupos de estudio y el control, pues al ser los grupos experimentales carne proveniente de reproductores pesados, quienes se sacrifican a la edad de 65 semanas, presentan altos valores de contenido de colágeno. Es sabido que la cantidad de colágeno es el primer factor de variación en la terneza de la carne, pues se ha observado que existe una estrecha relación entre el contenido del mismo y la dureza del músculo.

La carne de reproductores pesados presenta una tendencia a tener un alto contenido de colágeno comparado con la carne del pollo de engorde por lo que la hace una carne con alto potencial para ser utilizada en la elaboración de subproductos cárnicos como embutidos o formados. Esto con el fin de conseguir darle un uso diferenciado a la carne de reproductores pesados en la industria cárnica de consumo humano.

Además, esta carne presenta valores de contenido de proteína miofibrilar más altos que los valores que se obtuvieron de la carne de pollo de engorde. Una vez más, la carne de los mismos es preferible para la elaboración de productos cárnicos procesados como un porcentaje de su formulación pues la proteína miofibrilar cumple un papel fundamental en la formación de geles, es responsables de la capacidad de retención de agua, y de las propiedades emulsificantes y de la terneza de la carne.

Después de realizado el panel sensorial de agrado y con los resultados obtenidos del perfil de textura, se concluye que la carne de reproductores pesados no se debe comercializar para consumo directo o como una alternativa al consumo de carne de pollo; esta carne no cumple con las características esperadas del consumidor, entre ellas la suavidad.

7. RECOMENDACIONES

Con respecto a la determinación de la capacidad de retención de agua, se puedan realizar futuros estudios con una cantidad mayor de muestras para disminuir la variabilidad de los datos que se reportaron en el presente estudio.

Se recomienda efectuar los análisis para la cantidad de colágeno presente en los diferentes grupos experimentales, con un mayor número de muestras para reducir la variabilidad de los resultados, a la vez que se realicen con muestras de la mayor frescura posible.

Por su contenido de proteína miofibrilar, cantidad de colágeno y por los resultados que se obtuvieron con el análisis de textura y los obtenidos en el panel sensorial de agrado, se recomienda utilizar esta carne en la elaboración de productos de valor agregado como embutidos o formados debido a que la misma no cumple con las características de calidad y textura que los consumidores de carne de pollo buscan.

Para futuros estudios, se recomienda utilizar un método diferente (Kejeldahl o combustión) para la obtención de la proteína total de la carne de los reproductores pesados y posteriormente, con el método utilizado en este estudio, obtener las fracciones de proteína con respecto a la proteína total, esto con el fin de poder tener datos comparables con los reportados en la literatura.

Debido a los resultados que se obtuvieron de textura, se recomienda, en un futuro estudio, contemplar el efecto y si es viable el uso de compuestos químicos para suavizar la carne, por ejemplo, el Cloruro de Calcio (CaCl_2) de manera que se pueda consumir directamente sin necesidad de la elaboración de embutidos o formados.

8. LITERATURA CITADA

- AMSA. 1978. Guidelines for cookery and sensory evaluation of meat. Chicago.
- Andújar, G; Pérez, D; Venegas, O. 2003. Química y bioquímica de la carne y productos cárnicos. La Habana, Cuba, Editorial Universitaria. 113 p.
- AOAC. 2008. Official Methods of Analysis 18ed. Métodos 920.153 y 960.39. Maryland.
- Asociación Latinoamericana de Avicultura (ALA). 2019. Consultado el 17 de noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.avicolatina.com/estadisticas/pollo/datos-estadisticos-de-produccion-exportaciones-importaciones-y-consumo-hasta-2019>.
- Badui, S. 2006. Química de los alimentos. México. Pearson Educación. 736 p.
- Bates, D; Maechler, M; Bolker, B; Walker, S. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. Journal of Statistical Software, 67(1), 1-48p.
- Bilgili, S. 2017. Miopatias em frangos de corte. Brasil. Nutrição Animal.
- Bilgili, S; Hess, J. 2008. Enfermedades del Músculo Verde. Pautas para disminuir su incidencia em los lotes de broilers. Ross Tech 08/48. 8p.
- Boari, R; Chuard, N; Fernández, V; Pouiller, P. 2014. Mercado de Ganados y Carnes Proyecciones 2023 OCDE-FAO. OCDE y FAO. 31 p.
- Braña, D; Ramírez, E; Rubio, MS; Sánchez, A; Torrescano, G; Arenas, ML; Partida, JA, Ponce, E; Ríos, FG. 2011. Manual de análisis de calidad en muestras de carne. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Querétaro, México. 91p.
- Carbajal, A. 2013. Hábitos de consumo de carne de pollo y huevos. Calidad nutricional y relación con la salud. Universidad Complutense de Madrid, España. 22p.
- Cardinali, R; Cullere, A; Dal Bosco, A; Mugnai, C. Ruggeri, S; Mattioli, C; Castellini, M; Trabalza, M; Zotte, A. 2015. Oregano, Rosemary and vitamin E dietary supplementation in growing rabbits: Effect on growth performance, carcass traits, bone development and meat chemical composition. Livestock Science.
- Cribari-Neto, F; Zeileis, A. 2010. Beta Regression in R. Journal of Statistical Software 34(2), 1-24p.
- Castañeda, M; Varela, D; Martínez, W. 2013. Carne de pollo Mexicana. Folleto Técnico No. P18-21. México, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Castellini, C; Boggia, A; Cortina, C; Dal Bosco, A; Paolotti, L; Novelli, E; Mugnai, C. 2012. A multicriteria approach for measuring the sustainability of diferente poultry production systems. Journal of Cleaner Production 37(0): 192-201.

- Chacón, A. 2000. Estudio de la maduración, la inyección de cloruro de calcio, la cocción y el congelamiento como fundamentos de un proceso para el mejoramiento de la suavidad del solomo. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 176p.
- Chacón, A. 2004. La suavidad de la carne: implicaciones físicas y bioquímicas asociadas al manejo y proceso agroindustrial. *Revista Agronomía Mesoamericana* 15(2): 225-243p.
- Chacón, A. 2005. Efecto de la maduración, cocción y congelamiento sobre la suavidad, rendimiento y carga microbiana del corte de solomo. *Revista Agronomía Mesoamericana* 16(2): 199-213.
- Chacón, A. 2007. Efecto de la inyección de CaCl_2 sobre la suavidad del corte de solomo. *Revista Agronomía Mesoamericana* 18(1): 37-54.
- Chacón, A. 2019. Comunicación personal Profesor e Investigador de la Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica.
- Cordeiro, F. 2008. Miopatia dorsal cranial em frangos de corte: Caracterização anatomopatológica, colheita e análise de dados. Universidad Federal de Rio Grande del Sur. Brasil. 83p.
- Cori, ME; Michelangeli, C; De Basilio, V; Figueroa, R; Rivas, N. 2014. Solubilidad proteica, contenido de mioglobina, color y pH de la carne de pollo, gallina y codorniz. *Archivo de Zootecnia* (63)241: 134p.
- Cori, M; De Basilio, V; Figueroa, R; Michelangeli, C; Galíndez, R. 2011. Efecto de la edad de la codorniz (*Coturnix coturnix* japónica) y del aturdimiento eléctrico al momento del beneficio sobre la composición química, color y propiedades funcionales de la carne. *Revista de Facultad de Agronomía* 37:105-115.
- Cubero, RA; Mora, E; WingChing-Jones, R; Calderón, S. 2013. Maduración del solomo (*Biceps femoris*) en vacas de descarte *Bos indicus* y *Bos taurus*. *Agronomía Mesoamericana*. 24(2): 433-440. ISSN: 1021-7444.
- Dal Bosco, A; Gerebcsér, ZS; Szendro, ZS; Mugnai, C; Cullere, M; Kovács, M; Ruggeri, S; Mattioli, S; Castellini, C; Zotte, AD. 2014. Effect of dietary supplementation of Spirulina (*Arthrospira platensis*) and Thyme (*Thymus vulgaris*) on rabbit meat appearance, oxidative stability and fatty acid profile during retail display. *Mear Science* (96): 114-119.
- De Souza, K; Araujo, R; Dos Santos, A; Rodrigues, C; De Faria, D; Trindade, M. 2011. Adding value to the meat of spent laying hens manufacturing sausages with a healthy appeal. *Revista Brasileira de Ciencia Avícola, Brasil*, 13(1): 57-63. ISSN 1516-635X.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). 2008. El color de las carnes y de las aves. Información sobre inocuidad de los alimentos. 3p.

- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Secretaría de las Naciones Unidas (DESA). 2014. La situación demográfica en el mundo, 2014. DESA, Naciones Unidas. Nueva York, Estados Unidos. 31.p.
- Di Luca, A; Mullen, A; Elia, G; Davey, G; Hamill, R. 2011. Centrifugal drip is an accessible source or protein indicators of pork ageing and water holding capacity. *Meat Science*, Elsevier.
- Errecart, V. 2015. Análisis del Mercado mundial de carnes. Escuela de Economía y Negocios. Tarapoto, Perú, Universidad de San Martín. 34p.
- Farrel, D. 2013. Función de las aves de corral en la nutrición humana. Escuela de Ciencias Veterinarias. Queensland, Australia, Universidad de Queensland. 136p.
- Fratti, R. 2016. Cada costarricense consume 27kg de pollo y 13 kg de huevo. Consultada el 6 de mayo de 2017. Disponible en: <https://revistaproagro.com/cada-costarricense-consume-27-kilos-de-pollo-y-13-kilos-de-huevos-al-ano/>.
- Folegatti, E; Martínez, R. 2016. Degeneraciones musculares y calidad de pechuga de pollo. DSM Nutritional Products. 6p.
- Galián, M. 2007. Características de la canal y calidad de la carne, composición mineral y lipídica del cerdo Chato Murciano y su cruce con Ibérico. Efecto del sistema de manejo. Tesis Doctorado. Murcia, España, Universidad de Murcia.
- Gallinger, C; Federico, F; Pighin, D; Cazaux, N; Trossero, M; Marsó, A; Sinesi, C. 2016. Determinación de la composición nutricional de la carne de pollo argentina. *DIAETA* 34(156):10-18.
- Genchev, A; Ribarski, S; Afanasjev, G; Blohin, G. 2005. Fattening capcoties and meat quality of japanese quails of faraón and white English breeds. *J Cent Europ Agric*, 6: 495-500.
- Gómez, MF; Gómez, N. 2013. Evaluación de la calidad de la carne de pollo (*Pectoralis major* y *Pectoralis minor*) que se expende en la ciudad de san juan de pasto (nariño). Trabajo de grado. Pasto, Colombia. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. 95p.
- Heinz, G; Hautzinger, P. 2010. Meat processing technology. FAO. Consultado el 30 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/010/ai407e/AI407E00.htm#Contents>.
- Hernández, J; Aquino, J; Palacios, A. 2015. Rendimiento de la canal, color de la carne y evolución del pH muscular de conejos. Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de México. Oaxaca México. 11p.
- Herrera, CH; Bolaños, N; Lutz, G. 2008. Química de los alimentos: Manual de laboratorio. San José, Costa Rica, Editorial de la Universidad de Costa Rica. 58p.
- Hui, YH; Guerrero, I; Rosmini, MR. 2013. Ciencia y Tecnología de carnes. Editorial Limusa. México. 11p.

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). 2013. Estimaciones y proyecciones de población por sexo y edad. INEC, San José, Costa Rica. ISBN: 978-9968-683-87-6.
- Karaoglu, M; Aksu, M; Esenbuga, M; 2005. pH and color characteristics of Carcasses of Broilers fed with dietary probiotics and slaughtered at different ages. Departamento de Ciencia Animal. Universidad de Agric, Turquía. 607-608p.
- Khan, U; Hussain, J; Mahmud, A; Khalique, A; Mehmood, S; Badar, I; Usman, M; Jaspal, M; Ahmad, S. 2018. Comparative study on carcass traits, meat quality and taste in broiler, broiler breeder and aseel chickens. 21(1). ISSN 1516-635X.
- Kirk, R; Sawyer, R; Egan, H. 2006. Composición y análisis de alimentos de Pearson. Edición Nueve. Continental. Distrito Federal, México.
- Kolczak, T; Krzysztoforski, K; Palka, K. 2007. The effect of post-mortem ageing and heating on water retention in bovine muscles. Meat Sci 75: 655-660.
- Kokozynsky, D; Bernacki, Z; Steczny, K; Saleh, M; Wasilewski, P; Kotowicz, M; Wasilewski, R; Biegniewska, M; Grzonkowska, K. 2016. Comparison of carcass composition, physicochemical and sensory traits of meat from spent broiler breeders with broilers. Europ. Poult. Sci. ISSN 1612-9199.
- Kuttappan, V. 2012. Effect of different levels of dietary vitamin E (DL- α -tocopherol acetate) on the occurrence of various degrees of white striping on broilers breast fillets. Poultry Science 91: 3230-3235p.
- Laboratorio de Servicios Análíticos (LASA). 2019. Escuela de Química, Universidad de Costa Rica.
- Leal, J; Jiménez, L. 2015. La capacidad de retención del agua (CRA) de la carne de bovino y posibles genes candidatos. Departamento de Ciencias de la Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 15p.
- Lenth, R. 2019. Emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.3.2.
- Martínez, T; Mora, D. 2010. Conocimiento y opiniones sobre la carne de pollo de dos comunidades rural-urbana de Costa Rica. Revista Costarricense de Salud Pública, 19:3-11.
- Mead, G.C. 2004. Poultry meat processing and quality. Cambridge, England, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 388p.

- Mercado, AL. 2015. Influencia de la edad de la reproductora sobre el rendimiento productivo de dos lotes de pollos de engorde. Tesis Lic. Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 80p.
- Moreiras, O; Carbajal, A; Cabrera, L.; Cuadrado, C. 2013. Tablas de composición de alimentos. Madrid, España. Editorial Pirámide. 83p.
- Motter, MM; Corva, P; Krause, M; Perez, M; Soria, L. 2009. Rol de la calpastatina en la variabilidad de la terneza de la carne bovina. Buenos Aires, Argentina. Journal of basics and applied genetics. ISSN 1852-6233.
- Novakovic, S; Tomasevic, I. 2017. A comparison between Warner-Bratzler shear force measurement and texture profile analysis of meat and meat products: a review. Conference Series Earth and Environmental Science 85(1):012063
- Onega, ME. 2003. Evaluación de la calidad de carnes frescas: aplicación de técnicas analíticas, instrumentales y sensoriales. Tesis Doctorado. Madrid, España, Universidad Complutense de Madrid. 449p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2015. Perspectivas alimentarias: resúmenes de mercado. FAO. ISSN 1564-2801.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2019. Meat Market Review. Rome
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). 2012. OCDE Environmental Outlook to 2050: The Consequences of inaction. OCDE. ISBN 978-92-64-12224-6. Consultado el 20 de mayo de 2017. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (OCDE/FAO). 2017. OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017 – 2026. Editions OCDE, París. 154p.
- Owens, C; Alvarado, C; Sams A. 2010. Poultry meat processing. Oxfordshire, Inglaterra, CRC Press, Taylor & Francis Group. 383 p.
- Parolini, D. 2012. Calcium handling in myogenic progenitors and skeletal myoblasts: the role of CD20. Tesis Doctorado. Milán, Italia. p. 6-12.
- Petracci, M. 2013. Comparison of breast muscle traits and meat quality characteristics in two commercial chicken hybrids. Poultry Science 92: 2438-2447p.
- Petracci, M. 2014. Effect of white striping on chemical composition and nutritional value of chicken breast meat. Italian Journal of Animal Science.13: 31-38

- Pineda, ML. 2018, Comunicación personal Profesora e investigadora de la Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica.
- Pinheiro, J; Bates, D; DebRoy, S; Sarkar, D; R Core Team. 2018. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-137p.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ramírez, J. 2004. Características bioquímicas del músculo, calidad de la carne y de la grasa de los conejos seleccionados por la velocidad de crecimiento. Tesis Doctorado. Barcelona, España, Universidad de Bellaterra. #p.
- Ripoll, G. 2014. Vida útil de la pechuga de pollo: uso de envases activos con nanopartículas y valoración de los consumidores españoles. Trabajo de Pregrado. Ávila, España, Universidad Católica de Ávila. 129p.
- Rodríguez, VM; Magro, ES. 2008. Bases de la alimentación. *In* Aldai, N; Nájera, AI (eds). Carnes y productos cárnicos. España, Netbiblo. p. 87-99.
- Ross. 2014. Manual de manejo de pollo de engorde. Aviagen. 134p.
- Ross 308 AP. 2017. Reproductora: Objetivos de rendimiento. Aviagen. 12p.
- Sindik, M; Revidatti, F; Fernández, R; Revidatti, M; Michel, M; Riganotto, T. 2012. Rendimiento de la faena en pollos provenientes de dos genotipos reproductores campero INTA. AICA, Argentina, 2:279-281.
- Soler, M; Mateos, E; 2011. Caracterización del color y relación con el pH de pechuga de pollo durante el procesado de las canales en matadero.
- Walukonis, C; Morgan, M; Gerrard, D; Forrest, J. 2002. A technique to predicting water-holding capacity in early post mortem muscle. Purdue University, Swine Research Report, Lafayette, IN. s. e. Pp. 110-117.
- Zimmermann, F; Fallavena, L; Salle, C; Moraes, H; Soncini, R; Barreta, M; Nascimento, P. 2012. Downgrading of heavy broiler chicken carcasses due to myodegeneration of the anterior Latissimus Dorsi: Pathologic and Epidemiologic studies. Avian Diseases. 56:42-418.