



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

EFFECTO DEL TIPO DE MÚSCULO SOBRE PARÁMETROS DE
PERFIL DE COLOR EN CARNE DE CERDO

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERA EN ALIMENTOS

Presenta:

SONIA KARELY GÓMEZ CRUZ

ASESOR: Dra. ADRIANA LLORENTE BOUSQUETS
COASESOR: M. EN C. JONATHAN CORIA HERNÁNDEZ

Cuatitlán Izcalli, Estado de México 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo Profesional**

Efecto del tipo de músculo sobre parámetros de perfil de color en carne de cerdo.

Que presenta la pasante: **Sonia Karely Gómez Cruz**

Con número de cuenta: **308163645** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 02 de Junio de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Adriana Llorente Bousquets	
VOCAL	Dra. Rosalía Meléndez Pérez	
SECRETARIO	I.A. María Guadalupe López Franco	
1er. SUPLENTE	M. en C. Enrique Fuentes Prado	
2do. SUPLENTE	M. en C. Ana Elvia Sánchez Mendoza	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/cga*

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien me ha guiado y acompañando con su amor en todo momento. Gracias por permitirme terminar esta etapa tan importante en mi vida.

A mi Papa Edgar por su amor, sus consejos, sus correcciones, su disciplina, por ser un ejemplo a seguir, te amo papa. A mi mami Lupita que siempre me ha apoyado incondicionalmente, por el amor sincero que siempre encuentro en ella, a la mejor amiga que tengo y que amo sobre todas las cosas. Gracias a ustedes crecí dentro de una familia llena de amor, soy una persona con valores y principios, porque cada logro mío es también de ustedes, esperando estén orgullosos de mi como lo estoy de ustedes.

A mis hermanos, a Osvaldo por todas las enseñanzas que me brindaste por cuidarme y darme el amor de un hermano mayor, a mi hermano Carlos que es el más pequeño de los cuatro gracias por tu amistad comprensión y cariño, a mi hermana Laura por ser mi amiga, mi confidente, mi única hermana, por brindarme buenas momentos y estar conmigo sin importar las circunstancias, gracias por apoyarme en cada logro de mi vida. A mi cuñado Baru por ser mi amigo y formar parte importante de este logro, gracias por las herramientas para poder lograr este proyecto, a mis sobrinas hermosas que amo con todo mi corazón Sofi y Ara que siempre alegran mi vida con sus sonrisas.

A mi novio Fernando que siempre me ha apoyado en todos los proyectos. Gracias por tu amor y tus palabras que siempre me motivan, eres una persona muy especial en mi vida que me ha inspirado a ser cada día mejor y superar mis propias expectativas, sin duda eres un pilar muy importante en mi vida, te amo.

A mi abuelito Lorenzo por sus consejos y mi abuelita Alicia que desde el cielo me cuida, sé que estás orgullosa de la persona en que me he convertido. A mi tía Ana por ser mi apoyo durante toda mi vida por cuidarme y aconsejarme eres una grandiosa amiga y a mi tío Daniel gracias por tus consejos y apoyo brindado desde niña. A mi tía Mónica por ser una grandiosa amiga porque siempre me cuidaste y estuviste a mi lado en cada uno de mis logros y tropiezos. A mi tío Demetrio por sus consejos. A mi tía Raquel por su motivación en el rumbo de mi carrera y a mi prima Nayeli gracias por todas las cosas increíbles y experiencias inolvidables que vivimos juntas.

A mis amigos a Isamar, Gilberto, Brenda, Susana, Erick y Adrina, gracias por su increíble amistad y por los buenos momentos que pasamos juntos.

A mis asesores de Tesis La Doctora Adriana Llorente que es una excelente persona, gracias por su apoyo, orientación, conocimiento, aliento, confianza, consejos y amistad que me brindo durante la realización de este proyecto. A Jonathan Coria gracias por el apoyo consejos y mejoras para este proyecto eres una grandiosa persona.

A mi Jurado a la Doctora Rosalía Meléndez, a la Profesora Lupita López Franco al M. en C. Enrique Fuentes Prado y a la M. en C. Ana Elvia Sánchez gracias por su tiempo, orientación consejos y observaciones realizadas en este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán que me enorgullecen por haber pertenecido y aún formar parte de tan gran institución, lugar de conocimiento y crecimiento personal y profesional.

**Esta tesis forma parte de los proyectos del Taller
Multidisciplinario de Ingeniería en Alimentos
Procesos Tecnológicos de Productos Cárnicos
Laboratorio 7 de Bioconservación en la Unidad de Investigación
Multidisciplinaria de la Facultad de Estudios Superiores
Cuautitlán**

**Se agradece al Proyecto DGAPA-PAPIIT IT202312 por el apoyo
recibido para este proyecto de tesis**

**Y al Proyecto PIAPI 1635 “PROCESOS TECNOLÓGICOS DE
PRODUCTOS CÁRNICOS**

ÍNDICE

I. ÍNDICE DE CUADROS

II. INDICE DE FIGURAS

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 Factores que afectan el color de la carne.....	5
1.1.1 <i>Ante-mortem</i>	5
1.1.1.1 Especie.....	5
1.1.1.2 Raza	5
1.1.1.3 Edad	6
1.1.1.4 Sexo	6
1.1.1.5 Alimentación.....	6
1.1.1.6 Ambiente durante el crecimiento	7
1.1.1.7 Ayuno	7
1.1.1.8 Manejo previo al sacrificio	7
1.1.2 Sacrificio	8
1.1.3 <i>Post-mortem</i>	9
1.1.3.1 Transformación del músculo en carne	9
1.1.3.2 <i>Pre-rigor</i>	11
1.1.3.3 <i>Rigor mortis</i>	11
1.1.3.4 Etapa de la maduración (<i>Post-rigor</i>).....	12
1.2 Macro estructuras del tejido muscular	12
1.2.1 Músculo esquelético	13
1.2.2 Músculo estriado	18
1.2.3 Músculo liso	18
1.3 Función muscular	19
1.3.1 Mecanismos de contracción y relajación del músculo	19
1.4 Microestructuras del tejido muscular.....	20

1.4.1	Proteínas miofibrilares	21
1.4.2	Proteínas sarcoplásmicas.....	22
1.4.3	Proteínas del tejido conectivo.....	22
1.5	Mioglobina y color de la carne.....	23
1.5.1	Fenómenos de oxidación y reducción de la mioglobina	25
1.5.2	Determinación del contenido de mioglobina	27
1.6	Parámetros de calidad de la carne.....	28
1.6.1	Físicos	28
1.6.2	Fisicoquímicos	28
1.7	Defectos de la carne.....	31
1.7.1	PSE	31
1.7.2	DFD	33
1.8	Evaluación de los parámetros de perfil de color	33
1.8.1	Color.....	33
1.8.2	Teoría del color	34
1.8.3	Sistema de medición de color CIELab	34
1.8.4	Espectrofotometría.....	37
	JUSTIFICACIÓN	39
	HIPÓTESIS.....	39
2.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	40
2.1	Diagrama experimental	41
2.2	Objetivos	42
2.2.1	Objetivo general.....	42
2.2.2	Objetivos particulares	42
2.3	Materiales y métodos.....	43
2.3.1	Manejo de la materia prima	43
2.4	Actividades Preliminares	43
2.4.1	Caracterización de la materia prima.....	43
2.4.2	Análisis fisicoquímicos (a_w y pH)	45
2.5	Análisis de los parámetros de perfil de color por espectrofotometría de reflectancia	47

2.6 Diseño experimental	49
3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	50
3.1 Análisis fisicoquímicos.....	51
3.2 Análisis de los parámetros de perfil de color por espectrofotometría reflectancia....	53
3.3 Análisis y determinación de las fracciones de mioglobina superficial	64
CONCLUSIONES	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

I. ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química aproximada de la carne (%)	13
Cuadro 2. Características de los músculos rojo y blanco	18
Cuadro 3. Identificación de los músculos a evaluar	43
Cuadro 4. Resultados promedios de pH.....	51
Cuadro 5. Resultados promedio de a_w	53
Cuadro 6. Resultados del parámetro L^*	55
Cuadro 7. Resultados del parámetro a^*	57
Cuadro 8. Resultados del parámetro b^*	59
Cuadro 9. Resultados del parámetro C^*	61
Cuadro 10. Resultados del Parámetro de perfil Ángulo Hue	63
Cuadro 11. Resultados promedio de las fracciones de mioglobina	65

II. INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del músculo esquelético	15
Figura 2. Estructura de las fibras musculares	16
Figura 3. Mecanismos de contracción y relajación del músculo	20
Figura 4. Estructura terciaria de la mioglobina	23
Figura 5. Estructura de la mioglobina. Anillo hemo oxidado y unido a la histidina de la globina	24
Figura 6 Reacciones químicas sufridas por la mioglobina	25
Figura 7. Carne PSE, normal y DFD.....	32
Figura 8. CIE (1931) Espacio del color	35
Figura 9. Representación de color sólido para el espacio de color CIE L*, a*, b*	36
Figura 10. Ilustración de Hue y Chroma C*	37
Figura 11. Localización del músculo <i>Bíceps femoris</i>	44
Figura 12. Localización de los músculos <i>Supraspinatus</i> y <i>Longissimus dorsi</i>	44
Figura 13. Localización de los músculos <i>Tríceps brachii lateralis</i> , <i>Latissimus dorsi</i> y <i>Gluteus medius</i>	45
Figura 14. Higrómetro de punto de rocío	45
Figura 15. Potenciómetro	46
Figura 16. Homogenización de la muestra	46
Figura 17. Filtrado de la muestra	47
Figura 18. Obtención del pH de la muestra	47
Figura 19. Espectrofotómetro Konica Minolta.....	48
Figura 20. Curva espectral promedio de músculos glucolíticos y oxidativos.....	54
Figura 21. ANOVA del parámetro L*	56
Figura 22. ANOVA del parámetro a*	59
Figura 23. ANOVA del parámetro b*	60
Figura 24. ANOVA del parámetro C*	62
Figura 25. ANOVA del parámetro Ángulo Hue	64

RESUMEN

La calidad de la carne para el consumidor, es el resultado de la combinación adecuada de atributos de color, suavidad y sabor. Estos pueden variar debido a diversos factores relacionados con la producción primaria de animales, que abarca todos los aspectos que constituyen la cadena de valor de la carne, desde la producción en granja (con todos sus aspectos: sanidad, bioseguridad, manejo, genética, alimentación, etc.) pasando por el manejo *ante* y *post-mortem* transporte, procesamiento y conservación. El color de la carne determina la evaluación y aceptación por el consumidor. La mioglobina es el principal pigmento de la carne, según la cantidad relativa de tres formas químicas de mioglobina; desoximioglobina (Mb), oximioglobina (MbO₂) y metamioglobina (MetMb). El contenido de Mb depende de factores tales como la especie del animal, su edad y alimentación; también se ve afectado por las condiciones de manejo en los períodos ante, durante y *post-mortem*, por la influencia que guarda el pH y la temperatura; la MetMb, está relacionada con el tiempo de almacenamiento y con los procesos de oxigenación y oxidación. La cantidad de Mb en el músculo depende también del tipo de metabolismo que se lleve a cabo: glucolítico, en el cual son más abundantes las fibras blancas con poca mioglobina, u oxidativo con mayor abundancia de fibras rojas con más cantidad de mioglobina. El objetivo del presente trabajo fue analizar las formas químicas que se pueden encontrar en los diferentes tipos de músculo oxidativo o glucolítico. Se trabajó con carne de cerdo proveniente de tres machos de raza Chester White, de 18 meses de edad, con un peso aproximado de 115 kg. Previa insensibilización mediante electronarcosis, tras sacrificio la canal se mantuvo en una cámara de refrigeración a 4°C durante 24 h para su maduración, tras las cuales se realizó el despiece y se diseccionaron los mismos seis músculos, de cada animal, tres de tipo glucolítico *Latissimus dorsi*, *Longissimus dorsi* y *Gluteus medius* (con un peso aproximado de 150±5 g, 270±5 g, 340±5 g respectivamente) y tres de tipo oxidativo: *Biceps femoris*, *Supraspinatus* y *Triceps brachii lateralis* (con un peso aproximado de 150±5 g, 270±5 g, 300±5 g respectivamente). De cada uno de los 6 músculos se obtuvieron tres piezas (18 músculos en total) y 3 muestras de cada uno para un total de 54 muestras de carne, mismos que se envasaron y transportaron al laboratorio 7 de la UIM-FES Cuautitlán, manteniendo las condiciones de temperatura (4-7°C) en un tiempo aproximado de 25 minutos. Se evaluaron en todos los músculos los parámetros de perfil de color (L*, a*, b*; C*, h) a_w y pH en un solo día. Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza de una vía (ANOVA) con el software Minitab 16.0.1 y un nivel de significancia (α) del 5% (0.05). Obteniendo como conclusión principal, que el tipo de músculo tiene efecto en los parámetros de perfil de color.

INTRODUCCIÓN

La calidad de los alimentos es la suma de tres componentes principales: valor nutricional, seguridad y aceptabilidad del consumidor. La aceptabilidad del consumidor incluye una gran variedad de atributos tales como atractivo visual, aroma, sabor, textura, sensación de boca, comodidad y relevancia cultural. El color de la carne y de los productos cárnicos es un aspecto importante de la aceptabilidad de los consumidores. Los consumidores juzgan la calidad de la carne en el punto de venta por su color (Bekhit y Faustman, 2005). El color está influido principalmente por el contenido y la naturaleza de la mioglobina (Mb), la composición y estado físico del músculo y la estructura de la carne, esta última está directamente relacionada con el pH final. El contenido de pigmento de Mb es intrínseco al músculo y varía con factores de producción tales como especie, edad animal o sistema de alimentación. Otros factores extrínsecos también afectan la evolución del color, como las condiciones previas al sacrificio, el sacrificio y los procesos de oxigenación y oxidación durante el envejecimiento, estos actúan directamente sobre la mioglobina o indirectamente cambian el pH (Abril *et al.*, 2001).

En la carne fresca, la mioglobina puede existir en cualquiera de los 3 estados redox: desoximioglobina, oximioglobina, y metamioglobina (Mancini y Ramanathan, 2014; Rosenvold y Andersen, 2003). Durante el almacenamiento y la comercialización de la carne, un patrón típico de la interconversión de la mioglobina, es la oxigenación de la desoximioglobina (que produce el color rosa-rojo) seguida de la formación de metamioglobina debido a la oxidación de la oximioglobina. La metamioglobina ya no tiene la capacidad de oxigenar y da a la carne un color marrón (Zhu *et al.*, 2003).

La composición del tipo de fibra muscular, las áreas de fibra y la densidad capilar de músculos específicos son factores importantes que influyen en muchos de los procesos bioquímicos *post-mortem* y por lo tanto la calidad de la carne. Una característica del músculo esquelético es su diversidad, que consiste en diferentes tipos de fibras que además, varían dentro de sí mismas. Hay diferencias marcadas en la composición del tipo de fibra de los diferentes músculos, tanto dentro como entre los animales, que pueden influir en la calidad de la carne y dependen de factores como la ubicación del cuerpo, la edad, el peso y la raza (Klont *et al.*, 1998). La percepción del color es única y exclusiva para cada individuo. Anteriormente existía una gran dificultad para comunicar objetivamente el color específico, sin tener una base de referencia.

Actualmente para la identificación exacta de un color existen instrumentos que atribuyen valores numéricos, los cuales hacen objetiva esta propiedad. La CIE (Commission Internationale des l' Eclairage) estableció que la validación de los métodos para medir el color en alimentos depende de la corrección de la teoría tricromática basados en factores sumamente simples (Alvarado, 2001). Las tres coordenadas de color fundamentales son L^* , a^* y b^* . El L^* mide la luminosidad y es una medida de la luz reflejada (100 = blanco; 0 = negro); a^* mide el rojo positivo, el verde negativo y b^* mide el amarillo positivo, el azul negativo (Gajanaa *et al.*, 2013)

En este trabajo se estudió el efecto de los diferentes tipos de músculo en las características de la carne específicamente en los parámetros de perfil de color, L^* , a^* , b^* , C^* y h^* . Se analizó usando espectros de reflectancia y la consiguiente evolución de las coordenadas colorimétricas en el espacio CIELAB. En este estudio también se propuso determinar las fracciones de mioglobina superficial de cada músculo evaluado, para identificar la especie química predominante.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Factores que afectan el color de la carne

La carne, por sus características, es un alimento de gran importancia para la alimentación humana. Su consumo siempre se ha asociado al nivel socioeconómico. El término calidad tiene tres diferentes significados según la percepción de los distintos agentes de la cadena de valor, el ganadero, el comerciante, las plantas de sacrificio, el industrial procesador y el consumidor (Blandino, 2005). El color es un indicador significativo de la calidad de la carne de cerdo, ya que es una de las características más importantes que influyen en la evaluación de la carne por parte del consumidor (Chmiel *et al.*, 2011). La apariencia de la carne y los productos cárnicos es un tema complejo que involucra la genética animal, las condiciones *ante* y *post-mortem*, la química fundamental del músculo y muchos factores relacionados con el procesamiento, envasado, distribución, almacenamiento, exhibición y preparación final del producto (Quevedo *et al.*, 2013).

1.1.1 Ante-mortem

Uno de los principales objetivos de la industria ganadera es proporcionar productos inocuos y de calidad a los consumidores (Sepúlveda *et al.*, 2008). Durante los últimos años, la industria porcina mundial ha experimentado un gran desarrollo, que involucra una creciente demanda en la calidad del producto final. El cliente no solamente exige cortes magros y que estos reúnan características deseables de color, textura, sabor y aroma, sino que además en muchos mercados, se exige que se cumplan estándares de bienestar animal (Jerez *et al.*, 2013).

1.1.1.1 Especie

La especie animal es un factor determinante de la cantidad de mioglobina presente. En general, la carne de cerdo presentan una baja concentración de mioglobina (0.06 a 0.1%) y su color es claro o pálido, mientras que la de cordero contiene 0.25 a 0.40% y la de res de 0.5 a 1.0% (Badui, 2006).

1.1.1.2 Raza

Un factor que es afectado significativamente por el grupo racial, es la concentración de pigmentos. Se puede decir que la intensidad de color rojo es la que tiene mayor variabilidad entre razas, esto se debe al metabolismo y tamaño de los músculos, según su aptitud de producción y al porcentaje de fibras blancas rojas e intermedias (Hernández *et al.*, 2009).

1.1.1.3 Edad

Los animales más viejos presentan una concentración más alta de mioglobina que los animales jóvenes, lo que produce una musculatura más oscura (Badui, 2006).

1.1.1.4 Sexo

El sexo influye en diversas características de la calidad de la carne tales como el color y la deposición de grasa intramuscular; teniendo que es mayor en las fases finales del desarrollo y se produce con más precocidad en las hembras que en los machos castrados (Prado *et al.*, 2009). Otros autores, por el contrario, asocian el color más oscuro de la carne de los machos con la mayor excitabilidad de éstos en el momento del sacrificio y por tanto con valores de pH más elevados. Según un estudio realizado por Guignot *et al.*, 1994, cuando el pH final es alto, se reduce la luminosidad y el índice de rojo en el músculo *longissimus* (Wulf *et al* 1997) encuentran valores superiores de coordenadas a* y b* en la carne de machos que de hembras, no existiendo diferencias en la coordenada L*.

1.1.1.5 Alimentación

Los cerdos, al igual que los seres humanos, son animales monogástricos y muchos de los componentes de sus dietas son fácilmente transferidos de la alimentación que ingieren a los músculos y los tejidos grasos, esto tiene un efecto en la calidad de la carne de cerdo (Keenan, 2016). En general se admite que los animales adquieren tonalidades más oscuras cuando son alimentados con forrajes verdes, ya que al ingerir mayor cantidad de pigmentos liposolubles estos quedan retenidos en la porción de grasa del músculo y en las grasas del depósito y cobertura (Coria, 2014).

En un estudio de Baublits *et al.*, 2004 la suplementación de ganado alimentado con forraje de soya mejoró el color muscular sin afectar el color de la grasa. Los cambios en la ligereza muscular y amarillamiento se atribuyeron a los efectos de la dieta sobre el glucógeno previo a la cosecha. Vestergaard, Oksberg y Henckel (2000) informaron que las dietas a base de forraje alimentadas en cantidades restringidas podrían promover el metabolismo oxidativo, en lugar del metabolismo del músculo anaerobio y el almacenamiento de glucógeno. Como resultado, los toros alimentados con dietas basadas en forraje y restringidas tenían menos glucógeno, mayor pH muscular y color más oscuro. Del mismo modo, Immonen, Ruusunen y Puolanne (2000) informaron que el aumento de la concentración de glucógeno residual en el *longissimus* promovió la disminución del color rojo y un aumento de amarillo.

1.1.1.6 Ambiente durante el crecimiento

El ambiente en el que crecen los animales de abasto ejerce influencia importante en las propiedades del músculo, el efecto estresante originado por el ambiente, tiene gran importancia. Estudios demuestran que cerdos criados en ambientes cerrados son más susceptibles al estrés que los criados en ambientes naturales, otras encuestas han demostrado que los cerdos comercializados en épocas de temperatura muy variable, dieron una alta incidencia de músculo PSE (Forrest, 1979).

1.1.1.7 Ayuno

Se ha investigado el efecto del ayuno en los animales como una forma de reducir las reservas de glucógeno muscular en los cerdos en el momento del sacrificio y la influencia que guarda en el aumento del pH durante las 24 h posteriores al mismo y en consecuencia, en mejorar la capacidad de retención de agua y el color. Más de 24 h de ayuno fueron necesarias para observar cualquier diferencia significativa en la calidad de la carne. Sin embargo, el estancamiento prolongado plantea otras cuestiones. El bienestar del cerdo puede verse comprometido simplemente por el ayuno, así como por la heterogeneidad que se presenta en grupos de cerdos mixtos (Rosenvold y Andersen, 2003).

1.1.1.8 Manejo previo al sacrificio

El manejo previo al sacrificio incluye la mezcla de animales desconocidos, la carga, el transporte, la llegada al rastro y el tiempo de estancia en los mataderos. Las condiciones en que ocurran estas prácticas de manejo, pueden inducir el estrés tanto psicológica como físicamente. El estrés antes del sacrificio es tanto un problema de bienestar animal como un problema de calidad, ya que se ha reconocido desde hace tiempo que el estrés previo al sacrificio puede afectar negativamente la calidad del cerdo. El estrés antes del sacrificio puede dividirse en un *estrés a largo plazo*, influido por el manejo de la granja, la mezcla de animales, los cuidados durante la carga y el transporte. Por otro lado, el estrés a corto plazo incluye las condiciones de estancia en rastro y la insensibilización. Los dos tipos de estrés no deben ser considerados como dos cosas separadas, aunque el estrés a largo plazo conduce principalmente a la calidad de la carne asociada con la de la carne DFD, mientras que el estrés a corto plazo conduce principalmente a la calidad asociada con la PSE (Rosenvold y Andersen, 2003).

La mezcla de animales de distintas unidades de producción y corrales, debe evitarse durante el manejo previo al sacrificio. Los cerdos en grupos desarrollan jerarquías

sociales estables, que se interrumpen cuando se mezclan animales desconocidos. Los individuos de los grupos mixtos luchan frecuentemente para establecer un nuevo orden de dominancia. Esto conduce a daños entre los animales, sobretodo de la piel, que pueden ser graves, y es un serio problema comercial ya que disminuye el valor de la canal. Además, los cerdos que han luchado muestran agotamiento de glucógeno en los músculos y consecuentemente un alto pH final en la carne más elevado (Rosenvold y Andersen, 2003).

1.1.2 Sacrificio

Sacrificio es el acto que provoca la muerte de los animales por medio de métodos físicos o químicos. Durante el manejo de los animales, los responsables deberán mantenerlos tranquilos, evitando los gritos, ruidos excesivos y golpes que provoquen traumatismos. Para el arreo, nunca deberá golpearse a los animales con tubos, palos, varas con puntas de acero u objetos que produzcan traumatismos. Los instrumentos, equipo e instalaciones para insensibilizar y sacrificar a los animales serán diseñados, construidos, mantenidos y usados de manera tal que se logre un rápido y efectivo resultado de su uso. Estos deberán ser inspeccionados por lo menos una vez antes de su uso, para asegurar su buen estado (NOM-033-ZOO-1995).

El manejo durante el sacrificio es un factor que tiene gran influencia sobre la calidad de la carne, dentro de los aspectos a considerar que afectan la calidad son:

- La contención: Instalaciones bien acondicionadas para el reposo de los animales, con facilidades para alimentarlos y darles de beber (NOM-051-ZOO-1995)
- La insensibilización: Acción por medio de la cual se induce rápidamente a un animal a un estado de Inconciencia, para evitar cualquier sufrimiento innecesario durante el sangrado que pueda afectar la calidad de la carne
- El desangrado: El sangrado debe ser rápido a fin de evitar que alteren las características físicas, químicas e higiénicas del producto.

Los métodos de insensibilización y sacrificio para porcinos según la (NOM-033-ZOO-1995) son los siguientes:

a) Electroinsensibilización.- Se puede realizar en cuatro diferentes posiciones para los 2 electrodos, la aplicación de los electrodos no deberá hacerse colgando a los animales, se realizará dentro de un cajón de sacrificio con piso de material aislante para evitar la electrificación del piso.

b) Sacrificio humanitario.- Desangrado por corte de vena cava anterior (vena cava craneal) introduciendo el cuchillo abajo del brazuelo izquierdo. Este se deberá realizar dentro de los 20 segundos después de la insensibilización. Debe asegurarse que el animal se encuentra muerto antes de introducirlo al escaldado.

c) Sacrificio.- Desangrado por corte de vena cava anterior. Este se deberá realizar antes de 30 segundos después de la insensibilización. Debe asegurarse que el animal se encuentra muerto antes de ingresar al escaldado

Existen dos técnicas de desangrado: una consiste en la sección bilateral de las arterias carótidas y las venas yugulares por medio de un corte en la región de la garganta por detrás de la laringe; la otra se realiza practicando una incisión en la gotera o surco yugular en la base del cuello, dirigiendo el cuchillo hacia la entrada del pecho a fin de cortar el tronco braquiocefálico y la vena cava anterior (Ríos, 2008). El desangrado debe practicarse sólo en animales aturcidos con un intervalo menor a 30 segundos entre el disparo y el corte, este procedimiento evita el retorno a la sensibilidad, hace más eficiente el proceso de desangrado y garantiza la seguridad de los operarios (Caraves y Gallo, 2007).

1.1.3 Post- mortem

Los procesos bioquímicos que proveen la energía necesaria para mantener el proceso de contracción-relajación muscular *in vivo* son similares a aquellos que tienen lugar en la etapa *post-mortem* y que llevan a la transformación del músculo en la carne, por lo que es necesario conocer la bioquímica del músculo *in vivo* para comprender los cambios que se suscitan después de la muerte y que afectan la calidad de la carne (Hui, 2006).

Cuando se sacrifica un animal de abasto, el fallo de la circulación sanguínea provocado por la sangría, origina el cese del aporte de oxígeno y nutrientes y también falla el sistema de eliminación de los productos resultantes del metabolismo celular. Estos hechos son la causa de las modificaciones bioquímicas, químicas y físicas que dan lugar a la llamada transformación del músculo en carne o cambios *post-mortem* del músculo (Ordóñez, 1998).

1.1.3.1 Transformación del músculo en carne

El proceso posterior a la muerte del animal de abasto lleva a la transformación gradual del tejido muscular en carne y es de vital importancia conocer todos los cambios que ocurren en este proceso (Fenemma, 2010). Los músculos comprenden conjuntos de células

altamente especializadas que transforman energía química en mecánica como respuesta a acontecimientos excitadores que ocurren en la membrana celular. Esta característica básica determina que los músculos se contraigan generando tensión y produciendo movimiento (García, 1995).

El proceso de conversión de músculo en carne se puede dividir en tres etapas:

- 1) Fase *pre-rigor*, durante la cual el músculo aparece todavía excitable.
- 2) Fase *rigor-mortis*, cuando los componentes energéticos de las células se agotan (ATP, fosfocreatinina y glucosa).
- 3) Fase *post-rigor*, en donde ocurre una desorganización de la estructura muscular.

Una vez el animal es sacrificado se produce un descenso rápido e inesperado de los nutrientes y oxígeno en todas las células del organismo, lo que lleva a que el músculo comience a procesar las reservas de glucógeno para sintetizar ATP, produciéndose un cambio del metabolismo aeróbico por metabolismo anaeróbico. A medida que se va reduciendo la producción de ATP, se genera fosfato inorgánico, lo que estimula la degradación de glucosa a piruvato. Esta ruta, en ausencia de oxígeno, continúa hasta la formación y acumulación de ácido láctico, lo que genera la caída del pH celular, este descenso gradual del pH es un activador de algunas de las proteínas que intervienen en la desarticulación de la estructura de las proteínas musculares o proteínas que participan en el proceso de muerte celular programada, y también de la inactivación de proteínas que intervienen en el mantenimiento y metabolismo de la fibra muscular (Ortega y Ariza, 2012).

Cuando se agotan definitivamente las reservas de nutrientes musculares, y no hay más producción de ATP, las bombas de Ca^{2+} , Na^+ y K^+ , dependientes de ATP, ya no funcionan más y, por tanto, se produce una lenta y progresiva despolarización de las membranas celulares. Una vez liberado el calcio en el espacio miofibrilar, este reacciona con la troponina modificando su configuración, como consecuencia se une al extremo de la cabeza de la actina, dando lugar a una unión irreversible entre ambas proteínas. De esta forma, los filamentos finos de la fibra muscular son trasladados sobre los gruesos, lo que produce un acortamiento del músculo. La formación de actina-miosina da lugar a una tensión y rigidez muscular que conduce a la instauración del *rigor mortis*. Es allí donde comienza la etapa de maduración de la carne por parte de las enzimas proteolíticas endógenas que actúan sobre la miofibrilla muscular (Ortega y Ariza, 2012).

La composición de las fibras de los diferentes músculos esqueléticos es uno de los factores más importantes que afecta los eventos bioquímicos asociados con la conversión del músculo en carne. En general, los músculos compuestos mayoritariamente por fibras de metabolismo glucolítico rápido (Tipo II) son más susceptibles a la glucólisis *post mortem* que las tipo I, cuyo metabolismo es lento y oxidativo. Además, el nivel de actividad de ATPasa de miosina se relaciona con el tipo de cadena pesada de miosina presente en cada músculo (Badui 2006).

1.1.3.2 Pre-rigor

Inicia con la muerte del animal ocasionado por un paro respiratorio y cardiaco. Tan pronto como la presión sanguínea se reduce, el sistema circulatorio ajusta sus funciones para mantener el abastecimiento de sangre a los órganos vitales, como un aumento de la frecuencia cardiaca y un fenómeno de contracción de las venas y arterias periféricas, llamado vasoconstricción. El sistema circulatorio proporciona oxígeno y nutrimentos al tejido muscular además de eliminar metabolitos de desecho y con la exanguinación, la única fuente de oxígeno para soportar el metabolismo aerobio, es aquel que se encuentra unido a la mioglobina. Posteriormente cuando el oxígeno se agota, el tejido muscular continúa con el metabolismo anaerobio, siendo la glucólisis la única fuente de obtención de energía. Ya establecido el metabolismo anaerobio, las reservas de glucógeno disminuyen y el ácido láctico se acumula en el tejido muscular, lo que conlleva a una reducción del potencial de hidrogeno (pH) que va de valores cercanos a 7 hasta alrededor de 5.3 a 5.7, de acuerdo al manejo, la especie y la raza. Su importancia radica en que el pH tiene una fuerte influencia en sus propiedades fisicoquímicas, ya que algunas proteínas como la miosina, puede adoptar diversas conformaciones en función a esta propiedad (Fenemma, 2010).

1.1.3.3 Rigor mortis

Posterior a la muerte, se pierde el control nervioso, por lo que se observa la aparición de impulsos localizados, que inician rápidos ciclos de contracción relajación muscular. El *rigor mortis* se presenta poco después de la muerte en donde el tejido muscular se encuentra en un estado de rigidez sostenida y es inextensible. Los procesos que conducen al establecimiento del *rigor mortis* son similares a los que ocurren durante la contracción muscular, aunque se trata de una contracción sostenida, la condición del *rigor* es irreversible como consecuencia del agotamiento de las reservas de ATP que evitan la

ruptura de los puentes cruzados entre actina y miosina; además carece de control nervioso (Hui, 2006).

La pérdida de extensibilidad está muy relacionada con el descenso en la concentración de ATP. Mientras que la tasa de ATP se mantiene sin modificar no se observan cambios en la extensibilidad (*fase de demora*). A medida que desciende la tasa de ATP los hace también la extensibilidad (*fase de presentación*). La extensibilidad disminuye aproximadamente un 50% cuando las reservas de ATP bajan a la de mitad de la original. Cuando se agota la reserva de ATP, la extensibilidad es mínima (*fase de instauración y rigidez cadavérica*). El tiempo transcurrido desde el sacrificio hasta la instauración del *rigor mortis* y la duración de cada una de las fases está muy influido por la especie animal, forma de sacrificio temperatura y ambiente (Ordóñez, 1998).

1.1.3.4 Etapa de la maduración (*Post-rigor*)

La maduración de la carne o resolución del *rigor mortis* comprende los cambios posteriores al desarrollo de la rigidez cadavérica que determinan el relajamiento lento del músculo dando lugar a un ablandamiento lento de la carne después de 3-4 días de almacenamiento en refrigeración. Es un proceso muy complejo pero parece claro que se debe a proteinasas endógenas entre las que destacan las calpaínas o proteinasas neutras activas por el Calcio (CAF) y las catepsinas. Las calpaínas tienen una muy variada actividad proteolítica actuando preferentemente sobre las proteínas de la banda Z. Las catepsinas pueden actuar en las condiciones presentes en la carne y degradar la actina y la miosina. (Ordóñez, 1998).

1.2 Macro estructuras del tejido muscular

Se entiende por carne a la estructura muscular esquelética estriada, acompañada o no de tejido conectivo, hueso y grasa, además de fibras nerviosas, vasos linfáticos y sanguíneos; provenientes de los animales de abasto, que no ha sido sometida a ningún proceso que modifique de modo irreversible sus características sensoriales y fisicoquímicas NOM-194-SSA1-2004.

La carne se define según Hui (2006) como la porción comestible de animales sanos destinados para consumo humano. Está constituida primordialmente por tejido muscular y cantidades variables de tejido conectivo, epitelial, nervioso y adiposo. Los músculos animales se dividen en tres categorías: músculo esquelético, músculo estriado y músculo

liso. La carne es la organización más compleja de todos los alimentos y sus componentes estructurales influyen significativamente sobre la calidad.

No es fácil establecer la composición de la carne ya que existen muchas diferencias debidas a la especie animal estudiada, raza, sexo, tipo de alimentación y en muchos casos, aún más importantes el corte cárnico o músculo analizado. Los componentes mayoritarios de la carne son agua (65-80%), proteína (16-22%), grasa (3-13%) (Cuadro 1), aunque también posee pequeñas cantidades de otras sustancias, como las nitrogenadas no proteicas (aminoácidos libres, péptidos, nucleótidos, creatina), carbohidratos, ácido láctico, minerales y vitaminas (Ordóñez, 1998).

Cuadro 1. Composición química aproximada de la carne (%)

Animal	Pieza	Agua	Proteína	Grasa	Cenizas
Cerdo	Paleta	79.4	19.5	4.7	1.1
	Solomillo	75.3	21.1	2.4	1.2
	Chuleta	54.5	15.2	29.4	0.8
	Jamón	75.0	20.2	3.6	1.1
	Panceta	40.0	11.2	48.2	0.6
Vacuno	Pierna	76.4	21.8	0.7	1.2
	Lomo	74.6	22.0	2.2	1.2
Pollo	Muslo	73.3	20.0	5.5	1.2
	Pechuga	74.4	23.3	1.2	1.1

Fuente: Belizt y Grosch, 1997

El agua de la canal se encuentra principalmente en el tejido muscular magro; el tejido adiposo contiene poca agua. Por tanto, cuanto mayor sea la proporción de grasa, tanto menor será el contenido acuoso total de la canal o de una pieza de carne. Muchas propiedades físicas de la carne, como el color, la textura, y la firmeza de la carne cruda así como la jugosidad y dureza de la cocida, dependen en parte de la retención de agua de la carne, íntimamente relacionada con el pH final de la misma (Ordóñez, 1998).

1.2.1 Músculo esquelético

En términos generales, el tejido muscular esquelético representa aproximadamente el 50% del peso de la canal del ganado vacuno, ovino y porcino y esta, a su vez, da cuenta de alrededor del 55, 50 y 75% respectivamente del peso vivo de los mismos animales.

Así, puede decirse que el tejido muscular es un componente destacado del cuerpo de los animales y el principal de la fracción comestible (Ordóñez, 1998).

Los músculos esqueléticos se unen, directa o indirectamente, a los huesos, aunque algunos de ellos se unen inicialmente a los ligamentos, fascias cartílagos o pie. Cada músculo está cubierto con una capa fina de tejido conectivo, la cual se continúa con los componentes tisulares conectivos del interior del músculo. Las fibras nerviosas y los vasos sanguíneos entran y salen del músculo a través de los canales formados por el tejido conectivo, proporcionándole de esta forma un sistema de inervación y un lecho vascular para el aporte de nutrimentos y eliminación de desechos (Hui, 2006).

El músculo esquelético está formado por haces de fibras musculares recubiertas de tejido conjuntivo compuesto sobre todo de colágeno. La fibra o célula muscular es la unidad contráctil del tejido muscular. Son células largas multinucleadas de longitud y diámetro variable (Ordóñez, 1998). Las fibras musculares constituyen el 75-92% del volumen total del músculo, y el volumen restante lo ocupa el tejido conectivo, las fibras nerviosas y los fluidos extracelulares. Las fibras musculares se agrupan formando haces musculares o fascículos, que son los causantes del aspecto poliédrico irregular que se observa en los cortes transversales del músculo esquelético, están rodeadas de una película fina de tejido conjuntivo a la que se denomina endomisio. El término de perimisio se utiliza para definir la lámina de tejido conjuntivo que envuelve los grupos de fibras musculares (haces musculares) y el de epimisio para referirse a la fuerte lamina conjuntiva que rodea a cada músculo. La fibra muscular es por tanto una célula muy especializada, multinucleada y con los componentes típicos de cualquier célula (Figura 1); es decir, membrana, citoplasma, núcleo, mitocondrias, ribosomas, complejo de Golgi, retículo sarcoplásmico y un sistema de túbulos transversales relacionados con las miofibrillas que son organelos específicos de las fibras musculares (Hui, 2006).

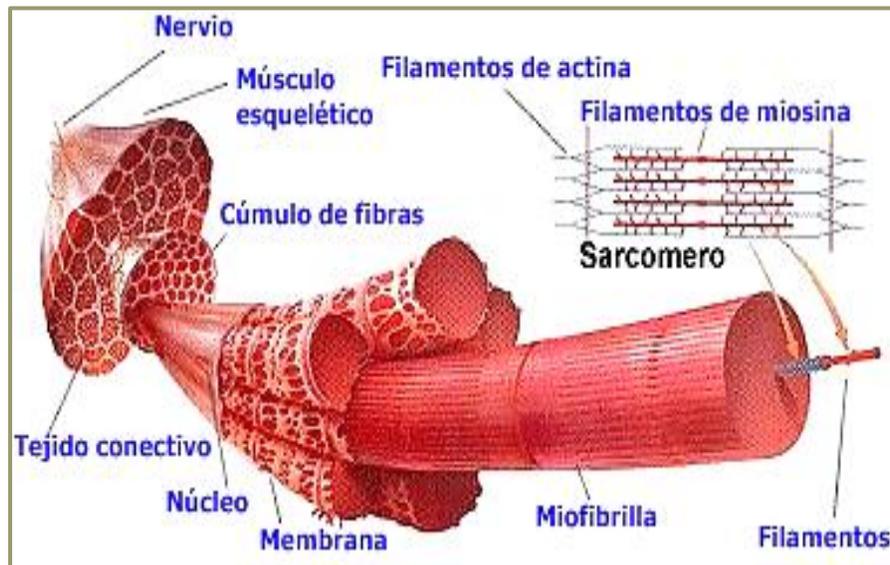


Figura 1. Estructura del músculo esquelético

Fuente: <http://www.bioquimicayfisiologia.com/2014/03/estructura-morfologica-de-la-fibra-muscular-esqueletica.html>

La membrana celular recibe el nombre de sarcolema, y constituye una membrana delicada situada inmediatamente debajo del endomisio (Hui, 2006). El sarcolema se compone de filamentos de tejido conectivo, una membrana de mucopolisacáridos y una membrana lipoproteica. El sarcoplasma se encuentra constituido por proteínas solubles como enzimas glucolíticas y la mioglobina (Primo, 1979).

El citoplasma de las fibras musculares se llama sarcoplasma y está constituido por una sustancia coloidal intracelular en la cual están suspendidos los organelos. En su composición interviene mayoritariamente el agua que representa 75-80% pero también gránulos de glucógeno, gotas de lípidos, ribosomas, numerosas proteínas, compuestos nitrogenados no proteicos y numerosos constituyentes inorgánicos (Hui, 2006).

El retículo sarcoplásmico es un sistema membranoso de túbulos y cisternas formando una red fina alrededor de cada miofibrilla. El retículo sarcoplásmico está constituido por una serie de elementos distintos, los túbulos longitudinales del retículo son relativamente finos orientados en dirección del eje de las miofibrillas, y que convergen en la zona H del sarcómero formando una sábana perforada llamada collar trenzado. Las mitocondrias son organelos cuadrangulares localizados en el sarcoplasma. Su función es capturar

energía del metabolismo de los carbohidratos, proteínas y lípidos y así proveer a la fibra muscular de una fuente de energía química. Contienen enzimas que la fibra usa en su metabolismo oxidativo (Hui, 2006).

La fibra muscular es multinucleada; en ocasiones, una fibra tiene varios miles de núcleos localizados en la periferia inmediatamente debajo del sarcolema. Los lisosomas están localizados en el interior de la fibra y contienen una gran variedad de enzimas de interés en la bioquímica muscular. Las miofibrillas son estructuras que se encuentran exclusivamente en el interior de la fibra muscular y son elementos contráctiles responsables de la apariencia estriada de músculo esquelético (Figura 2). En su interior, se aprecian varias bandas faciales llamadas A I y línea Z. Las áreas de la miofibrilla que aparecen más oscuras se corresponden con la banda o línea Z, y las regiones de la banda A en la que se producen solapamientos de filamentos delgados y gruesos. La unidad de la estructura muscular es el sarcómero y queda delimitado por dos líneas Z. El sarcómero es la unidad básica en la que tienen lugar los ciclos de contracción y relajación. Su longitud depende del grado de concentración y relajación muscular y se componen de filamentos delgados, grueso y línea Z (Ordóñez 1998).

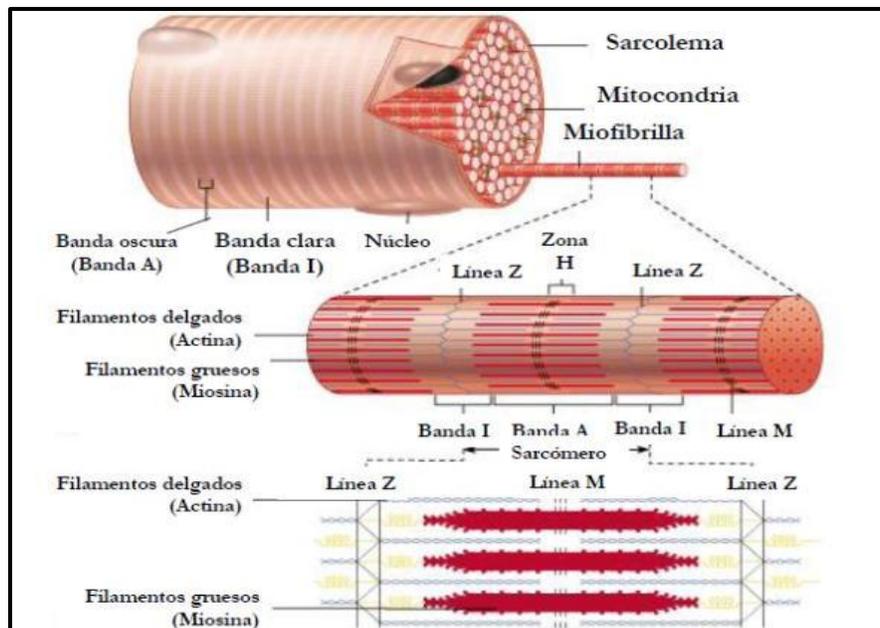


Figura 2. Estructura de las fibras musculares

Fuente: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211614/Modulo/leccin_1_estructura_del_tejido_muscular.html

1.2.1.1 Fibras musculares

Existe una gran variación individual en la calidad de la carne, tanto dentro como entre animales de la misma raza, sexo y ambiente. Esta variación en la calidad de la carne parece estar causada por las diferencias en varios factores, tanto intrínsecos como extrínsecos, los cuales interactúan entre sí y determinan los procesos metabólicos en los periodos *ante* y *post-mortem*. Una característica del músculo esquelético es su diversidad; es decir, la existencia de diferentes tipos de fibras musculares (Hui, 2006).

El músculo consiste en una colección heterogénea de fibras que poseen diferentes proteínas contráctiles. Utilizando técnicas histoquímicas clásicas (tinción con miosina ATPasa), existen tres tipos de fibras musculares en el músculo porcino adulto. Las fibras de tipo I (rojas, contracción-lenta) son las más pequeñas, más oxidativas y resistentes a la fatiga, mientras que las fibras de tipo IIB (blanco, contracción-rápida) son opuestas. El tipo IIA (rojo, contracción-rápida) es intermedio entre fibras de tipo I y IIB con respecto al metabolismo energético. En el músculo *longissimus* del cerdo doméstico, el 10% de las fibras son del tipo I, el 7% del tipo IIA 10 % y el 83% del tipo IIB según las técnicas histoquímicas clásicas (Eggert *et al.*, 2002).

Algunos músculos procedentes del mismo animal tienen colores distintos, lo que refleja diferentes tipos de fibras musculares. Las de músculos de coloración roja oscura son generalmente pequeñas y de contracción lenta en comparación con las procedentes de músculos más blancos. La mayoría de los músculos están formados por mezclas de los tres tipos de fibras aunque generalmente los músculos de los animales de abasto contienen una mayor proporción de fibras blancas que rojas. Las fibras rojas tienen una contracción lenta y tónica, mientras que las blancas la tienen rápida y fásica. Por esta razón y debido a su metabolismo, las fibras rojas se fatigan menos siempre que dispongan de oxígeno. Las fibras blancas se fatigan con relativa facilidad (Ordóñez, 1998).

Las variaciones en la distribución de los tipos de fibras dentro de los músculos son importantes cuando se estudia la composición de las fibras en relación con la calidad de la carne. Los músculos responsables de la posición del cuerpo son más oxidativos que los responsables de los movimientos. En cerdos, se ha demostrado que los músculos profundos de las extremidades tienen, generalmente, los porcentajes más altos de fibras oxidativas tipo I, mientras que los músculos superficiales tienen los porcentajes más altos de fibras glucolíticas (tipo IIB) (Hui, 2006).

Cuadro 2. Características de los músculos rojo y blanco

	Músculo Rojo (α o β)	Músculo Blanco (α)
Mioglobina	Abundante	Escasa
Metabolismo energético	Aerobio, Oxidativo	Anaerobio, glucolítico
Velocidad de contracción	Lenta (β), rápida (α)	Rápida (α)
Área de la sección transversal	Pequeña	Grande
Irrigación sanguínea	Abundante	Menos abundante
Acidificación <i>pos-mortem</i>	Lenta (β) más rápida (α)	Rápida (α)
Mitocondrias	Numerosas	Menos numerosas
Sustratos energéticos	Glúcidos, ácidos grasos	Glúcidos
Resistencia a la fatiga	Elevada	Baja
Tejido adiposo y conjuntivo asociado	Muy abundante	Poco

Fuente: Hui, 2006

1.2.2 Músculo estriado

El músculo estriado presenta la singular propiedad de una contractibilidad rítmica que continua incesantemente desde la vida embrionaria hasta la muerte. Las fibras del músculo estriado están ramificadas, pero en tronco principal es más delgado y más corto que el de las fibras del músculo esquelético. El sarcoplasma contiene numerosos gránulos de glucógeno, las mitocondrias son muy grandes y numerosas. Los miofilamentos del músculo estriado se disponen de forma tal que no originan miofibrillas. El músculo estriado tiene gran capacidad metabólica oxidativa, consecuentemente dispone de una amplia red de capilares sanguíneos (Forrest, 1979).

1.2.3 Músculo liso

Las fibras musculares lisas varían en tamaño en forma, dependiendo de su localización, no siempre tienen forma de huso, como normalmente ocurre, si no que pueden ser en contornos muy irregulares. En cortes transversales las fibras musculares varían, desde elipsoideas muy aplanadas hasta triangulares. El sarcolema de la fibra muscular lisa presenta puentes entre fibras vecinas. La fibra muscular lisa es mononuclear situándose en el núcleo generalmente en el centro de la célula, el retículo endoplásmico está menos desarrollado que en el músculo esquelético, los miofilamentos del músculo liso no

presentan tampoco ordenación tan completa como la del estriado sin embargo forman pares que disponen paralelamente al eje longitudinal de la fibra (Forrest, 1979). Las fibras del músculo liso no muestran las características estriaciones del músculo involuntario o esquelético, ciertos órganos que contienen músculo liso se usan como alimento (Fenemma, 2000).

1.3 Función muscular

El conocimiento de la estructura de un músculo dado, tiene interés tanto en el estudio de la función muscular, como en las aptitudes para obtener un producto de calidad en la transformación del músculo en carne (Graziotti, 2007).

1.3.1 Mecanismos de contracción y relajación del músculo

El mecanismo de la contracción se dispara por la llegada de un impulso nervioso a la membrana celular (sarcolema), que se transmiten al interior a través de sus invaginaciones tubulares (túbulos T) y produce una liberación de Ca^{2+} del retículo sarcoplasmático. El Ca^{2+} desencadena una serie de eventos que conducen a la contracción. El Ca^{2+} se une a la troponina, el complejo troponina- Ca^{2+} introduce un cambio estructural y posicional de la tropomiosina. Este cambio activa la actina por destape de sus sitios activos (Figura 3). Se produce la unión actina miosina con hidrólisis simultánea de ATP, giro deslizante u contracción de las miofibrillas. El giro contráctil se produce por la interacción de las cabezas terminales de la miosina con los sitios activos de la actina, y la hidrólisis de ATP por la acción enzimática de las mismas cabezas, que aporta la energía de la contracción (Primo, 1998).

La energía necesaria para la concentración muscular procede de la hidrólisis de ATP catalizada por la ATPasa de las cabezas de miosina. La relajación se produce por la eliminación de calcio y la desactivación de la actividad ATPasica de la miosina, provocando la disociación del complejo acto-miosina. Tan pronto como se reduce la concentración de iones Ca^{2+} y se desactiva la miosina-ATPasa, se forma el complejo ATP-magnesio que relaja y flexibiliza la estructura contráctil (Hui, 2006). El músculo necesita un aporte importante de ATP que se produce, en las mitocondrias, por el calcio tricarbónico, cuando hay suficiente aporte de O_2 . En los esfuerzos duros y continuados, si el aporte de O_2 por la sangre es insuficiente, la oxidación va por la vía glucólisis ácido láctico, ahorradora de O_2 y con menor rendimiento energético. El ácido láctico baja el pH y produce dolor muscular.

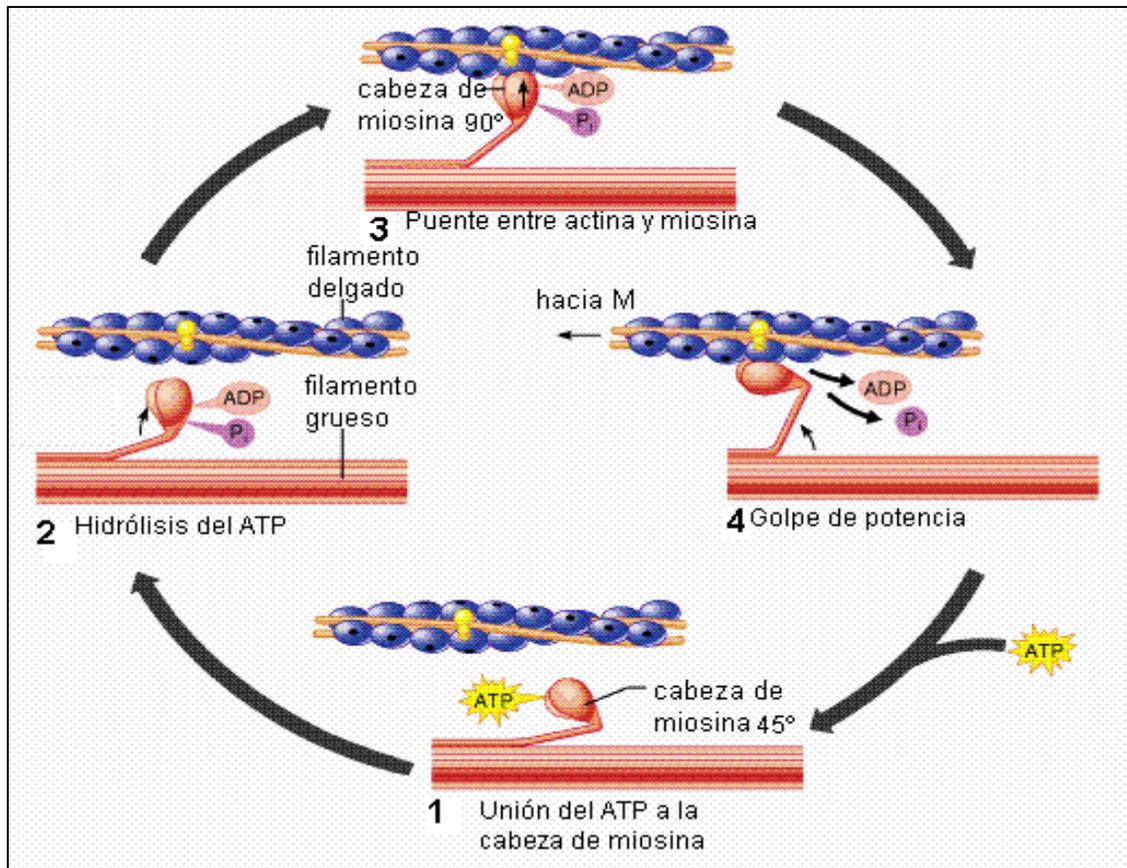


Figura 3. Mecanismos de contracción y relajación del músculo

Fuente: http://www.genomasur.com/BCH/BCH_libro/imagenescap_10/contr.GIF

En la relajación normal, el Ca^{2+} se reabsorbe en el retículo endoplásmico y baja en el sarcoplasma, el complejo Ca^{2+} -troponina se descompone y todo el mecanismo de la contracción retrocede a su estado relajado (Primo, 1998).

1.4 Microestructuras del tejido muscular

La composición del tejido muscular varía, entre otros factores, con la edad, género, especie y estado de nutrición, siendo las proteínas las que constituyen la fracción más importante de la materia seca (Cori, 2014). Las propiedades funcionales de las proteínas de la carne desempeñan un papel importante en cuanto a la tecnología de los alimentos, tanto en lo referente a los procesos de fabricación como por su incidencia en los atributos de calidad del producto final. Entre ellas merecen citarse la hidratación y retención de agua, de emulsión de grasa, de gelificación, de cohesión, de viscosidad, etc. Las propiedades funcionales difieren según el origen de la proteína y no se dispone de una proteína que reúna todas las características de funcionalidad (Fenemma, 2010).

1.4.1 Proteínas miofibrilares

Las proteínas miofibrilares más importantes son la actina y la miosina. Son las responsables de la estructura muscular y de la transformación de la energía química en energía mecánica durante los fenómenos de contracción y relajación del muscular. Son las que conforman estructuralmente el tejido muscular y, además, las que transforman la energía química en mecánica durante la contracción y relajación de los distintos músculos (Badui, 2006).

La miosina representa un porcentaje alto de las proteínas miofibrilares, tiene una estructura helicoidal con 55% de α -hélice, integrada por dos cadenas fibrosas rígidas semejantes enrolladas entre sí, que terminan en una doble cabeza constituida a su vez por cuatro cadenas polipeptídicas. La molécula en su conjunto mide 1,600 Å de longitud, 20 Å de diámetro, y tiene una cabeza de 50 Å; su peso molecular es de 480,000, es rica en lisina y en ácido glutámico. La cabeza tiene actividad enzimática y posibilidad de interactuar con la actina para producir la actomiosina; hidroliza el ATP en ADP y fosfato inorgánico, con liberación de la energía necesaria para el trabajo mecánico del músculo, en una reacción que se activa por iones calcio, pero que se inhibe por el magnesio. Aproximadamente se unen 400 moléculas de miosina en un arreglo cabeza-cola para producir un filamento grueso que es el responsable directo de las contracciones musculares. La actina es la segunda proteína miofibrilar de importancia que presenta dos fracciones: la G (actina globular) y la F (actina fibrosa); la primera tiene un peso molecular de 46 kDa y consta de 450 aminoácidos aproximadamente; es esférica con un diámetro de 55 Å, presenta 30% de conformación de α -hélice y contiene una molécula de ATP; la actina F se produce por la polimerización de la fracción G en presencia de magnesio y se combina con la miosina para formar la actomiosina. El complejo de actomiosina se disocia en presencia de ATP y de iones magnesio, tiene una mayor actividad enzimática para hidrolizar ATP, que se favorece por la presencia de Ca^{2+} y Mg^{2+} ; esta molécula está directamente relacionada con el fenómeno de la contracción y de la relajación muscular (Badui, 2006).

Asociados a los filamentos gruesos se encuentran otras proteínas, destacando la proteína C, con una función estructural al controlar la formación de los filamentos gruesos y la proteína M. En el filamento delgado también se encuentran la tropomiosina y el complejo troponina, ambos regulan la contracción muscular y cada uno de ellos

representan un 5% de las proteínas miofibrilares. Otras proteínas miofibrilares minoritarias del filamento delgado son β -actinina y γ -actinina (Ordóñez, 1998).

Además de los componentes principales del sarcómero, miosina y actina, se conoce una serie de proteínas citoesqueléticas responsables de la estabilización de la estructura del sarcómero. El componente más importante es la conectina, una proteína insoluble, capaz de formar filamentos finos que parten de la línea Z y que discurren entre los filamentos gruesos de sarcómeros vecinos. Estos filamentos contribuyen decisivamente a la firmeza de la carne. Otra proteína del esqueleto celular es la miomesina. Como componente principal de la línea M, la miomesina contribuye a la fijación del filamento grueso de la banda A y la unión de las miofibrillas vecinas (Belizt, 1997).

1.4.2 Proteínas sarcoplásmicas

Son solubles en agua o en tampones de poca fuerza iónica; representan alrededor de 30-35% del total de las proteínas. A este grupo pertenecen dos tipos principales de proteínas, el primero compuesto de enzimas y el segundo de sustancias que participan en el color de la carne, como la mioglobina y pequeñas cantidades de la hemoglobina, dado que esta se elimina en su mayoría, durante la sangría. La mioglobina se localiza principalmente en el músculo cardíaco y estriado de los vertebrados. Tienen pocas propiedades funcionales, pero son importantes por su actividad enzimática, de transporte y almacenamiento de oxígeno; desde el punto de vista de calidad de carne como alimento (Ordóñez, 1998; González 2003).

1.4.3 Proteínas del tejido conectivo

Constituyen las fibras extracelulares de colágeno, elastina y reticulina que, a su vez, forman parte del tejido conectivo típico que recubre las fibras y haces musculares. El colágeno es la proteína más abundante en los animales de abasto pudiendo alcanzar 30% del total de las proteínas corporales en los individuos adultos. Los tejidos ricos en colágeno comprenden huesos, cartílagos, tendones, y piel. El colágeno tiene una composición muy característica: 33% de los residuos aminoácidos que forman el colágeno son de glicona y un 23% de mezcla prolina más hidroxiprolina. El contenido de este último aminoácido es relevante constante (13-14%) y no aparece en cantidades significativas en otras proteínas animales. La unidad estructural básica del colágeno es la molécula monomérica de tropocolágeno. Tres moléculas de tropocolágeno enrolladas en hélice originan la fibrilla de colágeno. A medida que el animal envejece el colágeno va sufriendo

ciertas modificaciones, la estructura va estabilizándose mediante enlaces covalentes transversales en los que participan la lisina y la hidroxilisina (Ordóñez, 1998).

1.5 Mioglobina y color de la carne

La mioglobina es la principal proteína responsable del color de la carne, aunque otras proteínas hemo, tales como la hemoglobina y el citocromo C también pueden desempeñar un papel en el color de la carne de vacuno, cordero, cerdo y aves de corral. La mioglobina es una proteína soluble en agua que contiene 8 hélices α (A-H) (Mancini y Hunt, 2005). Es una proteína globular formada por una sola cadena polipeptídica (Figura 4). Su masa molecular es de 16,8 kDa y contiene 153 aminoácidos. La porción proteica de la molécula se denomina globina. El componente cromóforo responsable de la absorción de la luz y del color es una porfirina denominada hemo (Fenemma, 2000).

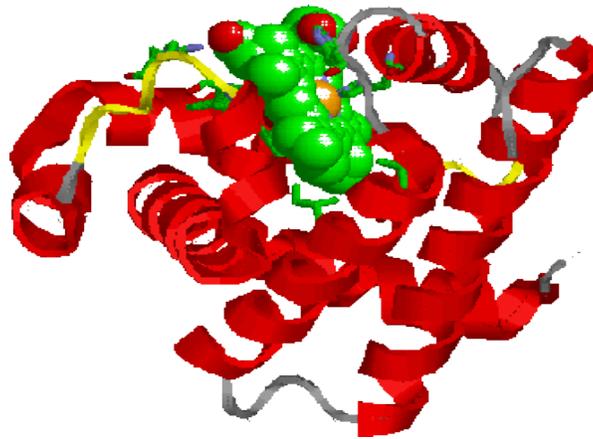


Figura 4. Estructura terciaria de la mioglobina

Fuente:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301106/EXE_301106/1212_protenas_sarcoplsmicas.html

Dentro del anillo porfirina, en posición central existe un átomo de hierro formando un complejo con cuatro átomos de nitrógeno tetrapirrólicos (Figura 5). La porfirina hemo está situada en un hueco hidrófobo de la proteína globina y unida a un residuo de histidina. El hierro localizado centralmente posee seis puntos de coordinación, cuatro de los cuales están ocupados por átomos de nitrógeno del anillo tetrapirrólico, y el quinto punto de coordinación está unido al residuo de histidina de la globina, quedando el sexto punto disponible para formar complejos con átomos electronegativos donados por diversos ligadores (Fenemma, 2000).

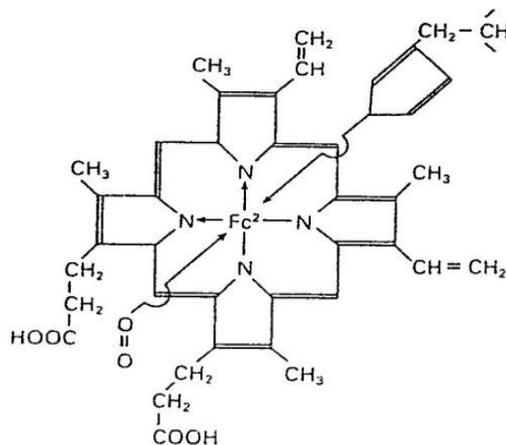


Figura 5. Estructura de la mioglobina. Anillo hemo oxidado y unido a la histidina de la globina

Fuente: http://www.guatequimica.com/tutoriales/proteinas/Mioglobina_y_Hemoglobina.htm

La histidina ha recibido la mayor atención debido a su papel clave en la estructura y función de la mioglobina. La mioglobina también contiene un grupo prostético situado dentro de la bolsa hidrofóbica de la proteína. El anillo hemo tiene un átomo de hierro localizado centralmente que puede formar seis enlaces, cuatro de estos enlaces están con nitrógenos de pirrol mientras que el quinto coordina con la histidina proximal-93, un sexto sitio está disponible para unirse de forma reversible a los ligandos. Una histidina distal-64 también influye en la dinámica del color al afectar las relaciones espaciales dentro del bolsillo hidrofóbico del hemo. El ligando presente y la valencia del hierro dicta el color del músculo. Por lo tanto, cuatro formas químicas principales de la mioglobina son las principales responsables del color de la carne (Mancini y Hunt, 2005).

El contenido de mioglobina en el músculo esquelético varía dependiendo del tipo de fibra muscular, especie y edad del animal. Los músculos de contracción lenta contienen más que los de acción rápida. La cantidad de mioglobina muscular se ve afectada por factores genéticos, al igual que por la edad, ejercicio y dieta del animal. En general, la cantidad de mioglobina muscular aumenta con la edad del animal, en cerdos se ha observado un descenso en el contenido de mioglobina cuando los animales tienen una deficiencia en hierro, también se ha descrito un aumento en animales con deficiencia en vitamina E y como consecuencia del ejercicio. Desde el punto de vista de procesamiento de carnes, el pigmento más importante es la mioglobina, dado que la hemoglobina se elimina durante el desangrado de los animales en el proceso de matanza (Ordóñez, 1998; Badui, 2006).

1.5.1 Fenómenos de oxidación y reducción de la mioglobina

El color de la carne de cerdo depende en gran medida de la cantidad de mioglobina y del contenido relativo de sus formas químicas, la forma oxigenada (oximioglobina - MbO₂), la forma oxidada (metamioglobina - MetMb) y la forma reducida (desoximioglobina - Mb) en la estructura tisular del cerdo. Esto está formado principalmente por el contenido de sus componentes químicos básicos y por la dinámica y extensión de la reducción *post mortem* del pH que afecta a la desnaturalización de las proteínas musculares (Tadeusz *et al.*, 2013). La reducción de oximioglobina en la superficie de la carne fresca es una reacción de dos pasos (Figura 6). Como resultado, la oximioglobina no se convierte directamente en desoximioglobina, sino que primero procede a través del estado redox férrico a presiones parciales de bajo oxígeno. La eliminación endógena de oxígeno para lograr presiones parciales de bajo contenido de oxígeno se produce a través del consumo de oxígeno, lo que probablemente da lugar a la oxidación de oximioglobina a metamioglobina (Badui, 2006).

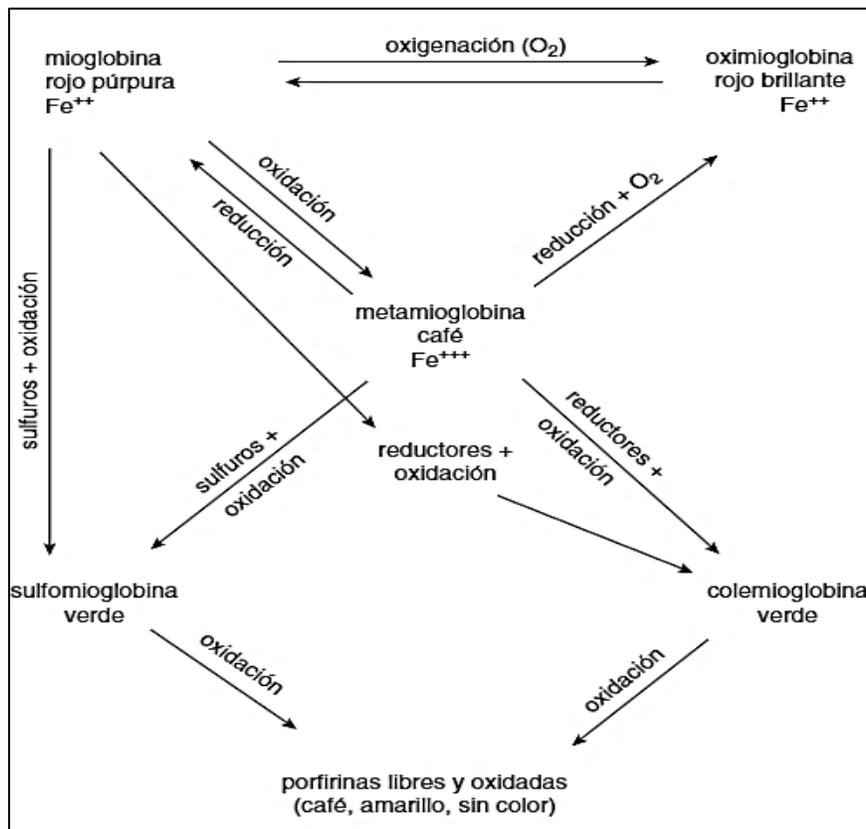


Figura 6 Reacciones químicas sufridas por la mioglobina

Fuente: Badui, 2006

La desoximioglobina está presente cuando no hay ningún ligando en el 6º sitio de coordinación y el hemo hierro es ferroso (Fe^{2+}). Esto da como resultado el color rojo púrpura típicamente asociado con el producto envasado al vacío y el músculo inmediatamente después del corte. Se requiere una tensión de oxígeno muy baja (<1,4 mm Hg,) para mantener la mioglobina en un estado desoxigenado. La oxigenación ocurre cuando la mioglobina se expone al oxígeno y se caracteriza por el desarrollo de un color rojo cereza brillante. No se produce cambio en la valencia del hierro durante la oxigenación, aunque el 6º sitio de coordinación está ocupado por oxígeno diatómico. Además, la histidina distal interactúa con el oxígeno unido, alterando la estructura y la estabilidad de la mioglobina. A medida que aumenta la exposición al oxígeno, la oximioglobina penetra más profundamente bajo la superficie de la carne. La profundidad de la penetración de oxígeno y el grosor de la capa de oximioglobina dependen de la temperatura de la carne, la presión parcial de oxígeno, el pH y la competencia por el oxígeno por otros procesos respiratorios (Mancini y Hunt, 2005).

La decoloración resulta de la oxidación de ambos derivados de la mioglobina ferrosa al hierro férrico. Aunque la decoloración se refiere a menudo como la cantidad de área superficial cubierta por la metamioglobina, las formas de mioglobina superficiales también juegan un papel en la apariencia del producto. Esto se debe a que la metamioglobina bajo la superficie (localizada entre la oximioglobina superficial y la desoximioglobina interior) gradualmente se espesa y se mueve hacia la superficie. La formación de metamioglobina depende de numerosos factores, como la presión parcial de oxígeno, la temperatura, el pH, la actividad reductora de la carne y, en algunos casos, el crecimiento microbiano (Mancini y Hunt, 2005).

La reducción de la metamioglobina es crucial para la vida del color de la carne y depende en gran medida de las enzimas que eliminan el oxígeno del músculo, reduciendo los sistemas enzimáticos. Desafortunadamente, tanto la actividad enzimática como la concentración de NADH se agotan continuamente a medida que avanza el tiempo *post-mortem*. Aunque es vital para la estabilidad del color de la carne, la reposición *post-mortem* de la reserva de NADH ha recibido poca atención. La pigmentación del músculo estriado varía en intensidad, de acuerdo con la cantidad del pigmento y de tonalidad, según el grado de oxidación del grupo hemo dado por el ambiente gaseoso. La cantidad de mioglobina en el músculo depende del tipo de metabolismo que se lleva a cabo en un músculo en particular: glucolítico (movimientos lentos) en el cual son más abundantes las

fibras blancas con poca mioglobina, u oxidativo (movimientos rápidos) con mayor abundancia de fibras rojas con más cantidad de mioglobina, entre otras características que los diferencia (Mancini y Hunt, 2005).

1.5.2 Determinación del contenido de mioglobina

Los métodos utilizados para la determinación de las cantidades de pigmentos en la carne, que consisten en ensayos de extracción y ensayos colorimétricos, no tienen en cuenta el impacto de la estructura tisular, por lo que no determinan con precisión el efecto de la cantidad de pigmentos en la carne y el contenido relativo de las formas de mioglobina en los parámetros de color de la carne de cerdo. Los métodos espectrofotométricos parecen ser más eficaces para esto. El impacto sobre el efecto de la cantidad de pigmento sobre los parámetros de color de la carne cruda puede deducirse de la absorbancia cromática a una longitud de onda de 525 nm, es decir, en el punto isobéptico de las tres formas químicas de mioglobina. La absorbancia cromática a 525 nm es directamente proporcional a la cantidad de pigmento alcanzado por la luz, es decir, la cantidad de pigmento implicado en la formación de color (Tadeusz *et al.*, 2013).

Krzywicki (1979) afirma que cuando la longitud de trayectoria de la luz en el tejido en dos muestras de carne es la misma, entonces el valor de la absorbancia cromática a una longitud de onda de 525 nm es directamente proporcional al contenido de pigmento en estas muestras. En cualquier otro caso, el contenido de pigmento no es directamente proporcional a la cantidad de pigmento que afecta al color. En estudios sobre los efectos de la cantidad de pigmento y la cantidad relativa de las formas químicas de mioglobina en los valores de color de la carne, las mediciones de su reflectancia/absorbancia son más útiles que la determinación del contenido de pigmento de la carne. No siempre es posible convertir completamente la carne al 100% de estas formas de mioglobina, especialmente no con carne de alto pH. Además, estas mediciones tienen que hacerse en tres rebanadas de carne diferentes, que pueden diferir. El método de Krzywicki (1979) es más sencillo ya que el cálculo procede de las mediciones de reflectancia de la carne real y no se ve afectado por el pH de la carne. El uso de la longitud de onda 710 nm en lugar de los 730 nm propuesto por Krzywicki (1979) para corregir la reflectancia acromática de la luz en la superficie de la carne probablemente no fue significativo, ya que se alcanzó un máximo de reflectancia a 690-700 nm (Lindahl, 2001).

1.6 Parámetros de calidad de la carne

La calidad es un tema complejo, esto quiere decir que el cliente no solamente está exigiendo un alto contenido de magro en las canales porcinas y en especial en las piezas más costosas como los lomos y perniles (jamones); sino también que el producto (carne) reúna una serie de características que permitan producir la calidad más satisfactoria con el mejor rendimiento. El concepto calidad de la carne está formado por factores sensoriales, nutricionales, higiénicos y tecnológicos (Eusse, 2009).

1.6.1 Físicos

El color normal de la carne de cerdo fluctúa entre un rojo y rosado. La uniformidad en el color es usualmente apreciable en músculos individuales; cuando se aprecian los músculos en conjunto, el color puede variar considerablemente. El consumidor puede considerar como defecto la variación en el color de la carne, bien sea por demasiado pálidos o demasiado oscuros. Esta variación en el color puede obedecer a los siguientes factores:

- El color más oscuro puede resultar de: Aumento de mioglobina con la edad del animal; o músculo o grupo de músculos con mayor actividad fisiológica (músculos flexores o extensores).
- Penetración de oxígeno en la superficie.
- Contaminación bacteriana. Deshidratación en la superficie.
- Falta de acumulación de ácido láctico después del sacrificio. Condición DFD (oscuro, firme y seco).

El color rosa pálido casi gris se puede presentar como consecuencia de una rápida conversión de glucógeno muscular a ácido Láctico (pH muscular bajo=acidez) (Eusse, 2009).

1.6.2. Físicoquímicos

1.6.2.1 pH

El pH es la forma más común de expresar la acidez o alcalinidad. Es un valor que determinará si una sustancia es básica, neutra o alcalina, con base en una escala que va del 0 al 14 donde; valores inferiores a 7 indicarán que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indicarán que la sustancia es básica. Un valor de 7 indicará que la sustancia es neutra (Velázquez *et al.*, 1982).

El sacrificio animal es la muerte profesional e indolora del mismo destinado para el consumo humano, con operaciones de descanso, aturdimiento y desangrado adecuados, exponiendo al animal a niveles bajos de estrés, a fin de hacer humanitaria su muerte (López, 2004, citado por Albarracín *et al.*, 2013).

Tras ocurrir el sacrificio del animal, se lleva a cabo el proceso de transformación donde el músculo se convierte en carne, la cual es el resultado de dos cambios bioquímicos que ocurren en el periodo del *post-mortem*: el *rigor mortis* y la maduración. Estos cambios, tendrán un efecto en el pH, donde el pH final o último se le conoce como aquel que se determina a las 24 horas después del sacrificio. El principal proceso que se lleva a cabo durante el establecimiento del *rigor mortis* es la acidificación muscular (Zimerman, 2010).

En un músculo en reposo, el adenosín tri-fosfato (ATP) mantiene el músculo del animal en estado relajado, pero tras el sacrificio, cesa todo aporte sanguíneo de oxígeno y nutrientes, de manera que el músculo utiliza la ruta anaeróbica para transformar el glucógeno (reserva energética) en ATP y así mantener su temperatura e integridad estructural. El ATP formado se obtiene por medio de la transformación de la degradación de glucógeno en ácido láctico, el cual ya no puede ser eliminado por el sistema sanguíneo, provocando el descenso del pH muscular (Warris, 2003, citado por Zimerman, 2010).

El descenso del pH dependerá del tipo de fibras que predominan en el músculo y de la actividad muscular antes del sacrificio; los músculos con predominio de fibras de contracción rápida (blancas) alcanzan valores finales de 5,5 mientras que en los músculos en donde predominan las fibras de contracción lenta (rojas) el pH no baja de 6,3. (Ordoñez, 1998, citado por Garrido, 2005). El proceso de acidificación dura normalmente 4-5 h en porcinos, 12-24 h en ovinos y 15-36 h en vacunos (Drandsfield, 1994, citado por Warris, 2003).

El pH desciende en los músculos típicos de mamíferos desde valores cercanos a 7-7.3 hasta valores entre 5.5 y 5.7 en las primeras 6 a 12 horas del sacrificio. La cantidad de glucógeno en los músculos antes del sacrificio dependerá en gran medida de todos aquellos factores que causan estrés físico y fisiológico a los animales. Por esto, el pH muscular resulta ser una medida para cuantificar el nivel de reserva energética en el músculo, además de permitir valorar cómo ha sido tratado el animal antes del sacrificio (Zimerman, 2010). No obstante, el pH no se puede predecir en función de la glucosa

sanguínea pero puede indicar la efectividad del ayuno y su respuesta al estrés (Amtmann, 2006, citado por Albarracín, 2013).

Dos de los principales problemas de calidad en la carne, son el defecto PSE (pale, soft, exudative) y el DFD (dark, firm, dry), y están definidos por el valor del pH en momentos determinados. El primero afecta a los cerdos y el segundo está presente en todas las especies. La carne PSE es aquella que posee un pH inferior a 6 en los primeros 45 min *post-mortem*, mientras que la carne DFD es aquella que posee un pH igual o superior a 6 después de las 12-48 h *post-mortem* (dependiendo de la especie) (Zimerman, 2010). Se describirán con más detalle más adelante.

Existen muchos factores que afectan el pH de la carne y por lo tanto, su calidad. Estos se presentan en tres momentos por los que pasa la carne: *ante-mortem*, *pre-mortem* y *post-mortem*. La raza, el sexo, edad y peso, el individuo, sistema de producción, dieta, el estrés, transporte, el sistema de producción, el desarrollo del sacrificio y la temperatura de las canales, son todos ellos, factores que pueden afectar el pH de la carne (Sañudo *et al.*, 1998, Zimerman, 2010, Albarracín, 2013).

1.6.2.2. Actividad de agua (a_w)

La actividad de agua o a_w , indica la disposición de agua del alimento para los microorganismos o la utilizada como barrera de protección de los lípidos (Placido y Alemán, 2002; Price *et al.*, 1976, citado por Restrepo *et al.*, 2001). La medida de su valor es una herramienta de predicción de la estabilidad física, química y microbiológica, y por consiguiente, de la vida útil de los alimentos (Labuza, 1980, citado por Placido y Alemán, 2002).

La a_w se define como la relación entre la presión de vapor de agua de un alimento o producto y la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura. Se usa para caracterizar el estado de equilibrio del agua en una matriz alimenticia que iguala la presión de vapor relativa de equilibrio del agua en la atmósfera circundante. Existirá una transferencia de masa de agua del alimento hacia el entorno o viceversa hasta llegar a dicho equilibrio, donde los valores de a_w deben ser iguales en ambas fases a temperatura y presión constante (Roos y Drusch, 1995).

Los métodos de determinación de a_w se refieren a la humedad relativa de equilibrio (HRE) que alcanza la atmósfera del sistema de ensayo al exponerse la muestra problema. Esta

determinación se puede lograr de diversas formas: midiendo la presión manométrica de vapor de agua (Benado y Rizvi, 1987, citado por Placido & Alemán, 2002), la humedad relativa de equilibrio mediante el uso de higrómetros (Labuza, 1976; Troller, 1977, citado por Placido y Alemán, 2002), realizando interpolación entre dos soluciones de a_w conocidas (Landrock & Proctock, 1951, citado por Placido y Alemán, 2002), o en función de la composición química (Lupin *et al.*, 1981 citado por Placido y Alemán, 2002).

La a_w tiene un valor máximo de 1 y un mínimo de 0. Cuando menor sea este valor, mejor será la conservación del producto, juega un papel importante en la conservación de la carne fresca, ya que junto a su alto contenido nutricional, la carne se clasifica dentro del grupo de alimentos altamente perecederos, al igual que la mayoría de los productos elaborados con ella, sin embargo, de acuerdo a sus características particulares, el tipo de microorganismos que se pueden desarrollar pueden variar. La a_w de la carne fresca es de 0.98 - 0.99, cifras que son sumamente favorables para la multiplicación de todas las especies microbianas. Las variaciones en el a_w de la superficie de la carne (relacionada con la humedad relativa) tiene grandes repercusiones sobre el crecimiento microbiano superficial; todo descenso en el a_w , supone una desecación que se opone a la multiplicación microbiana (Restrepo, 2001).

1.7 Defectos de la carne

1.7.1 PSE

Una de los principales problemas que tiene la industria cárnica y, sobre todo, la dedicada al sacrificio y obtención de carne de cerdo, es la elevada incidencia de las denominadas carnes PSE (*pale, soft y exudative*: pálidas suaves y exudativas). Estas carnes se caracterizan, como su nombre lo indica, por ser carnes más pálidas, más blandas y más exudativas que las obtenidas en procesos *post-mortem* normales. Además, son carnes en las que ha habido una marcada hipertermia durante el periodo *post-mortem* (Ordóñez, 1998). La condición PSE altera el color como se observa en la figura 7, la textura y el sabor de la carne, acidificándola y ocasionándole baja retención de agua, menor valor nutricional y rechazo por el consumidor (Castrillón *et al.*, 2005).

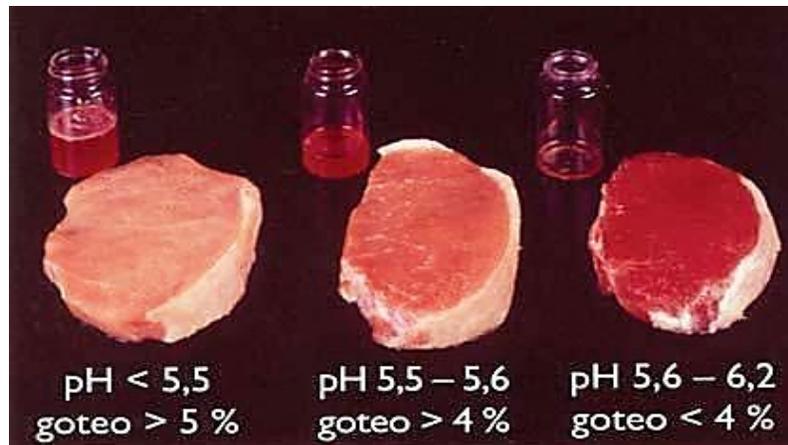


Figura 7. Carne PSE, normal y DFD. Diferencia de color y pérdidas por goteo según el pH de la canal de cerdo

Fuente: Mirallas, 2007

La cuestión de la presencia de carne de cerdo PSE ha sido de interés para los investigadores durante muchos años. Hoy en día, el mecanismo de la aparición de este defecto en la carne es bien entendido. También se conocen factores genéticos y ambientales que promueven su aparición, entre los cuales los más importantes se refieren a cerdos portadores del gen RYR1T y la falta de mantenimiento de un buen bienestar de los animales durante el manejo previo al sacrificio de animales, especialmente directamente antes del sacrificio (Florowsky *et al.*, 2017).

También hay pruebas de que los factores genéticos dentro de una raza específica pueden aumentar su predisposición a la condición. La aparición del defecto PSE se asocia con el estado de estrés agudo, de corta duración, que sufre el cerdo en el periodo inmediato previo a la matanza. Este episodio de estrés favorece la rápida depleción del glucógeno, aumenta la tasa de glucólisis *post-mortem*, lo que a su vez provoca la acumulación de ácido láctico y una rápida caída de pH. De ahí que el pH a los 45 minutos *post-mortem* se utilice como criterio para estimar la presencia de carne PSE, cuyo pH suele ser inferior a 6 después de transcurrido este tiempo. El descenso de pH es mucho más rápido en una carne PSE que en una normal pudiéndose alcanzar en las primeras el pH final solo a los 15-20 minutos *post-mortem* cuando aún la temperatura del músculo esta próxima a los 37°C. La combinación de pH bajo y elevadas temperatura (hipertermia) origina una precipitación de las proteínas sarcoplásmicas y una menor capacidad de retención de agua debido a la desnaturalización de las proteínas miofibrilares. Además se origina una

estructura abierta de las fibras musculares dando lugar a las características de las carnes PSE. Estas carnes se dan sobre todo en cerdos y para evitar su desarrollo se recomienda un buen manejo de los animales ya que cuando se reduce al mínimo estrés de los animales durante el transporte y el sacrificio se consigue un descenso en la incidencia de estas carnes (Warris, 2003; Ordoñez, 1998).

1.7.2 DFD

La carne seca, firme y oscura (DFD) es un defecto de la calidad de la carne que se asocia con la carne de ganado vacuno, pero se sabe que también ocurre en la carne de cerdo. Se caracteriza por valores altos de pH que resultan de los bajos niveles de glucógeno muscular y de fosfato de creatina presentes en el momento del sacrificio (limitación de la formación de lactato). El resultado es una carne que tiene una capacidad de retención de agua (Water Holding Capacity (WHC)) considerablemente más alto de lo normal, ya que el pH (6.0) está más alejado del punto isoeléctrico de la misona (5.0). Esta ventaja se ve compensada en gran parte por su susceptibilidad al aumento del crecimiento microbiano y su color que es más probable que sean rechazados por los consumidores. El color oscuro es el resultado del alto pH *post-mortem* que mantiene la proteína muscular altamente cargada, maximizando así la separación de las miofibrillas musculares y reduciendo la dispersión de la luz. Además, la respiración mitocondrial a un pH más alto también reduce la fracción de oximioglobina en el tejido. DFD puede ser causada por una serie de factores como la dieta, el ejercicio (agotamiento), y el estrés a largo plazo en el animal vivo. Sus tasas de incidencia tienden a ser estacionales, con tasas más altas reportadas cuando los animales son sometidos a largos períodos de tiempo frío y húmedo (Keenan, 2016). Se ha reportado que cuando el cerdo es sometido a un estrés de larga duración, las reservas de glucógeno previo al sacrificio se verán disminuidas, y en consecuencia también lo será la formación de ácido láctico en el músculo *post-mortem* (Lindahl, 2005).

1.8 Evaluación de los parámetros de perfil de color

1.8.1 Color

Se puede definir el color en el sentido físico como la distribución de energía de una luz reflejada o transmitida por un alimento en particular. Esta energía está implícita en el espectro electromagnético continuo, en intervalos que van desde longitudes en onda (λ) de 10^{17} nm. La porción del espectro electromagnético que es sensible a visible para el ojo humano (380 a 770 nm) solo es una pequeña porción de ese espectro. El color de un alimento estará influenciado por la absorción de la luz por las partículas de ese alimento.

La demostración clásica se ha dado con la apariencia de algunas piezas de vidrio de una botella de color verde, obviamente estos pedazos aparentemente son verdes; sin embargo cuando dichas piezas son pequeñas, tienen una apariencia blanca más que verde, debido a una reflexión múltiple entre las partículas (Alvarado, 2001)

1.8.2 Teoría del color

Para la percepción del color es necesaria la interacción de tres elementos básicos: la fuente de luz, el objeto y el detector. La luz incide sobre el objeto o espécimen a evaluar por ejemplo la carne, el detector que puede ser el ojo humano o bien un instrumento de medición de color como espectrofotómetro. Para una respuesta sensorial humana y la detección de color, el ojo y el cerebro trabajan en sinergia para detectar y estimular el proceso de discernir el color. El ojo humano es tricromático, por lo que el cerebro interpreta la intensidad de rojo, verde y azul a razón de esto se han desarrollado escalas de medición del color que corresponden con la percepción del ojo humano (AMSA, 2012).

La luz visible es una parte del espectro electromagnético, que define por las longitudes de onda de energía y emisión incluye radar, infrarrojos, ultravioleta, rayos X, rayos gamma y rayos cósmicos. Sin embargo, los seres humanos solo puede detectar la luz en el espectro visual que va desde 390 hasta 750 nm. En este estrecho rango del espectro electromagnético, el ojo tiene la capacidad para separar las longitudes de onda en grupos de color (AMSA, 2012).

1.8.3 Sistema de medición de color CIELab

El CIE (Comisión Internacional de la Iluminación) desarrolló un sistema basado en una fuente de iluminación estándar y un observador estándar, sobre el que se construyó un sistema tricromático basado en la percepción del ojo humano: rojo, verde y azul, y tres parámetros: L^* luminosidad, a^* rojo a verde; b^* amarillo a azul. Con el espacio de color CIELAB (Figura 8) es posible describir cualquier color. Por otra parte, existen dos magnitudes psicofísicas, el tono (h^*) y el croma (C^*), calculadas a través de fórmulas matemáticas a partir de a^* y b^* (Badui, 2006).

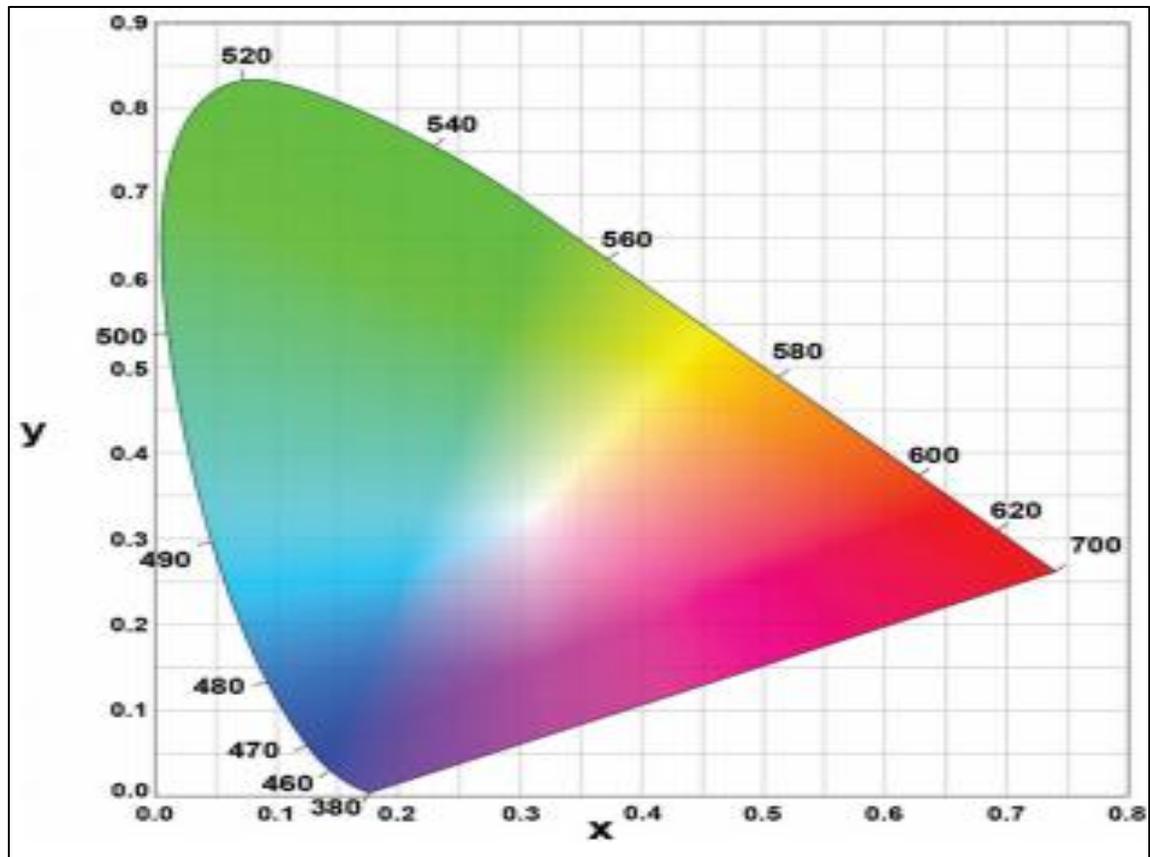


Figura 8. CIE (1931) Espacio del color

Fuente: AMSA, 2012

Para el espacio de color, valores de a^* se representan en el eje de X, los valores de b^* en el eje Y y los valores de L^* en el eje Z. En el centro del espacio de color es gris neutro. A lo largo del eje X, a^* positiva representa rojo, y una negativa a^* representa verde (escala de 60 para el rojo y -60 para el verde). A lo largo del eje Y, b^* positivo representa amarillo y un b^* negativo representa azul (escala de 60 para amarillo y -60 para azul). La tercera dimensión L^* se representa numéricamente donde 100 es blanco y 0 es negro (Figura 9).

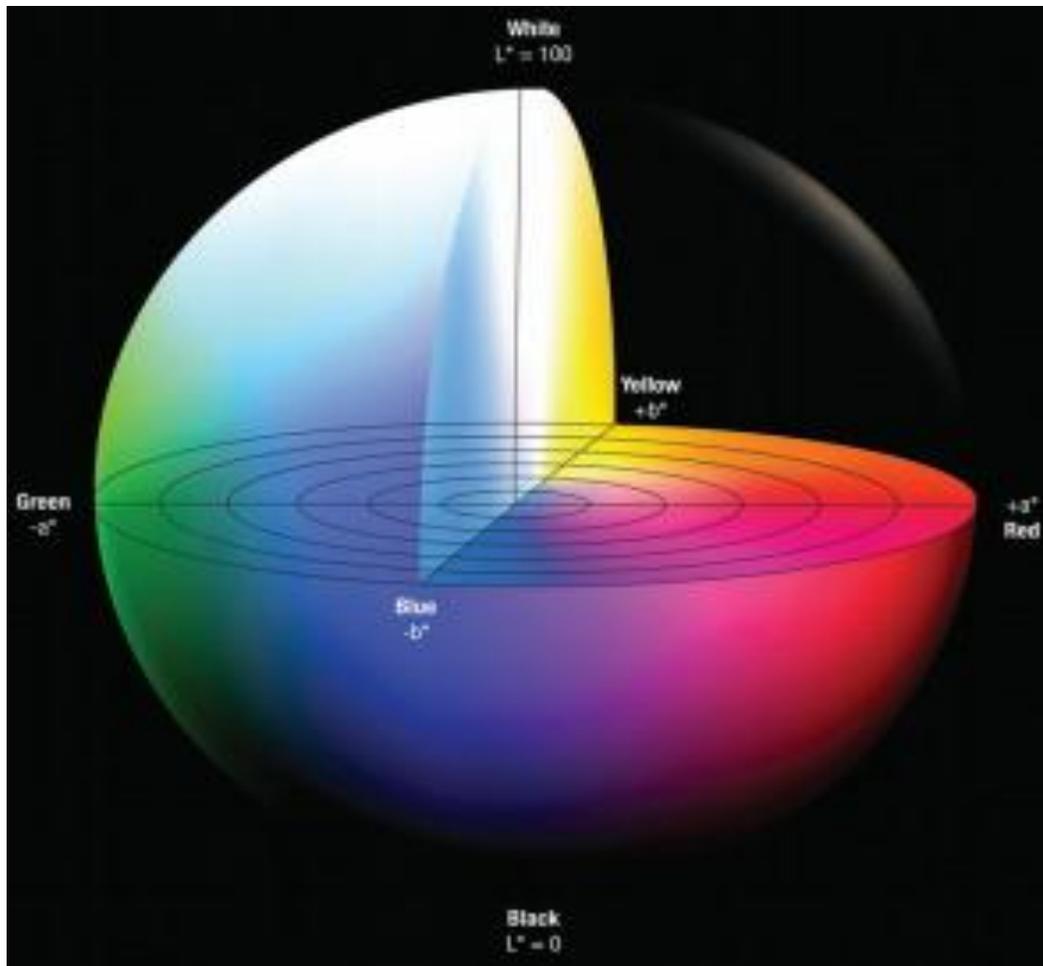


Figura 9. Representación de color sólido para el espacio de color CIE L^* , a^* , b^*

Fuente: Konica Minolta

En este espacio de color a^* y b^* los valores pueden trazarse para establecer el color o tono de una muestra de carne (Figura 9). Usando el valor de L^* , claridad u oscuridad de la muestra se puede determinar. Por lo tanto, el uso de funciones trigonométricas, el ángulo incidente de una muestra se desvía del eje X se puede calcular para determinar el ángulo de tono (color) de la muestra y la distancia de la muestra desde el origen de las líneas XYZ se puede calcular para determinar la saturación o intensidad de la muestra (AMSA, 2012).

Chroma se define como el índice de saturación de color, el cual indica cuán intenso es determinado color. C^* se calcula a partir de los valores de a^* y b^* mediante la siguiente fórmula (Figura 10).

$$C^* = \sqrt{a^* + b^*}$$

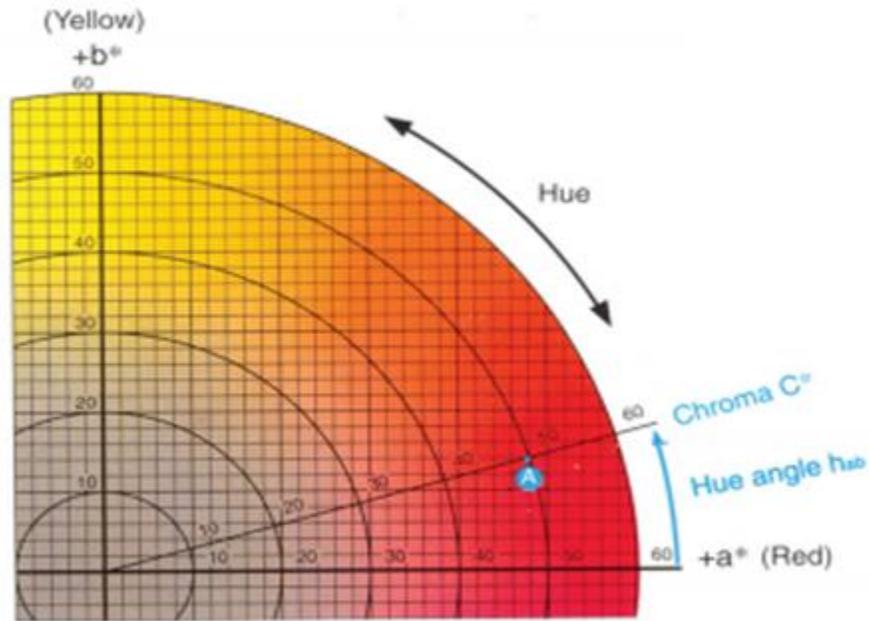


Figura 10. Ilustración de Hue y Chroma C* en parte de un diagrama de cromaticidad. El punto A corresponde a la intersección ente a* (47.63) y b* (14.12)

Fuente: AMSA, 2012

El ángulo *Hue* se calcula como:

$$h = \text{arco tangente} \frac{b^*}{a^*}$$

La trama de a* y b* puntos y el ángulo correspondiente establecerá el color de la muestra. Del mismo modo, ya que los colores se hacen más vivos alrededor de la periferia del espacio del color, cuanto más lejos a* b* puntos de la trama son desde el origen, más vivo será el color.

El ΔE puede calcularse utilizando la fórmula

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

1.8.4 Espectrofotometría

Se denomina espectrofotometría a la medición de la cantidad de energía radiante que absorbe un sistema químico en función de la longitud de onda de radiación, y a las mediciones a una determinada longitud de onda (Alvarado, 2001). El instrumento básico para medir los factores de reflectancia espectrales que genéricamente se denominan como reflectancia, es el espectrofotómetro. La reflectancia de manera general se expresa

como porcentaje y usualmente se construyen registros gráficos de %R y la longitud de onda en las ordenadas en el segmento visible desde 350 a 400 [nm] (violeta) hasta 700 a 750 [nm] (rojo). De manera general los espectrofotómetros de reflectancia constan de una fuente de luz blanca que al pasar a través de un prisma se descompone para producir el espectro, del que se pueden aislar diferentes segmentos mediante el uso de una red de difracción. La luz monocromática resultante pasa a su vez a través de la muestra dando lecturas de transmisión o reflexión (Alvarado, 2001). El uso de espectrofotómetros para la evaluación objetiva del color, ha permitido su caracterización y es una de las herramientas más utilizadas con fines de investigación (Tapp *et al.*, 2011).

La reflectancia se refiere a la relación entre la potencia electromagnética incidente con respecto a la potencia que es reflejada en una interfase. La reflectividad puede expresarse como un número complejo como queda demostrado por las ecuaciones de Fresnel para una capa simple, mientras que la reflectancia es siempre un número real positivo (AMSA, 2012). Las curvas espectrales de reflectancia permiten identificar aquellas longitudes de onda que reflejan la carne y así como conocer el porcentaje de onda con la que incidió el material. Como se puede observar en general todos exhiben los mismos máximos, o por lo menos aproximados, el primero está entre 480 y 500 nm y el segundo máximo se encuentra entre 650 y 700 nm es ahí donde las ondas rojas predominan. Las variaciones se encuentran en los factores de reflectancia, que tiene que ver con la opacidad de la muestra.

JUSTIFICACIÓN

El color es una de las características más importantes que determinan evaluación y aceptación por parte del consumidor. El color de la carne depende de un gran número de factores biológicos intrínsecos tales como la especie, raza, edad, sexo, alimentación y tipo de músculo. Los distintos tipos de músculo presentan diferente composición química según su funcionalidad. El metabolismo de los músculos rojos u oxidativos, está asociado a concentraciones más altas de mioglobina caso contrario de los glucolíticos el contenido en mioglobina influye sobre características del color.

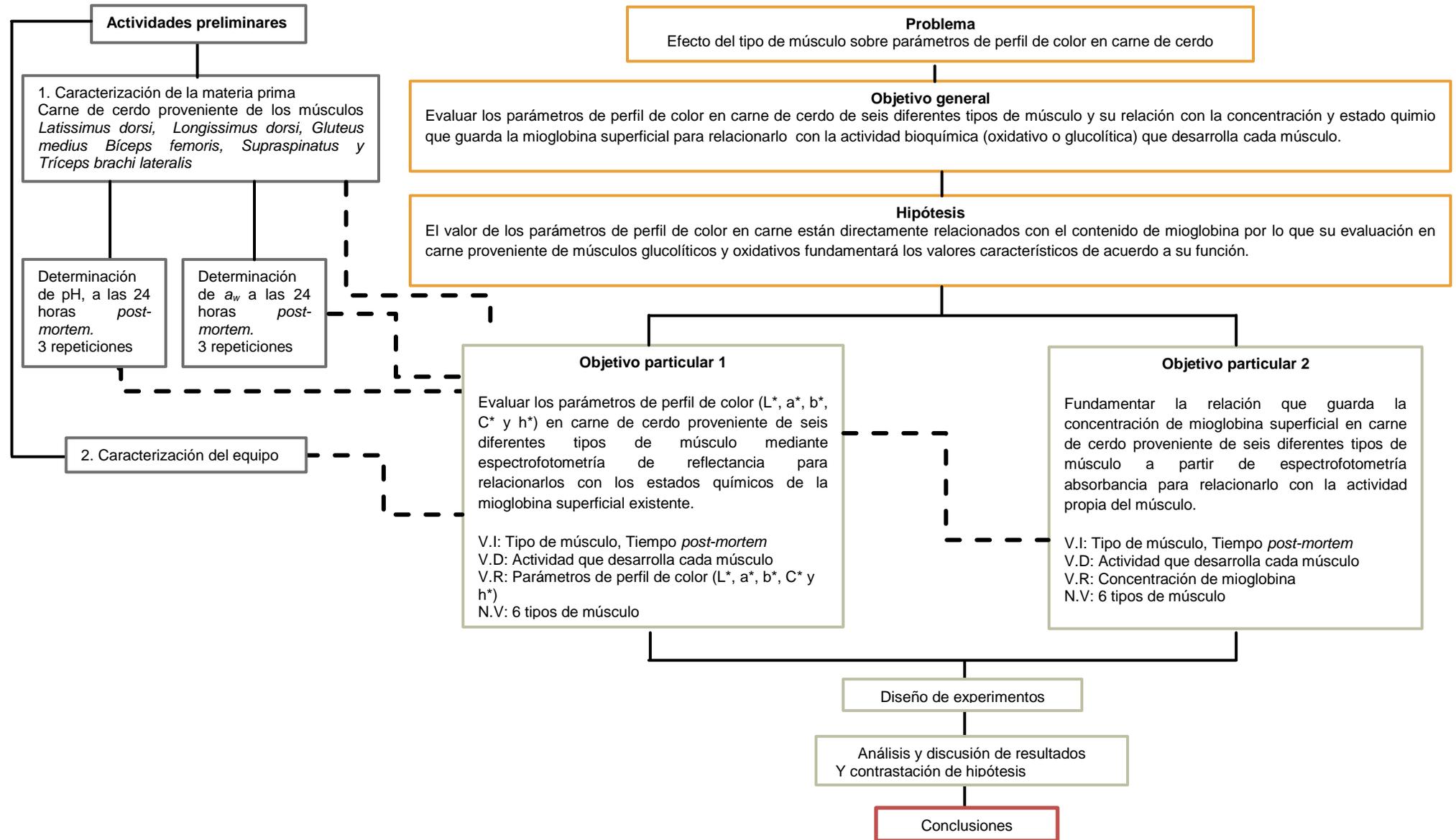
Existen estudios donde se analiza el efecto los parámetros de calidad sin embargo los avances en este tema se limitan a cierto tipo de músculos, por lo que se llevó a cabo un estudio para establecer la relación existente entre determinados parámetros de perfil de color y el tipo de músculo de la carne de tres cerdos de raza Chester White.

HIPÓTESIS

El valor de los parámetros de perfil de color en carne, están directamente relacionados con el contenido de mioglobina, por lo que su evaluación en carne proveniente de músculos glucolíticos y oxidativos fundamentará los valores característicos de acuerdo a su función.

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1 Diagrama experimental



2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Evaluar los parámetros de perfil de color en carne de cerdo de seis diferentes tipos de músculo y su relación con la concentración y estado químico que guarda la mioglobina superficial, para relacionarlo con la actividad metabólica (oxidativa o glucolítica) que desarrolla cada tipo de músculo.

2.2.2 Objetivos particulares

Objetivo particular 1: Evaluar los parámetros de perfil de color (L^* , a^* , b^* , C^* y h^*) en carne de cerdo proveniente de seis diferentes tipos de músculo mediante espectrofotometría de reflectancia para relacionarlos con los estados químicos de la mioglobina superficial existente.

V.I: Tipo de músculo, Tiempo *post-mortem*

V.D: Actividad que desarrolla cada músculo

V.R: Parámetros de perfil de color (L^* , a^* , b^* , C^* y h^*)

N.V: 6 tipos de músculo

Objetivo particular 2: Fundamentar la relación que guarda la concentración de mioglobina superficial en carne de cerdo proveniente de seis diferentes tipos de músculo a partir de espectrofotometría absorbancia para relacionarlo con la actividad propia del músculo.

V.I: Tipo de músculo, Tiempo *post-mortem*

V.D: Actividad que desarrolla cada músculo

V.R: Concentración de mioglobina superficial

N.V: 6 tipos de músculo

2.3 Materiales y métodos

2.3.1 Manejo de la materia prima

Para toda la experimentación se utilizó carne de cerdo proveniente de tres machos de raza Chester White, de 18 meses de edad, con un peso aproximado de 112, 115 y 120 kg, previa insensibilización mediante electronarcosis, se realizó el sacrificio, tras el cual se obtuvieron las muestras para análisis. El estudio se realizó con seis músculos, tres de tipo glucolítico y tres de tipo oxidativo, todos provenientes de cada animal y del mismo proveedor. Los músculos glucolíticos fueron: *Latissimus dorsi*, *Longissimus dorsi*, *Gluteus medius* (con un peso aproximado de 150±5, 270±5, 340±5 g respectivamente) y los oxidativos *Bíceps femoris*, *Supraspinatus*, *Tríceps brachii lateralis* (con un peso aproximado de 500±5, 310±5, 300±5 g respectivamente). De cada músculo se obtuvieron tres muestras obteniendo un total de 54 muestras mismas que se envasaron en bolsas de alto vacío, posteriormente se transportaron al laboratorio 7 de la UIM, manteniendo las condiciones de temperatura (4-7°C) en un tiempo aproximado de 25 minutos.

2.4 Actividades Preliminares

2.4.1 Caracterización de la materia prima

Esta actividad se realizó con el fin de localizar los músculos a evaluar. En las figuras 11, 12 y 13 se muestran las localizaciones de los músculos evaluados en este estudio.

Cuadro 3. Identificación de los músculos a evaluar

Músculos Oxidativos	Músculos Glucolíticos
<i>M1. Bíceps femoris</i>	<i>M4. Latissimus dorsi</i>
<i>M2. Supraspinatus</i>	<i>M5. Longissimus dorsi</i>
<i>M3. Tríceps brachii lateralis</i>	<i>M6. Gluteus medius</i>

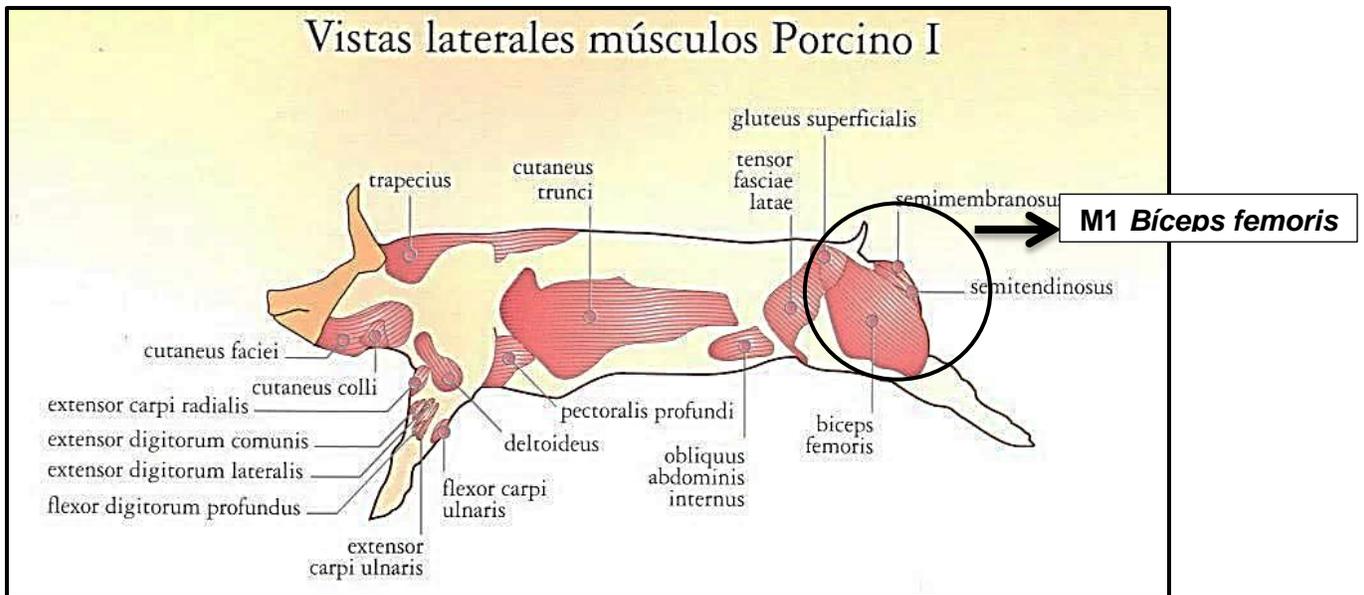


Figura 11. Localización del músculo Biceps femoris

Fuente: <http://www.recipesforlinux.com/wp/uploads/2013/12/Anatomia250.jpg>

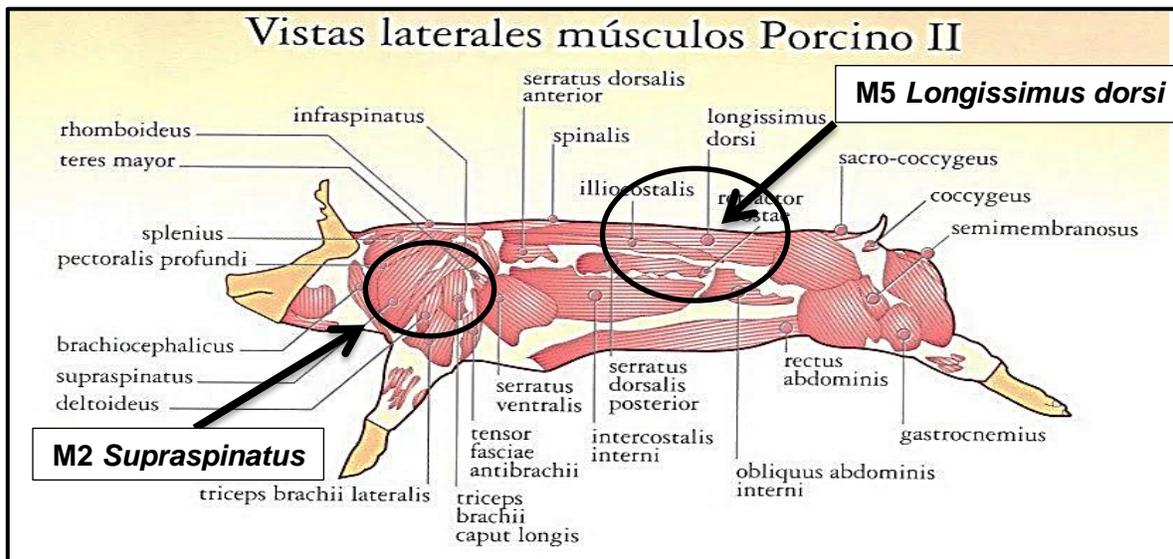


Figura 12. Localización de los músculos Supraspinatus y Longissimus dorsi

Fuente: <http://www.recipesforlinux.com/wp-content/uploads/2013/12/Anatomia250.jpg>

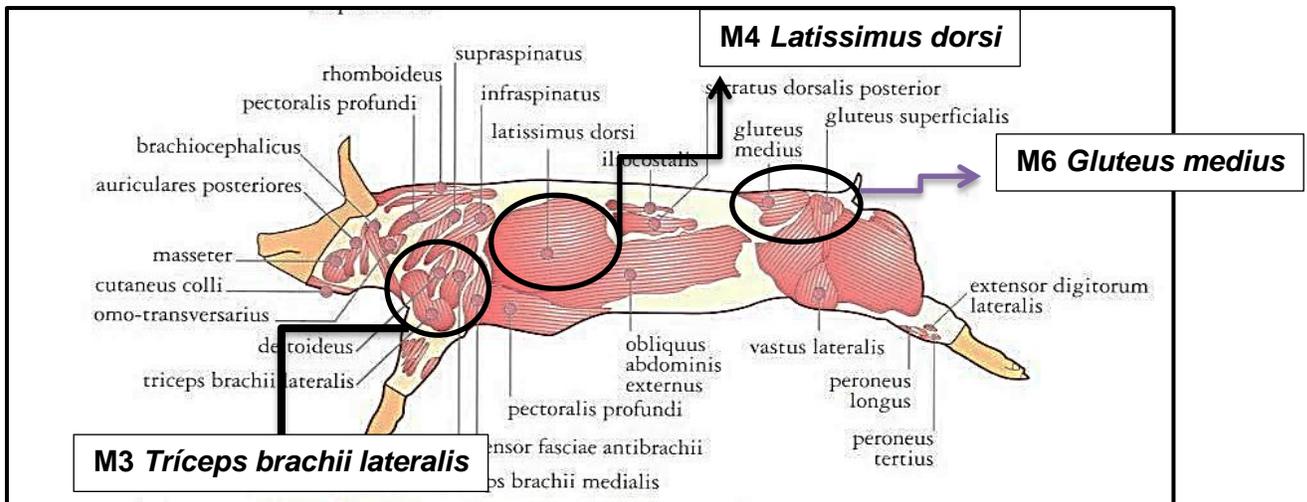


Figura 13. Localización de los músculos Tríceps brachii lateralis, Latissimus dorsi y Gluteus medius

Fuente: <http://www.recipesforlinux.com/wp-content/uploads/2013/12/Anatomia250.jpg>

2.4.2 Análisis fisicoquímicos (a_w y pH)

Determinación de a_w , a las 24 h post-mortem

Se hizo la determinación de las propiedades fisicoquímicas de la carne, se determinó a_w de acuerdo al Método oficial de la (AOAC 32.004-32.009 con un Higrómetro de punto de rocío (Figura 14), marca Decagon Devices Mod, Pa_wkit (WA.USA), utilizando los materiales del mismo las determinaciones de las 54 muestras se realizaron en un solo día.



Figura 14. Higrómetro de punto de rocío

Determinación de pH, a las 24 horas post-mortem

El pH se determinó de acuerdo al Método oficial de la AOAC 981.12, con un Potenciómetro portátil marca Oakton (Figura 15).



Figura 15. Potenciómetro

Se tomaron 10 g de muestra de cada réplica por cada lote experimental se adicionaron 90 mL de agua destilada y se homogenizaron durante 2 min en una licuadora marca Oster (Figura 16).



Figura 16. Homogenización de la muestra

Posteriormente la muestra se filtró (Figura 17), el filtrado se dividió en tres partes de 25 mL cada una para su medición (Figura 18).



Figura 17. Filtrado de la muestra



Figura 18. Obtención del pH de la muestra

2.5 Análisis de los parámetros de perfil de color por espectrofotometría de reflectancia

Las mediciones de color se tomaron a las 24 h *post-mortem* después de mantener las muestras de carne en refrigeración a 4 °C. Para la medición se utilizó un Espectrofotómetro de reflectancia Konica Minolta CM-600d (Tokio, Japón) (Figura 19) y el protocolo descrito por la Asociación Americana de la Ciencia de la Carne (por sus siglas en inglés *AMSA*) en 2012, utilizando el iluminante A, tamaño de apertura de 8mm y ángulo de observación de 10°. El método de estandarización es conforme a CIE N° 15, ISO 7724/1, DIN 5033 parte 7, ASTM E 1164 y JIS Z 8722.



Figura 19. Espectrofotómetro Konica Minolta, toma de lectura

Posterior a la calibración del instrumento, las muestras se adecuaron para tomar las lecturas, cada muestra se colocó en una celda de cuarzo antirreflejante y se posicionó sobre la muestra. De cada muestra se realizaron mediciones por triplicado en la superficie superior de los músculos cuidando que éste tuviera el mayor contacto con la muestra. Los datos se colectaron con el Software Spectra Magic NX obteniendo valores tri-estímulo de acuerdo al sistema CIE (L^* a^* y b^*), con un intervalo de longitud de onda de 400 a 700 nm dando como respuesta el % de Reflectancia y cálculos especiales (C^* y h^*) y el % de las fracciones de mioglobina superficial.

El contenido relativo de Mb, MbO₂ y MetMb se calculó a partir de la curva de reflectancia según Krzywicki (1979) usando 700 nm (la longitud de onda más alta del instrumento) en lugar de 730 nm. El instrumento mide la reflectancia entre 400 nm y 700 nm a intervalos de 10 nm. Los valores de reflectancia a longitudes de onda no dadas por el instrumento (473, 525 y 572 nm) se calcularon mediante interpolación lineal.

2.6 Diseño experimental

Los datos experimentales se recolectaron en una hoja de Office Excel 2010 y se utilizaron para el análisis de varianza (ANOVA) diseño de bloques completamente aleatorizados (1 vía) con el uso del software Minitab 16 y un nivel de significancia (α) del 5% (0.05). También se realizó la prueba de Diferencia Mínima Significativa Honesta (DMSH). Se planteó la siguiente hipótesis para el caso de los valores de L^* , a^* , b^* , C^* y h^* y se obtuvo que el valor-P para cada tratamiento.

$$H_0: M_1=M_2=M_3=M_4=M_5=M_6$$

H_1 : Al menos 1 media es diferente

Lo anterior con el fin de identificar si el tipo de musculo tiene efecto en los parámetros de perfil de color.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Análisis fisicoquímicos

Se realizaron los análisis fisicoquímicos a las 54 muestras para el control de la calidad y para determinar en qué condiciones se encontraban las muestras y descartar defectos en la calidad de la carne (DFD y PSE) que pudieran afectar el objeto de estudio.

pH

En lo que corresponde a la determinación de pH a las 24 h *post-mortem* en el cuadro 4 se presentan los resultados promedio de los 3 lotes por cada músculo, así como la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Cuadro 4. Resultados promedios de pH

Músculo	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio	D. E.	C.V. (%)
M1 Bíceps femoris	5.80	6.13	6.01	5.98	0.17	2.80
M2 Supraspinatus	5.69	5.83	5.74	5.75	0.07	1.21
M3 Tríceps brachii lateralis	5.72	6.08	5.93	5.91	0.18	3.03
M4 Latissimus dorsi	5.55	5.64	5.56	5.58	0.05	0.86
M5 Longissimus dorsi	5.48	5.51	5.49	5.50	0.01	0.25
M6 Gluteus medius	5.54	5.66	5.59	5.60	0.06	1.08

Observando los resultados de pH de las muestras posterior a la experimentación dieron como resultado valores de pH a las 24 horas *post-mortem* en un rango de 5.50-5.98, el músculo *Triceps brachii lateralis* fue el que presentó un valor más alto de coeficiente de variación. El pH *post-mortem* es afectado por el contenido de glucógeno muscular, que es afectado por múltiples factores, incluyendo la dieta de los animales, el clima, la estación, el transporte y las tensiones psicológicas y fisiológicas causadas por el cambio del medio ambiente, estrés previo al sacrificio, el manejo *post-sacrificio* y la genética (Muhan *et al.*, 2014; Adzitey y Nurul, 2011). El desarrollo de la calidad de la carne a menudo se asocia con el metabolismo *post-mortem* del músculo, que se indica por la tasa de formación de lactato y la consiguiente disminución del pH (Park *et al.*, 2010). Normalmente, el pH del músculo disminuye de 7.2 (fisiológico) entre 5.5 y 5.8 durante las 24 horas posteriores al sacrificio. Si el pH disminuye muy rápidamente o muy lentamente o si el pH final es muy alto (por encima de 6.1-6.2) o muy bajo (<5.4) las características de calidad de la canal,

incluyendo la capacidad de retención de agua y el color se alteran significativamente (Bendall y Swatland, 1988), ningún músculo obtuvo un pH por encima de 6.2 ni por debajo de 5.4 por lo que se descartó trabajar con carne con características PSE o DFD que pudieran afectar la medición de color, los músculos con mayor probabilidad de desarrollar características de PSE o DFD son el *Bíceps femoris*, *Gluteus medius* y la porción lateral de los músculos semitendinosos (Brewer *et al.*, 2001).

En la Cuadro 4 se puede observar que los valores del pH para los músculos glucolíticos fue menor frente a los músculos oxidativos esto se debe a que los músculos glucolíticos suelen presentar mayores niveles de glucógeno, lo que favorece una mayor acumulación *post-mortem* de ácido láctico que los músculos oxidativos (Canto *et al.*, 2016). Según Zimmerman (2010) los músculos con predominio de fibras de contracción rápida (blancas) alcanzan valores finales de 5.5 mientras que en los músculos en donde predominan los músculos de contracción lenta (rojas) el pH no baja de 6.3.

El pH de los músculos se vio afectado ($P < 0.05$) por el tipo de músculo, al realizar la prueba DMSH se obtuvo que los músculos glucolíticos (*M4 Latissimus dorsi*, *M5 Longissimus dorsi* y *M6 Gluteus medius*) no presentaron diferencia significativa, en el caso de los músculos oxidativos el músculo *Supraspinatus* presento una diferencia significativa en comparación con los músculos *Bíceps femoris* y *Tríceps Brachii lateralis*.

Según Krzywicki (1979), una disminución del pH se acompaña de una reducción de la profundidad de penetración por la luz y la reflectancia aumenta, lo que conduce a un aumento en la luminosidad (L^*) y a una disminución de la cantidad relativa de la forma reducida de mioglobina (Mb). Al mismo tiempo, un pH más bajo, se forma una capa más gruesa de MbO y la formación de MetMb aumenta, mientras que a pH más alto se forma una capa más delgada de MbO y menos MetMb (Lindahl *et al.*, 2001)

a_w

En el Cuadro 5 se presentan los resultados promedio de los 3 lotes por cada músculo, así como la desviación estándar y el coeficiente de variación. El contenido Actividad de agua de las muestras de carne fue afectado ($P < 0.05$) por el tipo de músculo según el análisis de varianza, se puede observar que los coeficientes de variación son muy bajos en todos los músculos ninguno mayor a 1. La a_w de la carne fresca es de 0.98 - 0.99 los resultados para el caso de los músculos oxidativos fue de 0.96-.967 para los músculos

glucolíticos estuvo dentro de un rango de 0.97-0.98 obteniendo los valores más altos. La mayoría del agua está localizada dentro de las miofibrillas y en los espacios entre los filamentos gruesos y delgados parte de esta agua se presenta de manera libre mientras que el resto, está unida a las proteínas.

Cuadro 5. Resultados promedio de a_w

Músculo	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio	D.E.	C.V (%)
M1 Bíceps femoris	0.97	0.97	0.96	0.96	0.01	0.57
M2 Supraspinatus	0.95	0.97	0.96	0.96	0.01	1
M3 Tríceps Brachii lateralis	0.96	0.96	0.96	0.96	0	0
M4 Latissimus dorsi	0.98	0.97	0.99	0.98	0.01	1
M5 Longissimus dorsi	0.96	0.97	0.98	0.97	0.01	1
M6 Gluteus medius	0.98	0.98	0.98	0.98	0	0

Durante las últimas décadas existe un interés creciente en conocer el papel del agua en los músculos de cerdos así como en productos cárnicos ya que la a_w es un término que refleja la disponibilidad de agua que existe en un alimento para reacciones bioquímicas y crecimiento microbiológico.

3.2 Análisis de los parámetros de perfil de color por espectrofotometría reflectancia

Dentro de las determinaciones de los parámetros de perfil de color se obtuvo también la curva espectral promedio de los seis tipos de músculo. El comportamiento de la luz reflejada sobre la carne evaluada se indica con base en las longitudes de onda que van de 400 a 700 nm. Los espectros de reflectancia de carne fresca de cerdo fueron adquiridos a 25 °C, de los 6 músculos evaluados (Figura 20).

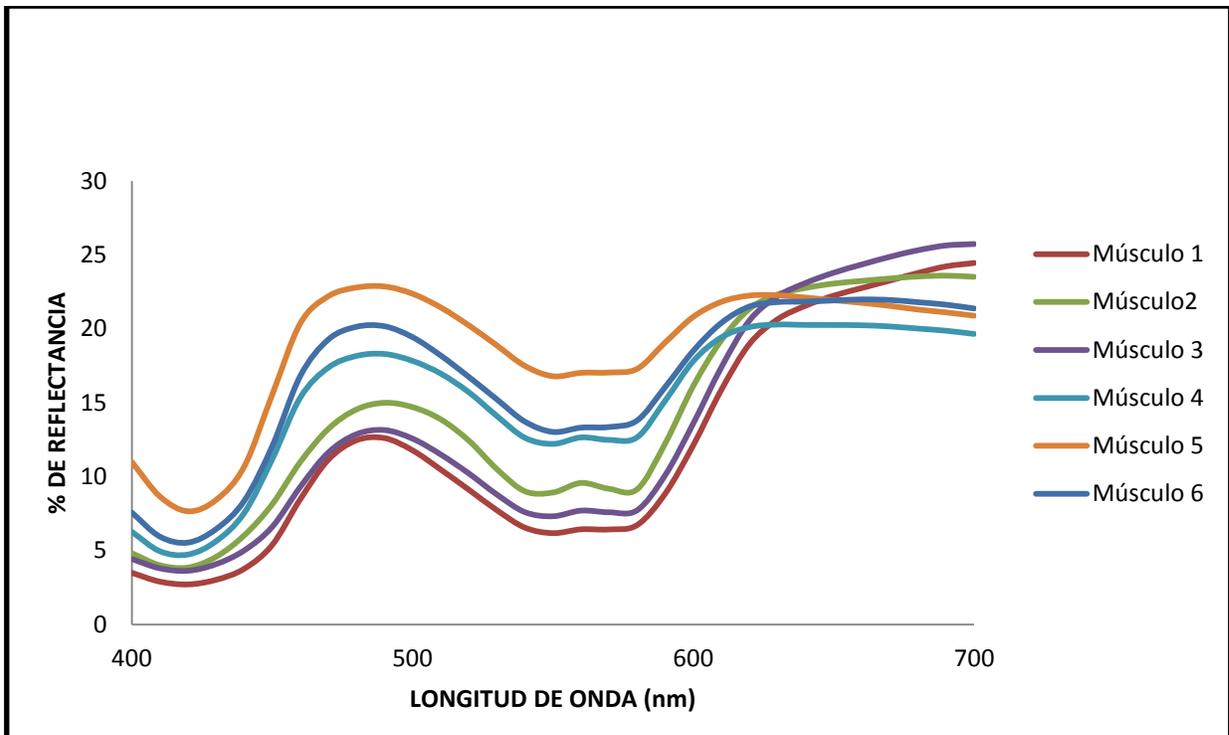


Figura 20. Curva espectral promedio de músculos glucolíticos y oxidativos

Músculos oxidativos: M1 Bíceps femoris, M2 Supraspinatus, M3 Tríceps brachii lateralis

Músculos glucolíticos: M4 Latissimus dorsi, M5 Longissimus dorsi y M6 Gluteus medius

Los espectros mostraron una alta reflectancia en la región de longitud de onda 600-750 nm, correspondiente al color rojo/amarillo. La región visible, los espectros de absorción para hemoglobina se observan a 430 nm, mientras que mioglobina, oximioglobina, metamioglobina, y proteínas responsables del color del músculo a menudo tienen una fuerte absorción a 515–700 nm (Linares, 2012). Se puede observar que los músculos oxidativos (M1 *Bíceps femoris*, M2 *Supraspinatus* y M3 *Tríceps brachii lateralis*) tuvieron un aumento de reflectancia el cual se le atribuye a la ausencia de agua en la estructura del músculo. El músculo *Longissimus dorsi* presentó una alta reflectancia en las longitudes de onda de 450-550 nm.

Parámetro L*

En el Cuadro 6 se muestran los resultados correspondientes a los valores de la luminosidad (L*) para cada músculo.

Cuadro 6. Resultados del parámetro L*

Músculo	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio	D.E.	C.V (%)
M1 <i>Bíceps femoris</i>	38.43	37.12	38.66	38.07	0.83	2.17
M2 <i>Supraspinatus</i>	38.99	42.93	43.11	41.68	2.33	5.51
M3 <i>Tríceps brachii lateralis</i>	44.07	39.26	40.67	41.33	2.47	5.98
M4 <i>Latissimus dorsi</i>	46.78	48.59	46.21	47.19	1.24	2.63
M5 <i>Longissimus dorsi</i>	50.40	49.01	51.04	50.15	1.04	2.07
M6 <i>Gluteus medius</i>	48.00	49.01	47.58	48.20	0.74	1.53

El valor de L* es el índice más claramente relacionado con las valoraciones visuales del consumidor (Murray, 1989). Se sabe que la luminosidad (L*) es un componente de color acromático. En el caso de la carne, depende de la cantidad total de luz absorbida o reflejada de su superficie. La cantidad de luz absorbida por el tejido muscular es la suma de luz absorbida acromática y cromáticamente. El impacto de la absorción cromática y acromática sobre la luminosidad del color de la carne (L*) varía en función del contenido de pigmentos en el tejido y de la estructura de la carne. Según ciertos autores (Fernández *et al.*, 2000 y Lindahl *et al.*, 2006), el contenido relativo de las formas químicas de la mioglobina en la capa superficial de la carne también influye en la luminosidad (L*) del color de la carne. El parámetro de perfil L* mide la luminosidad que aumenta cuando aumenta la dispersión de la luz, como generalmente ocurre con el aumento de agua libre que acompañan a diversos grados de daño de proteínas. Brewer *et al.* (2001) sugirieron que L* era un indicador confiable de defectos (PSE y DFD) de carne de cerdo y, por lo tanto, se puede utilizar como punto de referencia para la calidad.

La relación entre el pH y L* es que a medida que el pH se aproxima a los puntos isoeléctricos de las diversas proteínas musculares que se unen al agua, el agua libre aumenta y dispersa más luz (Brewer *et al.*, 2001). Se puede observar en el Cuadro 6, que los valores de L* son menores para el caso de los músculos oxidativos (*Bíceps femoris*, *Supraspinatus* y *Tríceps brachii lateralis*), estos músculos obtuvieron valores más altos en la medición de pH (5.978, 5.751 y 5.901) en comparación a los glucolíticos, esto se debe a que a medida que el pH aumenta, la química conocida de la carne sugiere que los valores de luminosidad (L*) deberían disminuir, los valores de enrojecimiento (a*) deberían aumentar, y el color sobre todo debería acercarse al verdadero color rojo (Brewer *et al.*, 2006).

Ryu y Kim 2005, indicaron que los cerdos con mayor número de fibras de fibra de tipo I y II tienen menor pérdida de goteo, menor valor de L^* por lo que coinciden con los resultados obtenidos de los músculos oxidativos, caso contrario ocurrió con los músculos glucolíticos que obtuvieron los valores más altos para luminosidad. Pocos estudios sobre las diferencias de color entre los músculos de los mismos cerdos han sido reportados. Warner, Kauffman & Russel (1993) encontraron un mayor valor L^* en *Longissimus lumborum* (glucolítico) en comparación con *Bíceps femoris* (oxidativo), lo que está de acuerdo con el presente estudio. El músculo que obtuvo el valor más alto fue el músculo *Longissimus dorsi* con un valor promedio de 50.14 indicando que tiene una luminosidad alta, los resultados presentados son similares a los observados por los autores en estudios previos por Van de Perre, Ceustermans, Leyten y Geers (2010) en carne de calidad normal. Para el valor de L^* el resultado de valor-P de los tratamientos fue inferior a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula (Figura 21).

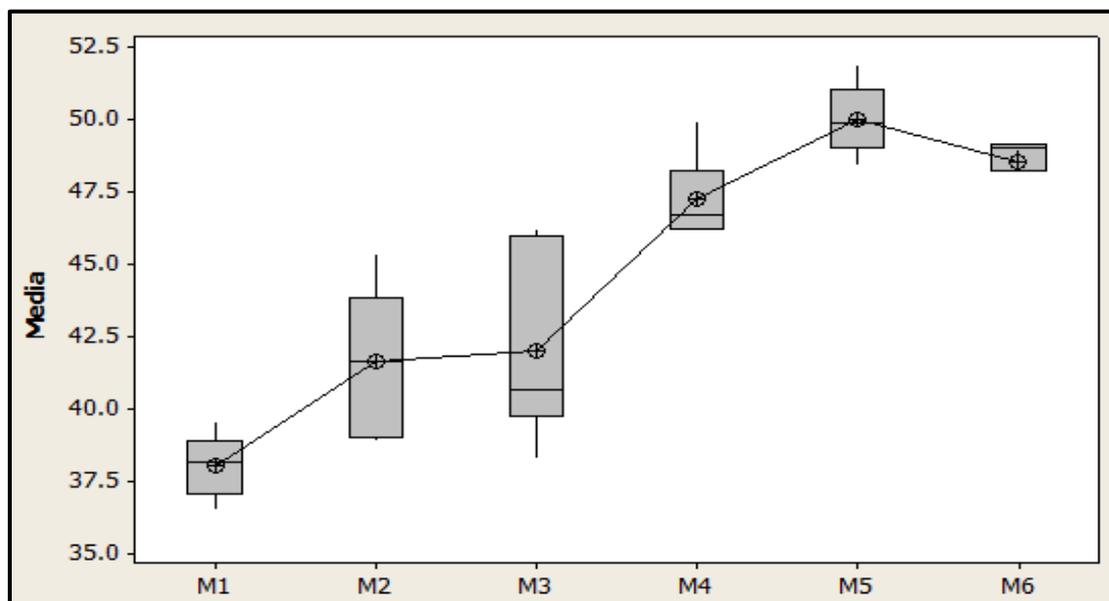


Figura 21. ANOVA del parámetro L^*

Músculos oxidativos (M1 *Bíceps femoris*, M2 *Supraspinatus* y M3 *Tríceps Brachii lateralis*), Músculos glucolíticos (M4 *Latissimus dorsi*, M5 *Longissimus dorsi* y M6 *Gluteus medius*)

Al realizar la prueba DMSH se obtuvo que el músculo *Bíceps femoris* presentó diferencia significativa al compararlo con los músculos *Supraspinatus* y *Tríceps brachii lateralis* aun siendo los tres músculos de tipo oxidativo. Los músculos *Latissimus dorsi*, *Longissimus*

dorsi y *Gluteus medius* que son del grupo de los glucolíticos no presentaron nivel de significancia, esto se debe a que los músculos glucolíticos, presentan menor diferencia en cuanto a la luminosidad ya que el contenido de mioglobina es relativamente bajo. La concentración de mioglobina está inversamente relacionada con el valor de L^* (Andrés *et al.*, 2000) por lo que los músculos glucolíticos frente a oxidativos tuvieron valores más altos de luminosidad.

Parámetro a^*

En el Cuadro 7 se presentan los resultados promedio de los 3 lotes, así como la desviación estándar y el coeficiente de variación del parámetro de perfil a^* .

Cuadro 7. Resultados del parámetro a^*

Músculo	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio	D. E.	C.V (%)
M1 <i>Bíceps femoris</i>	16.27	13.17	16.27	15.23	1.79	11.72
M2 <i>Supraspinatus</i>	13.55	11.46	13.55	12.85	1.21	9.38
M3 <i>Tríceps Brachii lateralis</i>	13.75	13.05	13.75	13.52	0.41	3.02
M4 <i>Latissimus dorsi</i>	10.26	7.00	10.26	9.17	1.88	20.50
M5 <i>Longissimus dorsi</i>	6.66	4.28	6.66	5.87	1.37	23.38
M6 <i>Gluteus medius</i>	9.02	5.51	9.02	7.85	2.03	25.82

Los valores de parámetro de perfil a^* van de una escala positiva (+) (rojo) a negativa (-) (verde). Este parámetro es indicativo de que los colores tienen mayor tendencia a rojos en el caso de los músculos oxidativos, es decir, la reflexión de la luz de las curvas espectrales donde se presentan todas las muestras, tienen mayor valor de los 600 a 700nm, observando la Figura 10 de las curvas espectrales los músculos *Bíceps femoris*, *Supraspinatus* y *Tríceps Brachii lateralis* (oxidativos) alcanzaron los valores mayores en las longitudes de onda de 600 a 700 nm, al ver los resultados de parámetro de perfil de a^* (Cuadro 7) estos músculos obtuvieron valores mayores teniendo al músculo *Bíceps femoris* con el valor más alto de 15.23.

Kang *et al.*, (1998), en un estudio de carne de ternera de distintas razas, llegan a la conclusión de que a medida que el valor de a^* aumenta, disminuye el valor de L^* , mientras que aumenta el contenido de mioglobina. Esta relación concuerda con los resultados ya que los músculos glucolíticos obtuvieron los valores de L^* más altos y los valores más bajos en el parámetro de perfil a^* , caso contrario de los músculos oxidativos

que disminuyó el valor de L^* al aumentar el valor de a^* . Según estos autores, el valor de a^* puede ser útil para predecir la concentración de mioglobina y el color de la carne, Johansson *et al.* (1991) también establecieron que el valor de la coordenada a^* se encuentra directamente relacionado con el contenido de mioglobina del músculo. En esta afirmación coinciden Pérez *et al.* (1998), quienes encontraron un mayor valor de a^* en aquellas carnes con mayor contenido en mioglobina. Aunque el uso del estado *redox* de la mioglobina para cuantificar la decoloración es más lento y más difícil que estimar la oxidación del pigmento usando una pérdida de color rojo (disminución en a^*), el espectro de reflectancia tiene mayores beneficios diagnósticos de causa y efecto (Mancini y Hunt, 2005).

El coeficiente de correlación positiva entre el pH y el color rosado visual indica que a medida que el pH aumenta, las muestras aparecen más intensamente rosadas. El color rosado visual es una combinación de enrojecimiento cuanto más oscura y más roja sea una muestra, más intensamente rosada aparece. Tanto el enrojecimiento como la oscuridad se potencian a valores de pH más altos, donde las enzimas reductoras y el consumo de oxígeno están operando al máximo (reduciendo el porcentaje de mioglobina en forma oxigenada) y donde la dispersión de la luz se minimiza porque las proteínas musculares hidratadas no liberan agua libre (Brewer, 2001).

Se obtuvo que el valor-P es inferior a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula (Figura 22). Al realizar la DMS, los resultados que se obtuvieron fueron que las medias de los músculos oxidativos (*Bíceps femoris*, *Supraspinatus* y *Tríceps brachii lateralis*) no presentaron diferencia significativa.

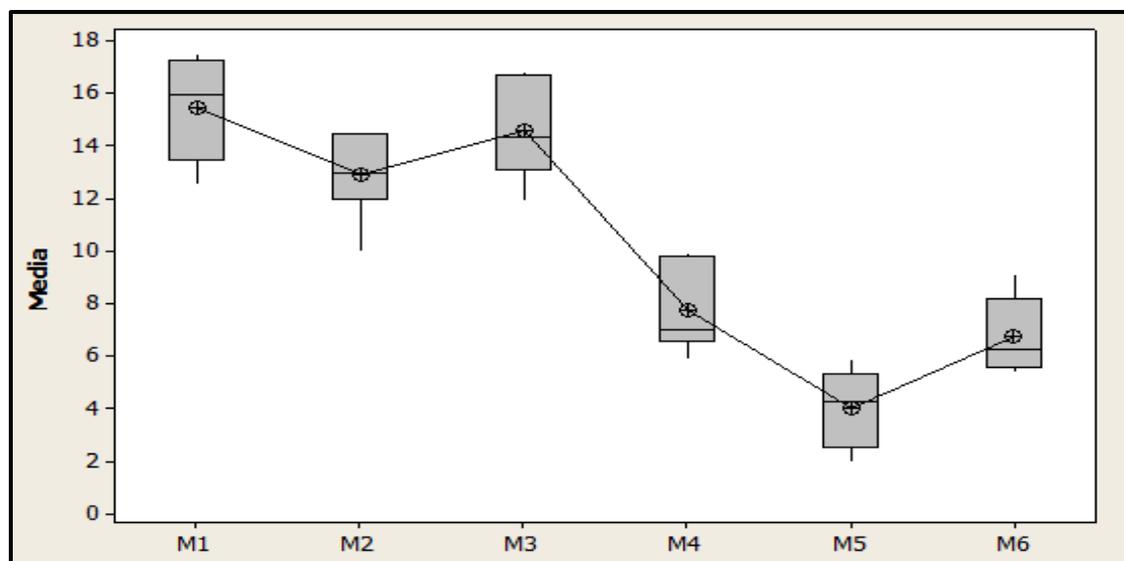


Figura 22. ANOVA del parámetro a*

Músculos oxidativos (M1 Bíceps femoris, M2 Supraspinatus y M3 Tríceps brachii lateralis), Músculos glucolíticos (M4 Latissimus dorsi, M5 Longissimus dorsi y M6 Gluteus medius)

Sin embargo en el grupo de músculos glucolíticos las medias de los músculos 4 (*Latissimus dorsi*) y 6 (*Gluteus medius*) presentaron diferencia estadísticamente significativa al compararlos con el músculo 5 (*Longissimus dorsi*) aun siendo los tres músculos de tipo glucolíticos.

Parámetro b*

En el Cuadro 8 se presentan los resultados promedio de los 3 lotes, así como la desviación estándar y el coeficiente de variación del parámetro de perfil b*.

Cuadro 8. Resultados del parámetro b*

Músculo	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio	D. E.	C.V (%)
M1 Bíceps femoris	8.95	8.60	9.93	9.16	0.69	7.54
M2 Supraspinatus	7.91	9.60	9.89	9.13	1.07	11.70
M3 Tríceps brachii lateralis	9.70	8.51	10.26	9.49	0.89	9.41
M4 Latissimus dorsi	7.67	7.78	6.80	7.42	0.54	7.25
M5 Longissimus dorsi	7.69	3.36	5.10	5.38	2.18	40.52
M6 Gluteus medius	7.38	5.43	5.90	6.23	1.02	16.36

En el Cuadro 8 se pueden observar los valores promedio de b^* que va de una escala de valores positivos (amarillos+) a los negativos (azules-), los valores más altos de este parámetro son los de los músculos oxidativos (*Tríceps brachii lateralis*, *Supraspinatus* y *Bíceps femoris*).

Las medidas instrumentales de L^* y a^* son sencillas y se pueden aplicar fácilmente al color del músculo. Por otro lado, los colores representados por b^* (azul y amarillo) no son típicos o intuitivamente relacionados con la carne (Mancin y Hunt, 2005). En este parámetro se obtuvieron coeficientes de variación muy elevados con valores que van del 7 al 40%, esto refleja la variabilidad intrínseca de los músculos utilizados respectivamente, el músculo *Longissimus dorsi* fue que obtuvo el coeficiente de variación más alto. Se obtuvo que el valor-P de los tratamientos fue inferior a 0.05, lo que indica una alta significancia por lo que se rechaza la hipótesis nula.

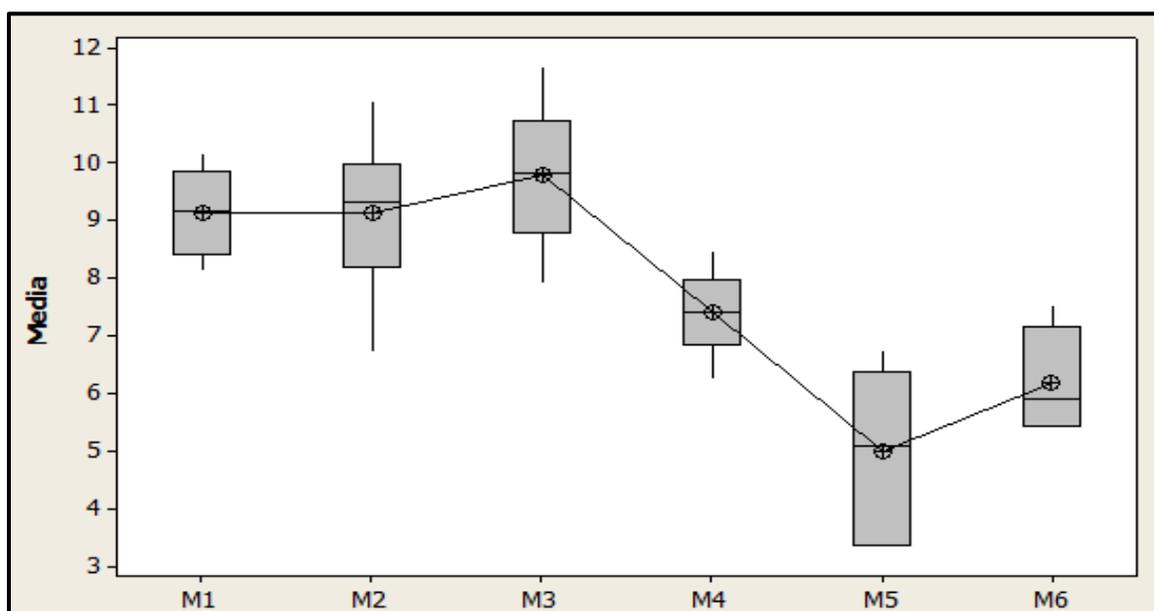


Figura 23. ANOVA del parámetro b^*

Músculos oxidativos (M1 *Bíceps femoris*, M2 *Supraspinatus* y M3 *Tríceps Brachii lateralis*), Músculos glucolíticos (M4 *Latissimus dorsi*, M5 *Longissimus dorsi* y M6 *Gluteus medius*)

Al realizar la prueba DMSH se puede observar que los músculos *M1 Bíceps femoris*, *Supraspinatus* y *Tríceps brachii lateralis* no presentan diferencia estadísticamente significativa (Figura 23). Mientras que para los músculos glucolíticos el músculo

Longissimus dorsi presenta diferencia significativa al compararlo con el *Latissimus dorsi* y *Gluteus medius*.

Parámetro C*

En el Cuadro 9 se presentan los resultados promedio de los 3 lotes, así como la desviación estándar y el coeficiente de variación del parámetro C*.

Cuadro 9. Resultados del parámetro C*

Músculo	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio	D. E.	C.V (%)
M1 Bíceps femoris	18.58	15.73	19.68	18.00	2.04	11.32
M2 Supraspinatus	15.72	15.00	16.98	15.90	1.00	6.28
M3 Tríceps brachii lateralis	16.86	15.58	19.63	17.36	2.07	11.94
M4 Latissimus dorsi	12.83	10.48	9.33	10.88	1.78	16.38
M5 Longissimus dorsi	10.20	5.53	5.66	7.13	2.66	37.34
M6 Gluteus medius	11.72	7.76	8.63	9.37	2.08	22.20

El cromá, o índice de saturación, está relacionado con la concentración de pigmento que puede explicar las diferencias debidas al músculo (Brewer *et al.*, 2001). En el Cuadro 10 se observan los resultados del parámetro de perfil C*, el músculo que obtuvo el valor más alto fue el *Bíceps femoris* del grupo de los oxidativos, el músculo que presento el valor más bajo fue el *Longissimus dorsi* del grupo de los glucolíticos, los valores altos de C* indican que posee mayor intensidad de color puesto que es derivado de L* a* y b*. La saturación del color del músculo se relaciona principalmente con los factores *ante-mortem* (tipo de músculo, edad, alimentación, genética).

Para el valor de C* como resultado se obtuvo que el valor-P fue inferior a 0.05 lo que significa que al menos un par de medias es diferente por consiguiente se rechaza la hipótesis nula (Figura 24).

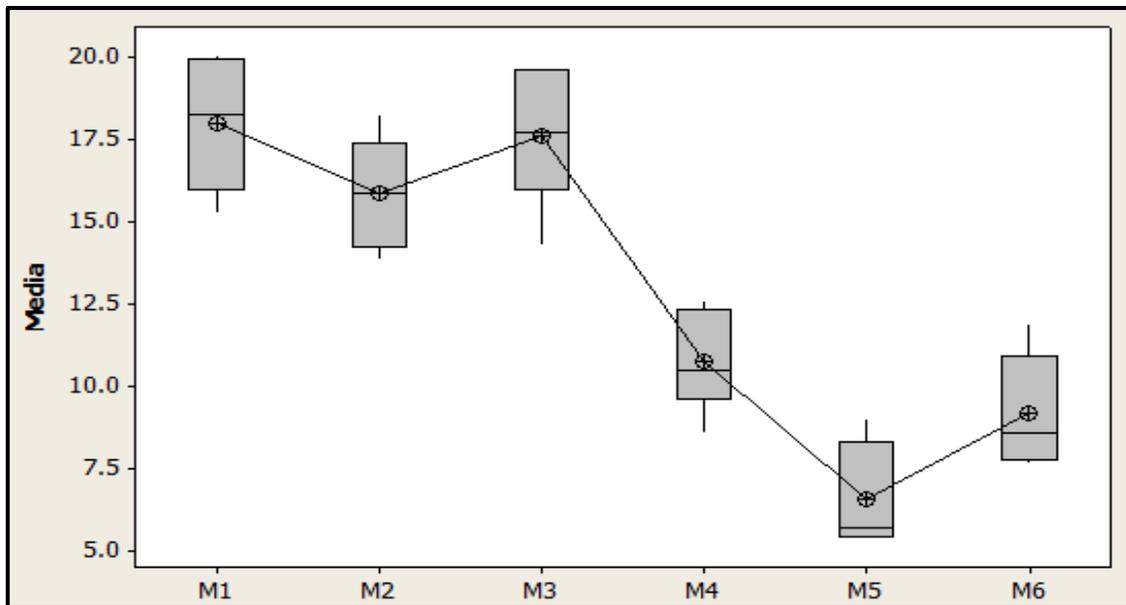


Figura 24. ANOVA del parámetro C*

Músculos oxidativos (Músculos oxidativos (M1 *Bíceps femoris*, M2 *Supraspinatus* y M3 *Tríceps Brachii lateralis*), Músculos glucolíticos (M4 *Latissimus dorsi*, M5 *Longissimus dorsi* y M6 *Gluteus medius*))

Al realizar la prueba de DMSH se obtuvo para el caso de los músculos *Bíceps femoris*, *Supraspinatus* y *Tríceps brachii lateralis* no presentaron diferencias significativas entre ellos, en los músculos glucolíticos el *Longissimus dorsi* presenta diferencia significativa al compararlos con el *Latissimus dorsi*.

Ángulo Hue

En el cuadro 10 se presentan los resultados promedio de los 3 lotes, así como la desviación estándar y el coeficiente de variación del parámetro de perfil Ángulo Hue.

Cuadro 10. Resultados del Parámetro de perfil Ángulo Hue

Músculo	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio	D.E.	C.V (%)
M1 <i>Bíceps femoris</i>	28.68	33.17	30.26	30.70	2.28	7.42
M2 <i>Supraspinatus</i>	30.07	40.35	35.35	35.25	5.14	14.58
M3 <i>Tríceps Brachii lateralis</i>	34.93	33.17	31.47	33.19	1.73	5.21
M4 <i>Latissimus dorsi</i>	36.67	47.76	46.72	43.72	6.13	14.01
M5 <i>Longissimus dorsi</i>	49.37	38.93	65.21	51.17	13.23	25.86
M6 <i>Gluteus medius</i>	40.49	44.65	43.09	42.74	2.10	4.92

El ángulo *Hue*, mide el grado de separación del verdadero eje rojo del espacio cromático CIE. En el Cuadro 10 se muestran los resultados para el ángulo *Hue*, se observan que los coeficientes de variación fueron muy altos esto se debe a que el ángulo *Hue* se calcula a partir de los valores a^* y b^* , y los valores del parámetro b^* fueron los que presentaron coeficientes de variación elevados. Los músculos que obtuvieron valores más altos fueron los músculos glucolíticos (*Latissimus dorsi*, *Longissimus dorsi* y *Gluteus medius*), el valor *Hue* disminuyó correspondiendo a un aumento en el color rojo-rosa brillante percibido de los músculos. El valor más bajo que se obtuvo fue el del músculo *Bíceps Femoris* seguido del *Supraspinatus* y el *Triceps brachii lateralis*, según Brewer *et al.*, 2006 a medida que disminuye el ángulo *Hue*, aumenta la rojez visualmente percibida.

En el caso del ángulo *Hue* (h^*) se obtuvo que valor-P es menor A 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula (Figura 25). Al realizar prueba DMSH se obtuvo que los músculos oxidativos (*Bíceps femoris*, *Supraspinatus* y *Tríceps brachii lateralis*) no presentan diferencia significativa. Lo mismo se observa para los músculos glucolíticos (*Latissimus dorsi*, *Longissimus dorsi* y *Gluteus medius*) al no presentar diferencia significativa.

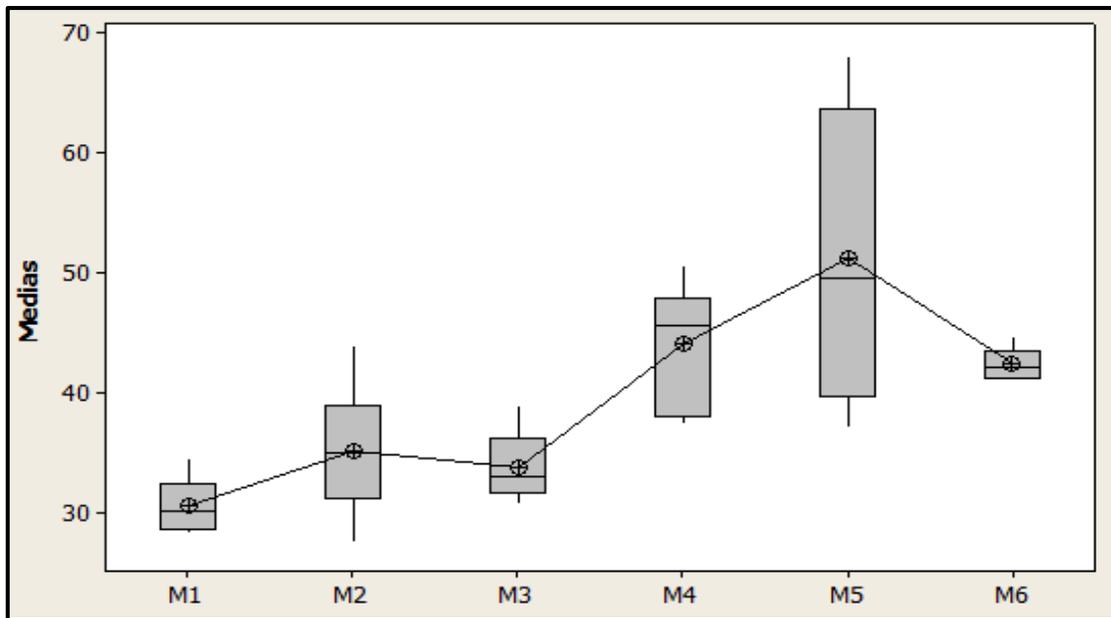


Figura 25. ANOVA del parámetro Ángulo Hue

(Músculos oxidativos (M1 Bíceps femoris, M2 Supraspinatus y M3 Tríceps Brachii lateralis),
Músculos glucolíticos (M4 Latissimus dorsi, M5 Longissimus dorsi y M6 Gluteus medius))

3.3 Análisis y determinación de las fracciones de mioglobina superficial

Se realizaron las determinaciones de las fracciones de mioglobina correspondiente a cada músculo se utilizó la metodología descrita por Ponce y Taylor, 2000, esta metodología implica las correcciones propuestas por Krzywicki, 1979, donde se involucran los valores de absorbancia de las muestras analizadas de diferentes músculos, los cuales se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Desoximioglobina} = -0.543R_1 + 1.594R_2 + 0.552R_3 - 1.329 \quad (1)$$

$$\text{Oximioglobina} = 0.722R_1 - 1.432R_2 - 1.659R_3 + 2.599 \quad (2)$$

$$\text{Metamioglobina} = -0.159R_1 - 0.085R_2 + 1.262R_3 - 0.520 \quad (3)$$

$$R_1 = \frac{A_{582}}{A_{525}}$$

$$R_2 = \frac{A_{557}}{A_{525}}$$

$$R_3 = \frac{A_{503}}{A_{525}}$$

Cuadro 11. Resultados promedio de las fracciones de mioglobina

Músculo	DMb	OMb	MetMb
M1 Bíceps femoris	0.39	0.32	0.29
M2 Supraspinatus	0.37	0.30	0.33
M3 Tríceps Brachii Lateralis	0.37	0.32	0.31
M4 Latissimus dorsi	0.35	0.28	0.37
M5 Longissimus dorsi	0.36	0.22	0.42
M6 Gluteus medius	0.35	0.31	0.34

En el Cuadro 11 se muestran los resultados de las fracciones de mioglobina de cada músculo. Los músculos oxidativos exhiben un contenido de mioglobina y concentración mitocondrial mayor y la concentración mitocondrial que los músculos glucolíticos tales como *Longissimus dorsi*, *Latissimus dorsi* y *Gluteus medius* (Hwang *et al.*, 2010., Jeong *et al.*, 2009, King *et al.*, 2011, Klont *et al.*, Mohan *et al.*, 2010). En los músculos oxidativos *post-mortem*, el metabolismo mitocondrial supera la capacidad de la mioglobina para unirse al oxígeno, lo que conduce a la formación acelerada de metamioglobina y la decoloración de la superficie (Jeong *et al.*, 2009, Klont *et al.*, 1998, Mohan *et al.* 2010). Además, se ha informado anteriormente que un mayor nivel de mioglobina en los músculos está asociado con una baja estabilidad del color (Jeong *et al.*, 2009; King *et al.*, 2011; McKenna *et al.*, 2005).

Se puede observar en el Cuadro 11 que para los músculos *Bíceps femoris*, *Supraspinatus* y *Tríceps brachii lateralis* la fracción de mioglobina más alta fue la desoximioglobina, para el caso de *Latissimus dorsi* y *Longissimus dorsi* fue la metamioglobina, la formación y desarrollo de metamioglobina en las superficies de la carne depende de la velocidad de autoxidación de la mioglobina y de la eficacia de uno o más sistemas enzimáticos en la reducción de la metamioglobina formada (Bakhit *et al.*, 2001). La metamioglobina se forma por exposición prolongada de la oximioglobina al oxígeno o directamente desde la mioglobina reducida cuando las presiones de oxígeno son bajas, siendo de color marrón-pardo (Díaz, 2001).

Las diferencias en el enrojecimiento entre los diferentes músculos del cerdo están relacionadas con la incidencia de fibras musculares oxidativas y glucolíticas (es decir, músculos rojos con alta actividad oxidativa y músculos blancos con alta actividad glucolítica. Una comparación del contenido de pigmento de los músculos blanco y rojo muestra claramente que los músculos rojos tienen una mayor concentración de pigmentos hemo (Warner *et al.*, 1993). La actividad del músculo también es importante para determinar la cantidad de mioglobina presente en él, el ejercicio estimula la formación de mioglobina que se traduce en más color rojo (Oyagüe, 2007).

La mayoría de los músculos pueden definirse inequívocamente como rojos o blancos, pero para algunos músculos hay diferencias en la literatura. Por ejemplo, el *Biceps Femoris* ha sido descrito de diversas maneras como siendo principalmente rojo (Yamauchi *et al.*, 1980), Blanco (Swatland, 1978) y rojo en el interior y blanco en el exterior (Paden, 1982). En el Cuadro 11 se puede observar que la fracción más alta del de este músculo fue de desoximioglobina y en menor fracción metamioglobina. McKenna *et al.* (2005) indicaron que el músculo *Gluteus medius* era un músculo intermedio de color estable con el mayor contenido de mioglobina de los músculos de carne evaluados.

La relación de las diferentes formas de mioglobina observadas en la superficie de la carne depende del espesor de las diferentes capas de mioglobina, así como de la profundidad de penetración de la luz durante las mediciones de color. La superficie de la carne puede ser más o menos translúcida dependiendo de la velocidad de caída de pH *post-mortem*, del pH final y del grado de desnaturalización de proteínas (Bendall y Swatland, 1988 y Feldhusen, 1994). Durante la glicólisis *post-mortem*, las proteínas sarcoplásmicas se desnaturalizan y precipitan sobre las miofibrillas, dando como resultado un aumento de la dispersión de luz y una menor penetración de luz (Feldhusen, 1994). La reflectancia interna de la carne de cerdo aumenta a medida que el pH disminuye, incluso si no se produce desnaturalización de las proteínas, lo que probablemente esté relacionado con la disminución del espaciamiento de los miofilamentos (Bendall y Swatland, 1988). La profundidad de penetración de la luz disminuye como efecto del aumento de la dispersión de la luz debido a una mayor cantidad de agua fuera del espacio miofibrilar inducida por la caída del pH durante la glicólisis (Feldhusen, 1994). A pH más bajo, se forma una capa más gruesa de oximioglobina (Ledward, 1992) y la formación de metamioglobina aumenta (Tam *et al.*, 1998), mientras que a pH más alto se forma una capa más delgada de

oximioglobina y menos metamioglobina, al observar los resultados de pH los músculos glucolíticos

CONCLUSIONES

Las mediciones de color en la carne, son afectadas por múltiples factores, entre los que destacan en este trabajo, el tipo de músculo y el método de almacenamiento, debido a la susceptibilidad de la mioglobina a sufrir reacciones de oxidación-reducción u oxigenación. Este trabajo buscó estandarizar el acondicionamiento de las muestras analizadas, para evitar modificaciones negativas en los resultados obtenidos durante el almacenamiento *post-mortem*.

Se demuestra que la concentración de mioglobina, depende del tipo de músculo, siendo mayores en los oxidativos y menores en los glucolíticos debido a la importancia de su bioquímica metabólica, siendo el *Longissimus dorsi* el que presenta mayor variabilidad en los resultados comparado con las otras muestras.

Los resultados indican que el tipo de músculo si afecta los parámetros de perfil de color tanto en músculos oxidativos como en glucolíticos, debido a las variaciones en las coordenadas tri-estímulo y a las componentes derivadas, relacionados directamente con la concentración y estado químico de la mioglobina.

La estructura química de pigmento que más predomina en concentración en los músculos oxidativos es la metamioglobina, debido a las reacciones que sufre durante su envasado y refrigeración, mientras que en los músculos glucolíticos es la desoximioglobina.

Este estudio es una referencia de los parámetros de perfil de color de los músculos de carne de cerdo en lo individual y proporciona una visión de los fenómenos de oxidación y reducción asociados con varios músculos, que afectan finalmente la calidad de la carne y la decisión de compra en el consumidor.

La industria de la carne porcina puede desarrollar estrategias de envasado para mejorar la relación del color con la vida útil de los músculos individuales y aumentar su valor comercial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarracín, W., Sánchez, I. (2013). Caracterización del sacrificio de corderos de pelo a partir de cruces con razas criollas colombianas. *Rev. MVZ Córdoba* **18** (1).
- Abril, M., Campo, M, M., Onenc, A., Sañudo, C., Alberti, P., Negueruela, A, I. (2001). Beef color evolution as a function of ultimate pH. *Meat Science* **58** (1), 69–78
- Alvarado, J. D. (2001). Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos. España: Acribia.
- American Meat Science Association [AMSA]. (2012). Meat color measurement guidelines. Illinois, USA..
- Andrés, A., Ruiz, J., Mayoral, A., Tejada, J. Cava, R. (2000). Influence of rearing conditions and crossbreeding on muscle colour in Iberian pigs. *Food Science and Technology International* **6** (4), 315-321.
- Association of Analytical Communities [AOAC], (2012). Official methods of analysis (19 th. Ed.) Washington, D.C. USA.
- Badui, D. S. (2006). Química de alimentos. México: Pearson.
- Baublits, R. T., Brown, A. H., Pohlman, F.W., Johnson, Z. B., Onks, D.O., Loveday, H.D. (2004). Brown Carcass and beef color characteristics of three biological types of cattle grazing cool-season forages supplemented with soyhulls. *Meat Science* **68** (2), 297–303.
- Bekhit, A.E., Geesink, G.H., Morton, J.D., Bickerstaffe, R. (2001). Metmyoglobin reducing activity and colour stability of ovine longissimus muscle. *Meat Science* **57**, 427-435.
- Bekhit, A.E.D., Faustman, C. (2005). Metmyoglobin reducing activity. *Meat Science* **71**, (3) 407-439.
- Belizt, H. D., Grosch W. (1997). Química de alimentos. Zaragoza: Acribia.
- Blandino, H. L. (2005). La industria de la carne Bovina en Centroamérica: Situación y perspectivas. Costa Rica: Grafica Litho Offset S.A.
- Brewer, M.S., Zhu, L.G., Bidner, B., Meisinger, D.J., McKeith, F.K. (2001). Measuring pork color: effects of bloom time, muscle, pH and relationship to instrumental parameters, *Meat Science* **57**, 169–176.

- Canto, C.A., Costa, L.B., Suman, P.S., Monteiro, G.M., Viana, M.F., Salim, A.A., Nair, N.M., Silva, P.T. (2010). Color attributes and oxidative stability of longissimus lumborum and psoas major muscles from Nellore bulls. *Meat Science* **121**,19-26.
- Caraves, M., Gallo, C. (2007). Caracterización y evaluación de la eficacia de los sistemas de insensibilización utilizados en equinos en Chile. *Arch Med Vet* **39**, 105-113.
- Cassens, R.G. (1994). La estructura del músculo. En: Ciencia de la carne y los productos cárnicos. España: Acribia.
- Chmiel, M., Słowiński, M., Dasiewicz, K. (2011). Lightness of the color measured by computer image analysis as a factor for assessing the quality of pork meat, *Meat Science*, **88**, 566–570.
- Cori, M., 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. *Archivos de zootecnia* **63** 241.
- Coria. H.J. (2014). Evaluación del efecto de la liofilización en la estabilidad de las propiedades físicas, químicas y termodinámicas de las proteínas de carne de cerdo. Tesis de Maestría en Ciencias de la Producción de la Salud Animal. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.
- Delgado, S.E., Rubio, L.M., Toledo, L.V., Torrescano, U.G., Ponce, A.E., Huerta L.N. (2016). Quality traits of pork semimembranosus and triceps brachii muscles sourced from the United States and Mexico, *Meat Science* **122**, 125-131.
- Díaz, M. (2001). Características de la canal y de la carne de corderos lechales manchegos. Correlaciones y ecuaciones de predicción. Memoria para optar al grado de Doctor. Universidad Complutense de Madrid. España.
- Eggert, J.M., Depreuxb, F.F., Schinckelb, A.P., Grantb, A. L ., Gerrardb, D.E. (2002). Myosin heavy chain isoforms account for variation in pork quality, *Meat Science* **61**, (2) 117-126.
- Eusse, J. (2009). Calidad de la carne de cerdo. [En línea]. Sitio argentino de producción animal. [Fecha de consulta: 12 de Mayo de 2016]. Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar/>.
- Faustman, C., Cassens, R, G. (1990). The biochemical basis for discoloration in fresh meat: A review. *Journal of Muscle Foods* **1**, 217–243.

- Fenemma, O.R. (2010). *Química de alimentos*. 3° ed. España: Acribia.
- Fernández, L.J., Pérez, A. E., Sayas, B.V. Aranda, C. (2000). Characterization of different states of myoglobin in pork using color parameters and reflectance ratios. *Journal of Muscle Foods* **11**, 157–167.
- Florowsky, T., Florowska, A., Chmiel, M., Adamczak, L., Pietrzak, D., Ruchlicka, M. (2017). The effect of pale, soft and exudative meat on the quality of canned pork in gravy, *Meat Science* **123**, 29–34.
- Forrest, J. (1979). *Fundamentos de ciencia de la carne*. Zaragoza. Acribia.
- Gajanaa, C. S., Nkukwanaa, T.T., Marumeb, U., Muchenjea, V. (2013). Effects of transportation time, distance, stocking density, temperature and lairage time on incidences of pale soft exudative (PSE) and the physico-chemical characteristics of pork, *Meat Science* **95**, 520-525.
- García, S. A. (1995). *Fisiología Veterinaria*. pág. 41- 43. Madrid: McGraw Hill Interamericana de España.
- González, T.R. (2003). *Propiedades fisicoquímicas y de textura del músculo Brachiocephalicus de bovino marinado con cloruro de calcio*. México. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en ciencia y tecnología de Alimentos. UAEH.
- Graziotti, G. H., Rodríguez, M. J., Ríos, M.C. (2007). Perfil metabólico del músculo semitendinoso del cerdo. *InVet* **9**, 19-26.
- Guignot, F., Touraille, C., Ouali, A., Rennerre, M. (1994). Relationship between post-mortem pH changes and some traits of sensory quality in veal, *Meat Science* **37**, 315-325.
- Hernández, B.J., Ríos, R, F. (2009). Efecto de los grupos raciales bovinos en las características de la calidad de la carne. *Nacameh* **3**, 1.
- Honikel K.O. (1998). Recommendation of an Initial Group of Reference Methods for the Assessment of Physical Characteristics of Meat. Proc. 44th ICOMTS. 608-609.
- Hood, D, E. (1980). Factors affecting the rate of metmyoglobin accumulation in pre-packaged beef. *Meat Science* **4**, 247–265.

- Hui, Y. H., Guerrero, I., & Rosmini, M. R. (2006). Músculo PSE y DFD en cerdo. *Editorial Limusa, SA Grupo Noriega. Ciencia y tecnología de carnes. Primera Edición. México, DF*, 271-280.
- Immonen, K., Ruusunen, M., Puolanne, E., (2000). Some effects of residual glycogen concentration on the physical and sensory quality of normal pH beef, *Meat Science* **55** (1), 33–38.
- Jerez, N., Súlbarana, M., Morenoa, L., Rodas, A, Trompíza, J., Ortega. J. (2013). Determinación de defectos de calidad en la canal y carne de cerdo mediante el uso de auditoría, *Revista Mexicana de ciencias pecuarias*. **1** 4.
- Jeong, J.Y., Hur, S.J., Yang, H.S., Moon, S.H., Hwang, Y.H., Park, G.B., Joo, S.T. (2009). Discoloration characteristics of 3 major muscles from cattle during cold storage. *Journal of Food Science* **74** C1–C5.
- Keenan, D.F. (2016). Pork Meat Quality, Production and Processing on. *Encyclopedia of Food and Health*. Centro de Investigación de Alimentos Ashtown, Dublín, Irlanda,419-431. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com.pbidi.unam.mx:8080/science/article/pii/B9780123849472005511>.
- [Consulta 16 Diciembre de 2016].
- King, D.A., Shackelford, S.D., Wheeler., T.L. (2011). Relative contributions of animal and muscle effects to variation in beef lean color stability. *Journal of Animal Science* **89**, 1434–1451.
- Krzywicki, K. (1979). Assesment of relative content of myoglobin, oximioglobin and metmyoglobin at the surface of beff. *Meat Science* **3**,1-10.
- Klont. R, E., Brocks. L., Eikelenboom. G. (1998). Muscle fibre type and meat quality. *Meat Science* **49**, 219-229.
- Linares, M., Alomar, D., Gallo, C. (2012). Potencial uso de espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para identificación de charqui de bovino, llama y caballo. *Vet. Méx* **43** (2).
- Lindah, G., Lundstro, K., Tornberg, E. (2001). Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs, *Meat Science* **59**, 141–151.

- Lindahl, G., Karlsson, A.H., Lundström, K., Andersen, A.J. (2006). Significance of storage time on degree of blooming and colour stability of pork loin from different crossbreeds, *Meat Science* **72**, 603–612.
- McKenna, D.R., Mies, P.D., Baird, B.E., Pfeiffer, K.D., Ellebracht, J.W., Savell, J.W. (2005). Savell. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. *Meat Science* **70**, 665–682.
- Mancini, R.A., Hunt, M.C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science* **71**, 100-121.
- Mancini, R.A., Ramanathan, R. (2014). Effects of *postmortem* storage time on color and mitochondria in beef. *Meat Science* **98**, 65-70.
- Mirallas, M. A. (2007). Influencia del bienestar animal en la calidad de la carne. Navarra Agraria. 164: 61-64. Disponible en: <http://www.navarraagraria.com/n164/arcarga3.pdf> [Consulta 15 Julio de 2016].
- Mohan, A., Hunt, M.C., Muthukrishnan, S., Barstow, T.J., Houser, T.A. (2010). Myoglobin redox form stabilization by compartmentalized lactate and malate dehydrogenases *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **58**, 7021–7029.
- Montgomery C.D. (1991). Diseño de análisis de experimentos. México: Grupo editorial Iberoamericano.
- Muhan, Z. D., Zhiming, G. H., Fang, L., Yongzhi, Z., Weimin, X. (2014). The level of heat shock protein 90 in pig *Longissimus dorsi* muscle. *Food Chemistry* **165**, 337-341.
- Murray, A.C. (1989). Factors affecting beef color at time of grading. *Can. J. Anim. Sci.* **69**, 347-355.
- Norma Oficial Mexicana NOM-008-ZOO-1994, Especificaciones zoosanitarias para la construcción y equipamiento de establecimientos para el sacrificio de animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos, en aquellos puntos que resultaron procedentes. Publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) en el año 1994.
- Norma Oficial Mexicana NOM-009-1994. Proceso sanitario de la carne. Publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) en el año 1994.

- Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. Publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) en el año 1995.
- Norma Oficial Mexicana NOM-051-ZOO-1995, Trato humanitario en la movilización de animales. Publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) en el año 1995.
- Norma Oficial Mexicana NOM-194-SSA1-2004, Productos y servicios. Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio. Especificaciones sanitarias de productos. Publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) en el año 2004.
- Ortega, T.J., Ariza, B.F. (2012). El mecanismo de muerte celular programada y su importancia en el proceso de maduración de la carne bovina. *Rev. Med. Vet.* **23** 83-96.
- Ordóñez, J., Cambero, M., Fernández, L., García, M., García, G., Selgas, M. (1998). Tecnología de los Alimentos, vol. 2: Alimentos de origen animal. Madrid: Síntesis.
- Oyagüe, M. (2007). Estabilidad del color de la carne fresca. *Nacameh* **1** (1), 67-74
- Paden, C. A. (1982). *Diss. Abstr. Int.* **42**, 2763.
- Park, K.M., Pramod, A.B., Kim, J.H., Choe, H.S. Hwang, I.H. (2010). Molecular and biological factors affecting skeletal muscle cells after slaughtering and their impact on meat quality: A mini review. *Journal of Muscle Foods* **21**, 280–307.
- Pérez, J.A., Fernández, L J. (1998). Caracterización de los parámetros de color de diferentes materias primas usadas en la industria cárnica. *Eurocarne* **63**, 115-122.
- Placido, M., Alemán, M. P. (2002). Método higrométrico rápido para determinar actividad de agua. Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* **3** (4) 229-235.
- Prado J.M., Prado I.N., Visentainer J.V. (2009). The effect of breed on the chemical composition and fatty acid profile of the longissimus dorsi muscle of Brazilian beef cattle. *Journal of Animal and Feed Sciences* **18**, 231-240.
- Primo, Y. E. (1998). Química de los alimentos. Madrid: Síntesis.

- Quevedo R., Valencia E., Cuevas G., Ronceros B., Pedreschi F., Bastías J.M. (2013). Color changes in the surface of fresh cut meat: A fractal kinetic application. *Meat Science* **54**, 1430-3436.
- Restrepo, D., Arango, C., Restrepo, R., Amézquita, A. (2001). "Industria de carnes". Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Ríos F., Acosta D. (2008). Sacrificio humanitario de ganado bovino e inocuidad de la carne. *Nacameh* **2** 106-123.
- Roos, Y., Drusch, S. (1995). "Phase Transitions in Foods". Segunda edición. Academic Press. USA.
- Rosenvold, K., Andersen, H. (2002). The significance of pre-slaughter stress and diet on colour and colour stability of pork. *Meat Science* **3**, 199–209.
- Rosenvold, K., Andersen, H. (2003). Factors of significance for pork quality—a review. *Meat Science* **64**, 219–237.
- Ryu, Y.C., Kim, B.C. (2005). The relationship between muscle fiber characteristics, postmortem metabolic rate, and meat quality of pig longissimus dorsi muscle. *Meat Science* **71** (2), 351-357.
- Sepúlveda, W., Maza, M., Mantecón, A. (2008). Factors that affect and motivate the purchase of quality-labelled beef in Spain. *Meat Science* **80**, 1282-1289.
- Swatland, H. J. (1978). *Can. J. Anim. Sci.* **58**, 427.
- Tadeusz, K., Jakubowska, M., Rybarczyk, A., Gardzielewska, J. (2013). The influence of myoglobin on the colour of minced pork loin. *Meat Science* **94** (2), 234–238.
- Tapp W,N., Yencey J.W.S., Apple J.K. (2011). How is the instrumental color of meat measured?. *Meat Science* **89**, 1-5.
- Van de Perre, V., Ceustermans, A., Leyten, J., Geers, R. (2010). The prevalence of PSE characteristics in pork and cooked ham — Effects of season and lairage time. *Meat Science* **86** (2), 391-397.
- Velázquez, M., Ordorica, M. (1982). "Ácidos, Bases, pH y Soluciones Reguladoras" [En línea]. Bioquímica Médica del Instituto Politécnico Nacional. [Fecha de consulta: 27 de Junio de 2016]. Disponible en: <http://www.bioquimica.dogsleep.net/Teoria/archivos/Unidad24.pdf>.

- Vestergaard, M., Oksberg, N., Henckel, P. (2000). Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on muscle fibre characteristics and meat colour of semitendinosus, longissimus dorsi and supraspinatus muscles of young bulls. *Meat Science* **54** (2), 177–185.
- Warner, R.D., Kauffman, R.G., Russell, R.L. (1993). Quality attributes of major porcine muscles: a comparison with the Longissimus lumborum. *Meat Science* **33**, 359–372.
- Warris, P. (2003). “Ciencia de la carne”. España: Acribia.
- Wulf, D., O'Connor, S., Tatum, J., Smith, G. (1997). Using objective measures of muscle color to predict beef longissimus tenderness. *Journal of Animal Science* **75**, 684.
- Yamauchi, K., Nagai, Y. and Ohashi, T. (1980). *Agric. Biol. Chem* **44**, 1061.
- Zhu, L, G., Brewer, M, S. (2003). Effects of urea denaturation and pH on the ability of porcine myoglobin to undergo reduction. *Meat Science* **63** (4), 427–432.
- Zimmerman, M. (2010). “pH de la carne y factores que lo afectan”. [En línea]. Sitio argentino de producción animal. [Fecha de consulta: 27 de Agosto de 2016]. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_ovina/produccion_ovina_carne/146-carne.pdf