



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y FISCOQUÍMICA
DE LA MATERIA PRIMA CÁRNICA UTILIZADA EN LA
ELABORACIÓN DE EMBUTIDOS MADURADOS**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
GUADALUPE AURA ALVARADO CAMACHO

**Asesores: Dra. Adriana LLorente Bousquets
M. en C. Jorge Luís Rico Pérez**



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 CUAUTITLAN
 UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U.N.A.M.
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS
 SUPERIORES CUAUTITLAN

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE



ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Caracterización física, química y fisicoquímica de la materia prima
 cárnica utilizada en la elaboración de embutidos madurados.

Que presenta la pasante Guadalupe Aura Alvarado Camacho

Con número de cuenta: 40400150-6 para obtener el título de:

Ingeniera 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 HABLARA EL ESPIRITU”

Cuautitlan Izcalli, Mex. a 14 de septiembre de 2010

PRESIDENTE Dra. Adriana Llorente Bousquets

Adriana Llorente Bousquets

VOCAL IBQ. Saturnino Maya Ramírez

Saturnino Maya Ramírez

SECRETARIO Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz

María Eugenia Ramírez Ortiz

1er SUPLENTE IA. Patricia Muñoz Aguilar

Patricia Muñoz Aguilar

2º SUPLENTE MC. Julieta González Sánchez

Julieta González Sánchez

El presente trabajo fue realizado en el Laboratorio 7 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria y forma parte del Macroproyecto Productividad sostenible de los hatos de cría en pastoreo. En el Proyecto 7.5.4 Desarrollo de alimentos fermentados. Bioconservación de productos cárnicos que realizan la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán y la Facultad de Química, Facultad de Medicina Veterinaria de la UNAM.

Dedicatorias

A Dios, el cual me ha permitido cumplir todas y cada una de las metas de mi vida y por rodearme de personas maravillosas.

A Carmen y Manuel que son un ejemplo de vida, espero que se encuentren orgullosos y contentos por este logro que no es solo mío sino de ustedes. Mil gracias por sus cuidados, apoyo, paciencia, enseñanzas y dedicación.

A mi hermano Jesús, por tu compañía en cada momento de la vida y por llenarla de alegrías.

A Gerardo y Matías por formar parte de mi vida.

Y mil gracias a mis abuelos, tíos y primos, por cuidarme y ser fuentes de diversiones

Agradecimientos

A la Dra. Adriana Llorente Bousquets, que me abrió las puertas de su vida y ha sido una fuente de enseñanzas, pero principalmente por su paciencia, apoyo, compañía y tiempo invertido. Muchas gracias, jamás podré terminar de agradecerle todo lo que me ha brindado.

Al M. en C. Jorge Luis Rico Pérez, al M. en A. Jorge López Pérez y la Dra. Alma Virginia Lara Sagahón, por su apoyo brindado en la elaboración de esta tesis.

Al MVZ. Andrés Cardona Leyja por apoyo durante el deshuese de la materia prima en el Taller de Carnes.

A la Dra. Lilian Morfín Loyde por las facilidades prestadas en el Laboratorio de Bromatología de la carrera de MVZ .

A Brenda Guadalupe Cristóbal, Rita Pulido, Luis Alberto, Ernesto Jacob Texpa y Carmen Martínez por su compañía y apoyo en la elaboración de la tesis.

A la UNAM por la formación y oportunidad recibidas.

Al PAPIME PE202010, por su apoyo en la terminación e impresión de esta.

A los profesores, amigos y compañeros que han sido una fuente de enseñanzas y motivaciones en cada etapa de mi vida.

Índice

Índice de tablas.....	iv
Índice de figuras.....	vi
Simbología.....	viii
Resumen.....	1
Introducción.....	2
Capítulo 1.....	4
Antecedentes.....	4
1.1. Influencia del manejo de los animales.....	5
1.1.1. Manejo <i>ante-mortem</i>	5
1.1.1.1. Embarque, desembarque y transporte.....	8
1.1.1.2. Descanso.....	11
1.1.1.3. Baño.....	12
1.1.2. Manejo durante el sacrificio.....	12
1.1.2.1. Insensibilización.....	12
1.1.2.2. Desangrado.....	15
1.1.3. Manejo <i>post-mortem</i>	15
1.1.3.1. Desollado, escaldado y depilado.....	15
1.1.3.2. Aserrado y eviscerado.....	16
1.1.3.3. Inspección <i>post-mortem</i>	16
1.1.3.4. Lavado.....	17
1.1.3.5. Almacenamiento.....	17
1.1.3.6. Transporte.....	17
1.2. Anatomía del músculo.....	18
1.2.1. Proteínas en el músculo.....	21
1.2.1.1. Proteínas sarcoplásmicas.....	22
1.2.1.2. Proteínas del tejido conectivo.....	22
1.2.1.3. Proteínas miofibrilares.....	23

1.2.2.	Mecanismo de relajación y contracción	26
1.2.3.	Metabolismo del músculo.....	27
1.3.	Transformación del músculo en carne.....	27
1.3.1.	<i>Rigor mortis</i>	29
1.3.2.	Maduración.....	29
1.3.3.	Acortamiento por frío	32
1.4.	Calidad de la carne	32
1.4.1.	Normatividad.....	32
1.4.2.	Factores intrínsecos y extrínsecos	37
1.4.2.1.	Sistemas de alimentación.....	37
1.5.	Caracterización de la carne para determinar su calidad	39
1.5.1.	Terneza (Dureza)	39
1.5.2.	Color	45
1.5.3.	Análisis químico proximal.....	50
1.5.3.1.	Especie y raza	50
1.5.3.2.	Edad y el sexo.....	51
1.5.3.3.	Sistemas de alimentación.....	53
1.5.3.4.	Localización anatómica	53
1.5.4.	Métodos de evaluación	53
1.5.4.1.	pH y acidez	54
1.5.4.2.	Actividad de agua (Aw).....	57
	Justificación.....	59
	Objetivos.....	60
2.	Materiales y métodos.....	62
2.1.	Obtención de la muestra	63
2.1.1.	Carne de res	63
2.1.1.1.	Carne proveniente del cuarto delantero de bovinos (FMVZ).....	63
2.1.2.	Carne de res del cuarto delantero de bovinos (Aguascalientes).....	64
2.1.3.	Carne de cerdo	65
2.1.4.	Lardo de cerdo	66

2.2. Análisis de perfil de textura.....	66
2.3. Color.....	67
2.4. Análisis químico proximal.....	67
2.4.1. Determinación de humedad.....	67
2.4.2. Determinación de proteína.....	68
2.4.3. Determinación de extracto etéreo.....	69
2.4.4. Determinación de cenizas.....	69
2.5. pH.....	70
2.6. Acidez.....	70
2.7. Actividad de agua.....	70
2.8. Análisis estadístico.....	71
3. Resultados y análisis de resultados.....	73
3.1. Análisis de perfil de textura.....	73
3.2. Color.....	76
3.3. Análisis químico proximal.....	78
3.4. pH.....	81
3.5. Acidez.....	84
3.6. Actividad de agua.....	85
Conclusiones.....	90
Bibliografía.....	93
Anexos.....	101

Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de los factores intrínsecos y extrínsecos causantes del estrés en el ganado.....	7
Tabla 2. Tiempo de descanso del ganado en el corral.....	11
Tabla 3. Principio y usos de los diferentes tipos de insensibilización.....	13
Tabla 4. Descripción de los componentes de las fibras musculares.....	19
Tabla 5. Porcentaje de las proteínas miofibrilares y su punto isoeléctrico.....	23
Tabla 6. Localización y pH óptimo de los sistemas enzimáticos del músculo.....	30
Tabla 7. Actividad enzimática de las CMP.....	30
Tabla 8. Requerimientos de calcio de las calpaínas.....	31
Tabla 9. Categorización de la carne de canales de bovinos según edad de los animales y color de la carne y grasa.....	34
Tabla 10. Subniveles de la carne de canales de bovinos según descriptores de firmeza, textura y marmoleo.....	34
Tabla 11. Evaluación de las características de la carne de canales de porcinos según descriptores y grado de aceptabilidad.....	35
Tabla 12. Alternativas para favorecer la ternera.....	44
Tabla 13. Comparación de la composición química de los músculos <i>L. dorsi</i> y <i>Psoas major</i> en la carne proveniente del ganado bovino y porcino (g/100g de muestra).....	50
Tabla 14. Comparación de la composición química del músculo <i>Longissimus dorsi</i> proveniente de cerdos de la raza <i>Landrace</i> de 4, 5, 6 y 7 meses de edad (g/100 g de muestra).....	51
Tabla 15. Comparación de la composición química del músculo <i>Longissimus thoracis</i> de carne procedente de la raza Holstein, de ambos sexos y en dos sistemas de alimentación (g/100 g de muestra).....	52
Tabla 16. Comparación de la composición química del músculo <i>Longissimus thoracis</i> de la especie <i>Bos taurus</i> de animales enteros y castrados (g/100 g de muestra).....	52

Tabla 17. Composición química de algunas regiones anatómicas de un buey semigraso (g/100 g de muestra).....	53
Tabla 18. Actividad de agua de algunos alimentos	58
Tabla 19. Descripción de las características de la carne de los cuartos delanteros alimentados en el Rancho Experimental	64
Tabla 20. Análisis ANOVA de dos factores de los valores de dureza, cohesividad, elasticidad y masticosidad de las materias primas cárnicas utilizadas en la elaboración de embutidos madurados.....	74
Tabla 21. Análisis ANOVA de dos factores de los valores de L*, a* y b* de las materias primas cárnicas utilizadas en la elaboración de embutidos madurados.....	77
Tabla 22. ANOVA de los valores de pH de las materias primas cárnicas utilizadas en la elaboración de embutidos madurados	82
Tabla 23. Análisis ANOVA de los valores de acidez de las materias primas cárnicas utilizadas en la elaboración de embutidos madurados.....	84
Tabla 24. Análisis ANOVA de los valores de Aw de las materias primas cárnicas utilizadas en la elaboración de embutidos madurados.....	86
Tabla 25. Valores del Análisis de Perfil de Textura y color de la materia prima cárnica....	88
Tabla 26. Valores de la composición química, pH, acidez y Aw de la materia prima cárnica.	89

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de proceso para el sacrificio del ganado bovino y ganado porcino, clasificando las operaciones en manejo *ante-mortem*, manejo durante el sacrificio y manejo *post-mortem* 6

Figura 2. Punto de intersección para la insensibilización en el ganado bovino con perno cautivo 14

Figura 3. Puntos de localización de los electrodos para el aturdimiento de los cerdos 14

Figura 4. Corte transversal del músculo 18

Figura 5. Dibujo de la fibra muscular esquelética mostrando una sección transversal en la que se aprecian la banda A, banda I y la línea Z 20

Figura 6. Micrografía electrónica de una fibra muscular, donde se aprecian las bandas y líneas que constituyen el sarcómero 21

Figura 7. Conformación del filamento grueso 24

Figura 8. Proteínas que conforman en filamento delgado 24

Figura 9. Mecanismo relajación contracción 26

Figura 10. Consecuencias del paro de la circulación en el músculo *post-mortem* 28

Figura 11. Curva del Análisis de Perfil de Textura 43

Figura 12. Efecto del pH en el color de la carne de res 46

Figura 13. Mecanismo de la formación del color de los pigmentos 47

Figura 14. Configuración espacial del sistema CIELAB, donde se observa relación entre los atributos del color y las variables L*, a* y b*. 49

Figura 15. Gráfico de la concentración de ácido láctico con respecto al tiempo del músculo *Longissimus lomborum* de la media canal derecha de porcinos y bovinos. PLD: Porcino lado derecho y BLD: Bovino lado derecho) 54

Figura 16. Gráfico del pH con respecto al tiempo del músculo *Longissimus lomborum* de la media canal derecha de porcinos y bovinos (PLD: Porcino lado derecho y BLD: Bovinos lado derecho) 55

Figura 17. Curvas de descenso de pH durante las primeras 6 h *post-mortem* 56

Figura 18. Cuadro metodológico	62
Figura 19. Materias primas cárnicas utilizada para su caracterización física, química y físicoquímica	65
Figura 20. Gráfico de los valores de masticosidad y dureza del Análisis de Perfil de Textura (TPA) de la materia prima cárnica	73
Figura 21. Gráfico de los valores de elasticidad y cohesividad del Análisis de Perfil de Textura (TPA) de la materia prima cárnica	75
Figura 22. Gráfico de telaraña de los valores de L^* a^* y b^* de la materia prima cárnica..	76
Figura 23. Gráfico del porcentaje de humedad de la materia prima cárnica (porcentaje por cada 100 g de muestra)	78
Figura 24. Gráfico del porcentaje en base seca para proteínas, grasa y cenizas de la materia prima cárnica (porcentaje por cada 100 g de muestra).....	79
Figura 25. Gráfico de los valores de pH de la materia prima.....	81
Figura 26. Gráfico de los valores de acidez de la materia prima cárnica	84
Figura 27. Gráfico de los valores de A_w de la materia prima cárnica	85

Simbología

Aw	Actividad de agua
CC	Carne de cerdo fresca del cuarto trasero proveniente del rastro de San Lorenzo TIF 194
CRCG	Carne de res congelada del cuarto delantero de machos alimentados con granos proveniente del Rancho Experimental de la FMVZ localizado en Martínez de la Torre Veracruz
CRCP	Carne de res congelada del cuarto delantero de hembras alimentadas en pastoreo proveniente del Rancho Experimental de la FMVZ localizado en Martínez de la Torre Veracruz
CRFG	Carne de res del cuarto delantero de bovinos alimentados con granos fresca proveniente de Aguascalientes
DFD	Carne dura, seca y oscura
F	Factor calculado
<i>Factor</i>	6.25 para carne
LC	Lardo de cerdo proveniente de la Empacadora Peñaranda TIF
M	Promedio de los cuadrados
m_1	Masa de la muestra (g)
m_2	Masa del crisol al término de la incineración o masa del cartucho con grasa (g)
m_3	Masa del crisol vacío (g)
<i>meq</i>	Mili equivalentes del ácido (meq)
<i>meqN</i>	Mili equivalentes de nitrógeno (meq)
<i>mL HCl gastados</i>	Mililitros de ácido clorhídrico gastados (mL)
<i>N</i>	Normalidad del hidróxido de sodio (meq/mL)
% N ₂	Porcentaje nitrógeno total
<i>Ndel HCl</i>	Normalidad del ácido clorhídrico (meq/mL)
P	Probabilidad
<i>P</i>	Presión de vapor del alimento
<i>Po</i>	Presión de vapor del agua
PSE	Carne suave, pálida, exudativa
S	Origen de la varianza
SS	Suma de los cuadrados
TPA	Análisis de Perfil de Textura
<i>V</i>	Volumen de hidróxido de sodio (mL)

Resumen

En la producción de embutidos madurados, la materia prima cárnica incluye: la carne de res, la carne de cerdo y el lardo de cerdo; los cuales deben de cumplir con los requisitos de calidad establecidos por la normatividad y por las empresas, para asegurar la calidad e inocuidad de los productos cárnicos desarrollados en ella.

La calidad de la carne se ve reflejada por el manejo antes del sacrificio (*ante-mortem*), durante y después del sacrificio (*post-mortem*), asimismo los procesos bioquímicos y enzimáticos que se llevan a cabo en el músculo durante su transformación en carne, tienen efecto sobre las características físicas y fisicoquímicas.

En la normatividad nacional, existe un proyecto de norma que establece especificaciones fisicoquímicas que incluyen pH y bases volátiles, aunque la información en la literatura indica que estas dependen de factores tales como la especie, la raza, la edad, el sexo, la alimentación, entre otros; y que la legislación existente, no establece los criterios utilizados en el establecimiento de dichos resultados. De este modo y conociendo la historia del manejo de la carne que ocupa la presente tesis, que proviene de rastros TIF, así como las características de los animales, se planea la caracterización de la carne de los cuartos delanteros de bovino como una alternativa en el proceso de elaboración de embutidos madurados y de cuartos traseros de cerdo y lardo de cerdo, los cuales podrán correlacionar con los criterios de calidad que se obtengan.

La evaluación de la calidad de la carne debe de cumplir con características físicas, químicas, fisicoquímicas y microbiológicas, sin embargo en este proyecto de tesis sólo se abordaron las tres primeras; se determinó color y análisis de perfil de textura como características físicas. El análisis químico proximal de la materia prima cárnica incluye la determinación de humedad, proteínas, grasa y cenizas. En cuanto a las características fisicoquímicas, se determinó pH, acidez titulable y actividad de agua (Aw)

Introducción

En México se produce ganado bovino para carne, utilizando dos sistemas de alimentación: uno de ellos, consistente en alimentación a base de pastoreo extensivo, caracterizado por el empleo de bajos insumos, el cual comprende un 63 % del hato ganadero del país, mientras que el restante se compone de animales alimentados en corral. Si bien, se tiene conocimiento de que en México las razas predominantes bajo condiciones de pastoreo han sido tradicionalmente las provenientes de cruza de *Bos indicus*, recientemente se ha reportado que en los últimos años, las especies que son producidas por alimentación en pastoreo en zonas áridas, semiáridas y templadas provienen de cruza de la raza *Bos taurus* (*Angus, Charolais, Hereford y Simmental*), en tanto que, en las zonas del trópico siguen prevaleciendo cruzamientos entre las razas *Bos indicus* (*Brahman, Gyr, Indubrasil*) y *Bos taurus* (*Suizo europeo y Simmental*)⁹⁴. La cruza de razas se realiza en la búsqueda de otra de ellas que mejore el vigor híbrido y con ello también las características cualitativas de la carne bajo las distintas condiciones climáticas de la zona, debido principalmente a que, como se sabe, el ganado alimentado en pastoreo produce carne más dura que la producida con ganado alimentado en corral.

Por otra parte, ha sido ampliamente reconocido que la calidad de la carne también se ve influenciada por el manejo antes (*ante-mortem*), durante y después del sacrificio (*post-mortem*), toda vez que los procesos bioquímicos y enzimáticos que se llevan a cabo en el músculo durante la transformación de este en carne, tienen efecto sobre las propiedades fisicoquímicas, funcionales y sensoriales. Como ejemplo de ello, se sabe que un manejo *ante-mortem* inadecuado de los animales genera estrés en estos, condicionándose así para una disminución importante del glucógeno muscular y, por ende, para la acumulación *post-mortem* de ácido láctico, con lo cual se afecta sensiblemente la curva de disminución del pH durante las primeras 24 horas posteriores al sacrificio, caso en el cual se presenta una consecuente modificación desfavorable sobre el color, la ternura y otros atributos de calidad de la carne.

Argumentos que resaltan la tendencia a la producción de carne proveniente de ganado alimentado en pastoreo, por lo que la carne de cuarto delantero por su corte y características por el tipo de alimentación (carne oscura y dura) es clasificada como de segunda, situación que resalta la necesidad de la búsqueda de alternativas para su uso.

Por lo que en el presente trabajo, se caracterizó la materia prima cárnica utilizada en la elaboración de embutidos madurados: carne de res, carne y lardo de cerdo. Parte de la carne de res se consiguió por el Macroproyecto “Productividad sostenible de los hatos de cría en pastoreo” el cual apporto carne de res proveniente del cuarto delantero de los sistemas de alimentación intensivo y extensivo. La carne de res restante fue de ganado bovino alimentado con granos la cual se consiguió en la “Carnicería el becerro de oro” de Cuautitlán Izcalli. La carne y lardo de cerdo se consiguieron en empresas TIF.

Materias primas cárnicas a las que se les determinó las características físicas (Análisis de Perfil de Textura), químicas (AQP) y fisicoquímicas (pH, acidez titulable y Aw) con el objeto de establecer valores para su uso en la elaboración de embutidos madurados.



Capítulo 1.
Antecedentes

1.1. Influencia del manejo de los animales

La demanda y preferencias de los consumidores han obligado a los productores a seleccionar animales de crecimiento rápido y con mayor rendimiento de carne magra, olvidando considerar que la calidad de la carne, no sólo depende de la genética del ganado, sino del manejo de éste.

El principal propósito de un manejo apropiado de los animales es, mantener su bienestar desde el arreo para su transporte al rastro, hasta la llegada de la carne a los consumidores (Figura 1) (Chambers *etal.*, 2001; Ferguson *etal.*, 2008). De éste modo el manejo de los animales se divide en tres etapas:

- Manejo antes del sacrificio (*ante-mortem*)
- Manejo durante del sacrificio
- Manejo después del sacrificio (*post-mortem*).

1.1.1. Manejo *ante-mortem*

Las condiciones y prácticas durante el periodo en que los animales son embarcados en la granja hasta su sacrificio en el rastro, se le conoce como manejo *ante-mortem*. En esta fase, el ganado es sometido a condiciones adversas de clima, cambios en su estructura social, falta de agua y de alimento y al contacto con humanos, situaciones que repercuten en su bienestar y la presencia de estrés, el cual dependen de los factores intrínsecos y extrínsecos de cada especie (Tabla 1) (Chambers *etal.*, 2001; Chapinal et al., 2005; Ferguson *etal.*, 2008).

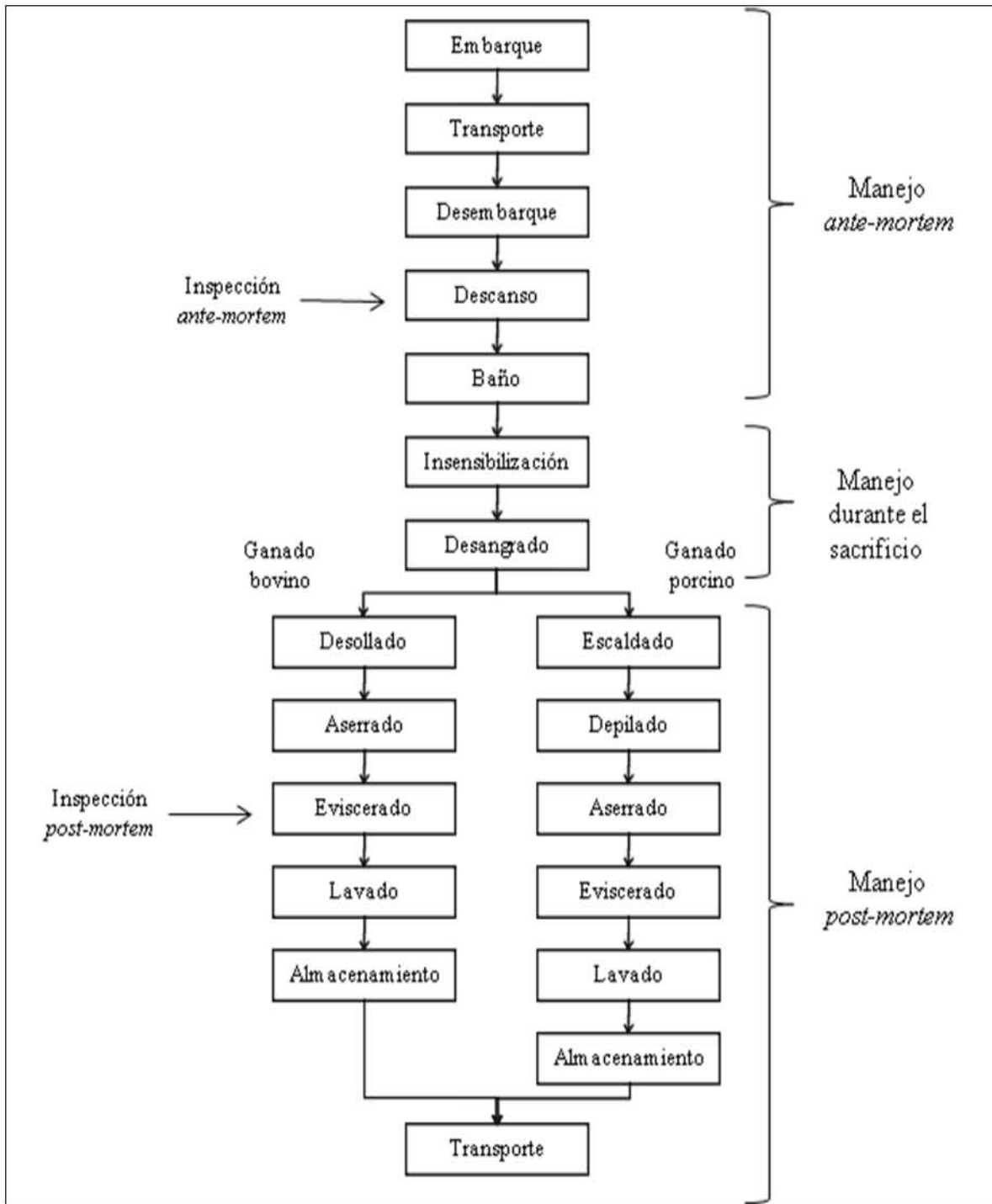


Figura 1. Diagrama de proceso para el sacrificio del ganado bovino y ganado porcino, clasificando las operaciones en manejo *ante-mortem*, manejo durante el sacrificio y manejo *post-mortem*

Fuente: Llorente, 1997; NOM-009-ZOO-1994; Signorini *et al.*, 2006

Tabla 1. Descripción de los factores intrínsecos y extrínsecos causantes del estrés en el ganado

Factores	Definición	Ejemplos	Descripción
Intrínsecos	Los factores intrínsecos, son innatos en cada animal	Sexo	Los machos por su naturaleza son más agresivos que las hembras, situación que provoca peleas y como consecuencia la presencia de hematomas y lesiones.
		Edad	El ganado de adulto es más susceptible a la pérdida de bienestar que el ganado joven.
		Estado emocional	Las situaciones desconocidas para el ganado afectan su estado emocional y como consecuencia la pérdida de su bienestar, por ejemplo: la mezcla de animales, el contacto y manejo de los humanos, condiciones durante el transporte, etc.
		Genética	Los animales con presencia del gen halotano, muestra una respuesta más acusada al estrés, incrementando las pérdidas por muerte durante el transporte y una calidad deficiente en la carne obtenida de estos animales.
Extrínsecos	Los factores extrínsecos son factores del entorno, que afecta y condicionan el comportamiento de los animales	Condiciones climáticas	<p><i>Temperatura</i></p> <p>Las temperaturas bajas (inferiores a los 25 °C) ocasionan temblores en los animales, lo que genera que estos conviertan sus reservas (carbohidratos y grasas) en calor, reduciendo los niveles de glucógeno y aumentando el flujo sanguíneo muscular. A temperaturas altas, se activan mecanismos de enfriamiento con una liberación lenta de calor del músculo en los animales; que cuando supera la temperatura corporal de estos, acelera los procesos metabólicos (hidrólisis de ATP y la glucólisis) llegando a ocasionar su muerte.</p>
			<p><i>Humedad del aire</i></p> <p>La humedad en climas fríos o en días lluviosos causa un enfriamiento excesivo disminuyendo considerablemente la temperatura corporal, mientras que en climas cálidos, la humedad disminuye la pérdida del calor del músculo, debido a que los animales tienen la incapacidad de perder calor por sudoración.</p>
			Luz

Factores	Definición	Ejemplos	Descripción
Extrínsecos		Ruido	El bovinos y ovinos, tienen un oído sensible a las frecuencias altas; por ejemplo: los bovinos tiene una sensibilidad auditiva que alcanza los 8 MHz, mientras que en los humanos, ocurre entre 1 y 3 MHz, por lo que el ruido que no perturban a los humanos, pueden ser doloroso para los oídos de los animales, malestar que incrementa los niveles de estrés en estos.
		Espacio	La reducción del espacio tiene un efecto negativo, debido a que los animales se enojan cuando no pueden moverse libremente, en especial el ganado porcino.
		Estado nutricional	La falta de alimento y agua, ocasiona reacciones metabólicas que afectan el bienestar de los animales, esto se ve reflejado en el aumento de emisión de sonidos, actividad física y cansancio del ganado debida a la deshidratación y el hambre.
		Contacto con humanos	Algunos animales, en especial los provenientes de un sistema intensivo, tienen poco contacto con humanos, por lo que durante las operaciones en que están en contacto con estos se dificulta su manejo y facilita la pérdida de bienestar del ganado.

Fuente: Chambers *et al.*, 2001; Chapinal *et al.*, 2005; Ferguson *et al.*, 2007; Forrest *et al.*, 1979; Grandin, 2003

1.1.1.1. Embarque, desembarque y transporte

En las operaciones de *embarque, transporte y desembarque* del ganado; los gritos, golpes y esfuerzo físico, durante el desplazamiento del corral al vehículo; su manipulación en la carga (ejemplos: apresuramiento, ángulo de inclinación de la rampa y distribución de los animales); el diseño del vehículo (contenedores, ventilación y pisos), las vibraciones y condiciones climáticas durante la movilización y el manejo en el desembarque (ejemplos: movilización de los animales en contenedores y apresuramiento) repercuten en su bienestar (Chambers *et al.*, 2001; Chapinal *et al.*, 2005; NOM-051-ZOO-1995).

A continuación se enlistan algunas recomendaciones:

- Dividir por lotes los animales que se desplazan de acuerdo a especie, sexo, edad y peso, 24 h antes de su embarque para que tengan tiempo de familiarizar, evitando la mezcla de animales con y sin cuernos (Chambers *et al.*, 2001)
- Evitar el apresuramiento de los animales y gritos del personal (Chambers *et al.*, 2001; Chapinal *et al.*, 2005)
- Utilizar para el desplazamiento del ganado látigos de lona liso, periódicos, plásticos enrollados o bastón eléctrico, en lugar de objetos punzo cortantes, palos y tubos que puedan lastimarlos. Si se utiliza bastón eléctrico, éste no debe exceder los 32 V, ni mucho menos utilizarse en lugares como ojos y hocico (Chambers *et al.*, 2001; Velazco, 1998b)
- Uso de rampas de piso antiderrapante y una inclinación menor a 20°, si no sucede así, el ganado realiza un esfuerzo mayor al subir al vehículo; por el contrario, las plataformas disminuye el tiempo de operación (NOM-051-ZOO-1995)
- No sobrecargar los camiones o vagones (NOM-051-ZOO-1995)
- Si el vehículo, cuenta con dos pisos o más, se deben colocar al ganado según su peso, los animales más pesados en el piso inferior (Chambers *et al.*, 2001)
- Desembarcar a los animales del vehículo a la llegada de estos al rastro (NOM-051-ZOO-1995)
- Tener al vehículo bajo programas de mantenimiento y limpieza y contar con un buen sistema de suspensión (Velazco, 1998b)
- El uso de métodos apropiados en la movilización del ganado (tiempo y velocidad). En bovinos se realiza a pie, en camiones (70 km/h) o en ferrocarril (50 km/h) y en porcinos, se recomienda se realice por carretera (NOM-051-ZOO-1995)
- Diseño del transporte de acuerdo a las necesidades de cada especie y la normatividad local
 - *Sistema de ventilación*, éste debe de garantizar el control de la temperatura y humedad relativa del ambiente y la concentración de dióxido de carbono y diseñarse de acuerdo con el clima. En el caso del ganado porcino, se recomienda

utilizar un sistema de aspersión que bañe continuamente al ganado, así como vehículos abiertos con protección contra sol y lluvia (Chambers *et al.*, 2001; Chapinal *et al.*, 2005; NOM-051-ZOO-1995)

- *Jaulas o contenedores*, son diseñados para cada especie según su tamaño y peso, y deben construirse con piso antiderrapante y con superficies lisas sin protuberancias, bordes o cualquier objeto punzo-cortante (clavos, alambre, etc). Deben asegurar la movilidad de los animales a lo ancho y alto para garantizar que el ganado se mantenga de pie y evite que éstos saquen la cabeza o los miembros por los laterales, por ejemplo las jaulas para cerdos de 100 kg de peso en pie deben tener una altura de 1 m y una superficie de 0.42 m (Escutia, 1996; NOM-051-ZOO-1995)
- *Drenaje*, debe facilitar la eliminación de las emisiones de los animales. En los vehículos sin sistema de drenaje, se debe colocar en cada jaula o contenedor una cama de arena o aserrín (NOM-051-ZOO-1995)
- Evitar la movilización de animales enfermos, heridos o fatigados (NOM-009-ZOO-1994; NOM-051-ZOO-1995)
- Conocer los pronósticos meteorológicos para proteger a los animales de condiciones climáticas extremas, por lo que el ganado debe ser movilizado en épocas de calor durante la noche o madrugada y en épocas de frío en el día (Grandin, 1997; Grandin, 2003)
- El consumo de agua y alimento de 2 a 3 h y de 12 h respectivamente antes del embarque de los animales al vehículo, para reducir el volumen del contenido gastrointestinal y evitar evacuaciones, vómito, náuseas, etc. (NOM-009-ZOO-1994; NOM-051-ZOO-1995)
- La movilización del ganado debe ser corta y sin paradas, si el tiempo de transporte se prolonga por 24 h, el descanso y alimentación del ganado bovino no debe exceder las 18 h. En el caso de los cerdos, se recomienda evitar la movilización de estos por más de 20 h así como descansar y alimentar al ganado porcino después de 8 h de movilización bajo sombra durante 1 h. El descanso se realiza en el camión o desembarcando el ganado (NOM-009-ZOO-1994).

1.1.1.2. Descanso

A la llegada del ganado al rastro, se deben verificar la documentación y desembarcar el ganado lo más pronto posible y hacerlo de acuerdo con la NOM-009-ZOO-1994. Los animales al ser desembarcados se dirigen a los corrales de descanso donde permanecerán hasta su sacrificio (Tabla 2), el objetivo de esta operación es relajar y disminuir la fatiga generada en su traslado. Cuando la distancia recorrida por el ganado es < 50 km, el tiempo de descanso, se puede reducir a la mitad de acuerdo con las condiciones del ganado y el dictamen de la inspección *ante-mortem*. Si la permanencia del ganado en el corral es mayor a 24 h se recomienda proporcionarles alimentos y agua (NOM-009-ZOO-1994; Silva *et al.*, 2005; Signorini *et al.*, 2006; Velazco, 1998b).

Tabla 2. Tiempo de descanso del ganado en el corral

Especie	Tiempo (h)
Bovinos	24-72
Porcinos	12-24
Ovinos	12-24
Equinos	6-12

Fuente: NOM-009-ZOO-1994

La inspección *ante-mortem* se realiza durante la estancia del ganado en el corral por el médico veterinario aprobado, el cual observa el comportamiento de los animales en estática y movimiento con el fin de apreciar lesiones y posibles signos de enfermedades y determinar si son aptos para el consumo y seguir con la preparación de éstos para el sacrificio. Los animales sospechosos (con signos de enfermedad) son decomisados y trasladados a corrales de aislamiento, donde permanecerán hasta ser examinados y determinar si son aptos para consumo; si el dictamen es desfavorable, los animales serán sacrificados e incinerados (NOM-009-ZOO-1994).

1.1.1.3. Baño

El baño de los animales tiene como finalidad eliminar o reducir la suciedad presente en la piel, evitando así focos de contaminación en el momento del sacrificio, para que después de éste el ganado se dirija al cajón de insensibilización (Signorini *et al.*, 2006). El baño de bovinos y porcinos se realiza con un sistema de aspersion, seguido de un secado en una antecámara cercana al área de sacrificio (NOM-008-ZOO-1994).

1.1.2. Manejo durante el sacrificio

El manejo durante el sacrificio comprende desde el momento de la insensibilización hasta el término del desangrado. En esta fase, el ritmo de sacrificio en el rastro debe realizarse de acuerdo a la capacidad de éste, debido que al sobrepasarla, aumenta el riesgo del sufrimiento innecesario de los animales, ocasionado por un desangrado tardío. (NOM-033-ZOO-1995)

1.1.2.1. Insensibilización

La insensibilización, aturdimiento o noqueo tiene como principal propósito evitar el sufrimiento del ganado, por lo que, existen diversos métodos que se clasifican de acuerdo con el efecto que tienen en los animales (Tabla 3) (Alarcón *et al.*, 2005; Álvarez *et al.*, 2005, Chambers *et al.*, 2001; Ríos *et al.*, 2006).

De acuerdo con la NOM-033-ZOO-1995, la insensibilización en el ganado bovino debe realizarse con perno cautivo de penetración, produciendo un impacto en el punto de intersección de dos líneas imaginarias que parten del borde de la base de la oreja dirigida hacia la comisura del ojo opuesto. El perno atraviesa el cerebro con una velocidad de 100-300 m/s y una fuerza de 60 kg/mm², ocasionando una conmoción cerebral irreversible, por el daño ocasionado por el impacto (Figura 2) (Ríos *et al.*, 2006).

Tabla 3. Principio y usos de los diferentes tipos de insensibilización

Tipo de Insensibilización	Principio	Descripción	Aplicaciones
De percusión	Producir un shock en el cerebro	La insensibilización de percusión se realiza con un perno cautivo que se dispara de una pistola de aire comprimido o de cartucho de vacío depende de la fuerza del proyectil y la precisión del impacto (localización y ángulo de posición). Existen dos variantes:	
		El <i>perno cautivo de penetración</i> el cual, se apunta al cráneo de forma que el perno penetre en la cabeza y que al impacto genere la pérdida del conocimiento del animal.	Bovinos, ovinos, porcinos y caprinos
		El <i>perno cautivo sin penetración</i> que se coloca delante del cráneo para que el impacto sea contundente.	Ovinos, porcinos y caprinos recién nacidos y aves de corral
Eléctrica	Inducción de un estado epiléptico en el cerebro	El uso de la insensibilización eléctrica en relación con el aturdimiento de percusión es menor. Este método se caracteriza por ser irreversible siempre y cuando se proporcione una carga suficiente de electricidad que insensibilice y/o genere un paro cardíaco en los animales.	Bovinos (terneros), ovinos, porcinos, caprinos y aves de corral
Con dióxido de carbono	Pérdida del conocimiento por envenenamiento	La insensibilización con dióxido de carbono (CO ₂) se caracteriza por ser un método de pérdida de conciencia lento y pese a que algunos autores mencionan que es un método poco humanitario, tiene como ventajas el aturdimiento de varios animales a la vez y asegurar la inconsciencia de los animales hasta el sacrificio; para producir éste efecto en el ganado se utilizan concentraciones superiores a 40 % de CO ₂ .	Cerdos y aves

Fuente: Álvarez *et al.*, 2005; Chambers *et al.*, 2001; Grandin, 2003; Ríos *et al.*, 2006

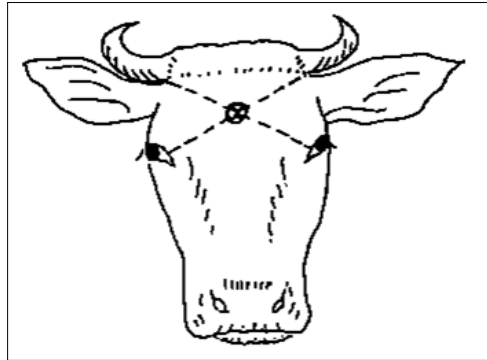


Figura 2. Punto de intersección para la insensibilización en el ganado bovino con perno cautivo

Fuente: NOM-033-ZOO-1995

En el ganado bovino se realiza una insensibilización eléctrica de *solo cabeza*; se utilizan dos electrodos, que pueden ser colocados en cuatro posiciones diferentes (Figura 3):

- a. Cada electrodo colocado atrás de la oreja
- b. Cada electrodo colocado debajo de la oreja
- c. Cada electrodo colocado entre el espacio entre ojo y ceja
- d. Un electrodo entre los ojos y otro atrás de la oreja (NOM-033-ZOO-1995).

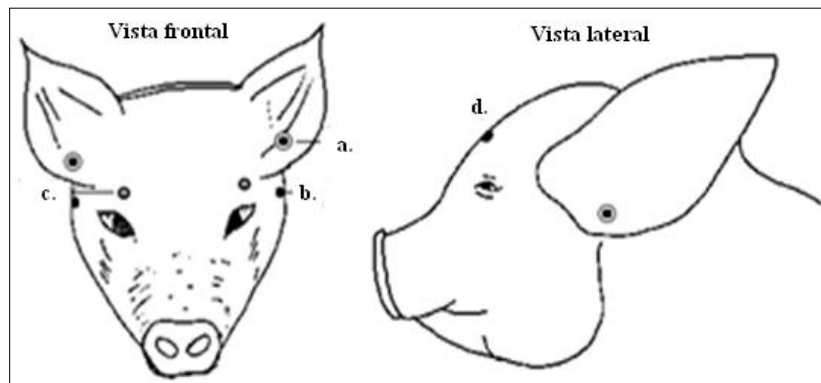


Figura 3. Puntos de localización de los electrodos para el aturdimiento de los cerdos

Fuente: NOM-033-ZOO-1995

Los animales aturdidos deben ser colgados para facilitar el desangrado. El colgado o izado consiste en elevar al animal inmovilizado por medio de un mecanismo que tira de una cadena que se anuda a una pata trasera, si el movimiento del mecanismo es brusco, el fémur se disloca de la pelvis causando una hemorragia, que ocasionará la pérdida de la calidad de la carne (Signorini *et al.*, 2006; Velazco, 2000).

1.1.2.2. Desangrado

El desangrado debe realizarse inmediatamente después de la insensibilización:

- En *bovinos*, el desangrado se debe de realizar entre los 15 y 30 segundos después del aturdimiento con un corte de la yugular
- En *cerdos*, el desangrado debe realizarse 20 segundos después del aturdimiento con un corte de la vena cava anterior, introduciendo el cuchillo abajo del brazo izquierdo (NOM-033-ZOO-1995).

1.1.3. Manejo *post-mortem*

El manejo de la canal después del sacrificio afecta sus características físicas, fisicoquímicas y microbiológicas que repercute en la calidad de la carne.

1.1.3.1. Desollado, escaldado y depilado

El desollado consiste en eliminar la piel de la canal, es una operación que se realiza en el ganado bovino, ovino, caprino y equino (Signorini *et al.*, 2006).

El escaldado y depilado se realiza en cerdos y aves, tiene como objetivo ablandar la piel para facilitar el pelado o desplumado según el caso. Los cerdos son sumergidos en un tanque de escaldado con agua con una temperatura de entre 58 y 62 °C durante 5-8 minutos según la temperatura del agua. Antes de realizar el escaldado el operario debe asegurarse

que los animales estén muertos (Alarcón et al., 2006; NOM-008-ZOO-1994; Signorini *et al.*, 2006). Al término del escaldado, los cerdos son pelados o depilados, esta operación consiste en eliminar el pelo de la piel (Signorini *et al.*, 2006).

1.1.3.2. Aserrado y eviscerado

Para realizar el aserrado primero se hace una incisión con un cuchillo para después introducir la sierra eléctrica y cortar el esternón (Signorini *et al.*, 2006).

La evisceración debe realizarse inmediatamente después del desollado en un lapso de 30 minutos, si no es así, se deben realizar pruebas microbiológicas para garantizar la inocuidad de la canal. Antes de retirar y clasificar las vísceras del ganado se debe de ligar el esófago y recto con el propósito de evitar la contaminación de la canal (NOM-194-SSA1-1994; NOM-008-ZOO-1995; Velazco, 1998b).

1.1.3.3. Inspección *post-mortem*

El médico veterinario aprobado realiza la inspección *post-mortem* que consta de:

- Observación macroscópica de la canal, órganos y tejidos (presencia de contusiones, hemorragias, deformaciones óseas y/o cualquier otra alteración)
- Palpitación de órganos y corte de músculos, vísceras y nódulos linfáticos, en caso de que sea necesario

Las canales que presenten lesiones y signos de enfermedades, serán detenidas para su diagnóstico, si el resultado de éste es desalentador, los animales serán decomisados e incinerados (CAC/RCP 41-1993; NOM-009-ZOO-1994).

1.1.3.4. Lavado

El lavado de la media canal se realiza mediante chorros de agua caliente a presión, eliminando residuos como pelo, sangre, heces, entre otros (NOM-194-SSA1-1995; Signorini *et al.*, 2006).

1.1.3.5. Almacenamiento

El almacenamiento de las canales se realiza a temperatura de 4 a 0 °C, retardando así el crecimiento bacteriano y favoreciendo la maduración de la carne (almacenamiento de 14 y 5 días para la canal de bovinos y porcinos, respectivamente). En la cámara de refrigeración, los rieles utilizados para la suspensión de la canal, deben tener una altura y separación de las paredes adecuadas según las características de la canal, con el objeto de evitar la contaminación de la canal con la infraestructura. De acuerdo con lo establecido en la NOM-008-ZOO-1994 se tiene que la altura de los rieles en la cámara de refrigeración para el colgado de la media y cuartos de la canal de bovinos es de 3.4 y 2.3 m, respectivamente (NOM-194-SSA1-1995; NOM-008-ZOO-1994; NOM-009-ZOO-1994; Novelo *et al.*, 2008).

1.1.3.6. Transporte

El transporte de la canal debe realizarse en camiones frigoríficos que mantengan la temperatura de refrigeración constante con una temperatura máxima de 4 °C. El vehículo debe estar diseñado de acuerdo a las características de las canales evitando el contacto de éstas con el piso y paredes de las cajas refrigeradas, debido a que estas superficies pueden ser fuentes de contaminación. Los vehículos deben contar con un plan de limpieza y desinfección, así como de mantenimiento preventivo (NOM-194-SSA1-1995; NOM-008-ZOO-1994).

1.2. Anatomía del músculo

El músculo está conformado por los tejidos muscular, conectivo y nervioso que se clasifican de acuerdo a su: *metabolismo* (blanco y rojo), *contracción* (lenta y rápida), *función* (locomoción y sostén) y *enervación* (liso y estriado: cardíaco y esquelético) (Belitz *et al.*, 2004; Fennema, 1993; Klont *et al.*, 1998). El músculo esquelético se encuentra en la mayoría de los músculos encargados del movimiento y sostén del organismo de un animal, a continuación se describirá la anatomía de éste.

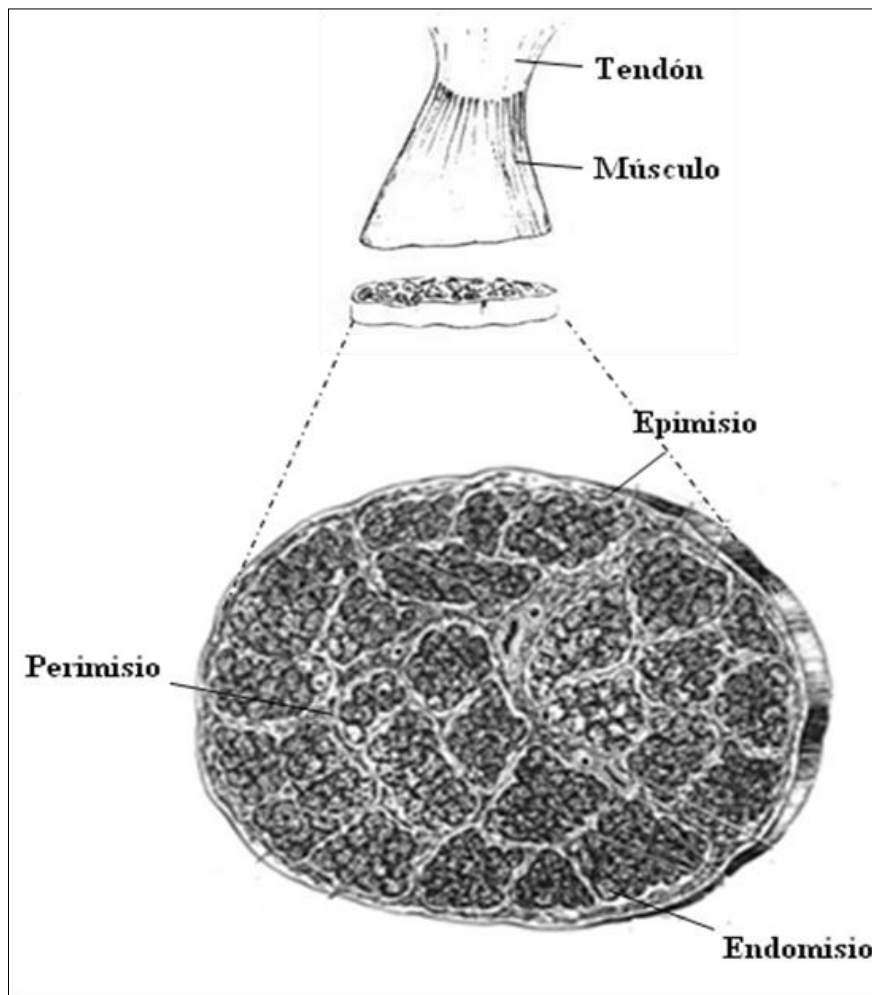


Figura 4. Corte transversal del músculo

Modificado de Forrest *et al.*, 1979

Tabla 4. Descripción de los componentes de las fibras musculares

Componentes de las fibras musculares	Correspondencia de los componentes de otras células	Descripción
Sarcolema	Membrana celular	Estructura relativamente elástica debido a las alteraciones que sufre en la contracción-relajación y durante el estiramiento del músculo.
Sarcoplasma	Citoplasma celular	Estructura de consistencia semifluida en la que se están suspendidos los organelos (núcleo, ribosomas, lisosomas, mitocondrias, entre otros), gotitas de lípidos y gránulos de glucógeno.
Núcleo		Las células musculares son multinucleadas, los núcleos tienen una forma elipsoidal con un eje paralelo al de la célula.
Miofibrillas		Bastoncitos cilíndricos largos y finos bañados por el sarcoplasma. Las miofibrillas propias de las células musculares compuestas por miofilamentos gruesos y delgados.
Miofilamentos gruesos		Filamentos compuestos por miosina (proteína) con un diámetro de 14-16 nm y 1.5 µm de longitud.
Miofilamentos delgados		Filamentos compuestos de actina (proteína) de 6-8 nm de diámetro y 1 µm de longitud.
Retículo sarcoplasmático	Retículo endoplasmático	Sistema membranoso encargado del almacenamiento y liberación de iones Ca^{2+} en la relajación-contracción.
Mitocondrias		Organelo oblongo encargado de capturar la energía liberada del metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas. Se localizan en el sarcoplasma y entre las miofibrillas adyacentes a línea Z o banda I.
Lisosomas		Organelo en forma de vesícula que contiene enzimas proteolíticas como son las catepsinas.
Aparato de Golgi		Vesícula plana que tiene como función almacenar y eliminar los desechos de la célula, se localizan en el sarcoplasma cerca de los núcleos.

Fuente: Fennema, 1993; Forrest *et al.*, 1979

El músculo estriado esquelético está rodeado por una membrana denominada epimisio, en éste, se localizan diversos haces musculares cubiertos por el perimisio; un haz muscular se constituyen de células o fibras musculares rodeadas por el endomisio. Las membranas que envuelven los componentes del músculo, están conformadas principalmente por tejido conectivo (Figura 4) (Belitz *et al.*, 2004; Chacón, 2004; Cole *et al.*, 1975; Fennema, 1993; Forrest *et al.*, 1979; Ranken, 2003).

La fibra muscular es la unidad constitucional del músculo, conformada por el sarcolema, el sarcoplasma, núcleo, miofibrillas, retículo sarcoplásmico, mitocondrias, lisosomas y aparato de Golgi. Su forma es alargada con un diámetro de 10 a 100 μm (Tabla 4 y Figura 5) (Forrest *et al.*, 1979; Fennema, 1993).

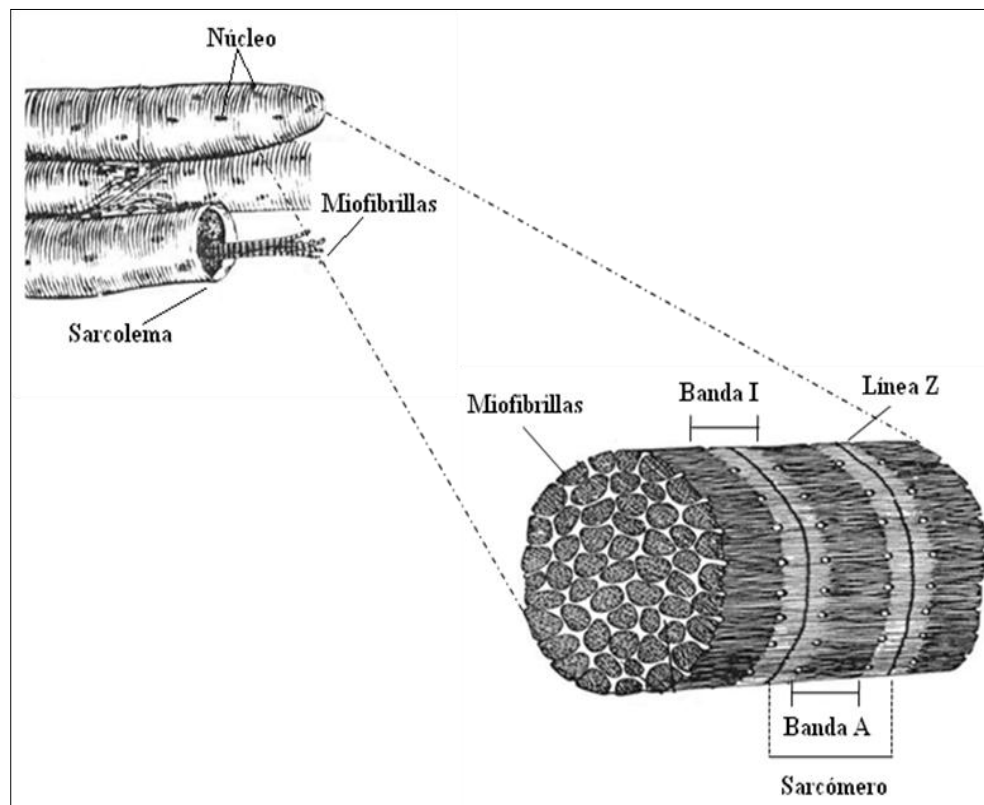


Figura 5. Dibujo de la fibra muscular esquelética mostrando una sección transversal en la que se aprecian la banda A, banda I y la línea Z

Modificado de Forrest *et al.*, 1979

Los miofilamentos delgados y gruesos se alinean paralelamente en la fibra muscular, dentro de éste acomodo, se observan zonas claras y oscuras. Las bandas reciben su nombre de acuerdo a la forma en la que se observan con la luz polarizada. La zona clara, es conocida como Banda I, o banda isotrópica por su denominación. La zona oscura, recibe el nombre de Banda A, derivado de anisotrópica. La Banda I y Banda A a su vez, están divididas por líneas y bandas. La Línea Z divide la Banda I y la Banda A, ésta fraccionada por la Banda H que a su vez está dividida por la Línea M. La longitud entre dos líneas Z, se denomina sarcómero. El sarcómero es la unidad contráctil básica del músculo (Figura 5 y Figura 6) (Belitz *et al.*, 2004; Forrest *et al.*, 1979; Lawrie, 1998).

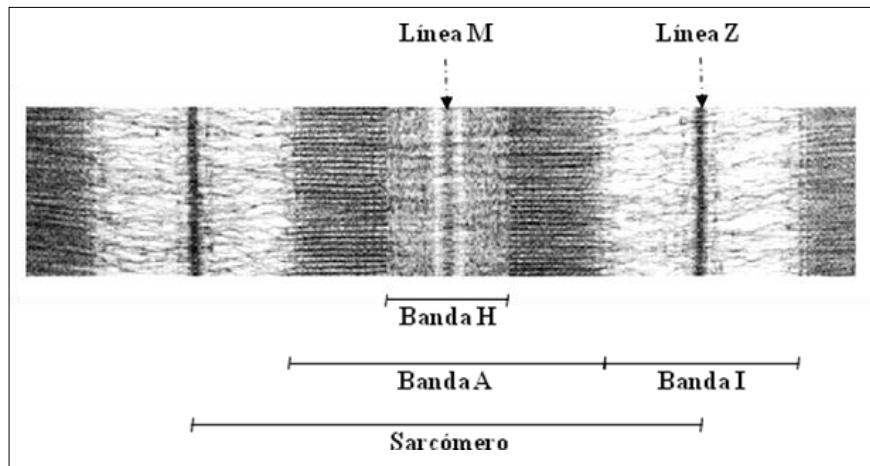


Figura 6. Micrografía electrónica de una fibra muscular, donde se aprecian las bandas y líneas que constituyen el sarcómero

Fuente: Forrest *et al.*, 1979

1.2.1. Proteínas en el músculo

Las proteínas del músculo se clasifican por su solubilidad en proteínas sarcoplasmáticas, del tejido conectivo y miofibrilares (Chacón, 2004; Forrest *et al.*, 1979).

1.2.1.1. Proteínas sarcoplásmicas

Las proteínas sarcoplásmicas se caracterizan por ser hidrosolubles y se localizan en el sarcoplasma de las fibras musculares, de donde se deriva su nombre. Estas proteínas son globulinas y albúminas como la mioglobina (Belitz *et al.*, 2004; Forrest *et al.*, 1979).

1.2.1.2. Proteínas del tejido conectivo

El tejido conectivo del músculo está conformado por la elastina y el colágeno que se identifican como proteínas insolubles en agua. La elastina es una proteína fibrosa compuesta por alanina y glicina que se encuentra en músculos con actividad física vigorosa (Blanco *et al.* 2007; Belitz *et al.*, 2004; Chacón, 2004).

El colágeno es el principal componente del tejido conectivo, constituido por fibrillas de tropocolágeno formadas por una triple cadena de polipéptidos enrollados en forma de hélice. Es una proteína de estructura fibrosa compuesta por tres aminoácidos, la glicina, hidroxiprolina e hidroxilisina (Belitz *et al.*, 2004; Chacón, 2004).

La estabilidad y cantidad de colágeno en el músculo varía según:

- *Edad.* Los enlaces entre las moléculas de colágeno son más estables conforme aumenta la edad del animal, provocando una disminución de la proteólisis y una menor solubilidad
- *Tipo de músculo.* Los músculos encargados de la locomoción tienen una mayor concentración de colágeno en comparación con los músculos que tienen como principal función el sostén de la estructura ósea

La estructura de la molécula de colágeno al ser sometida durante la cocción a temperaturas superiores a los 40 °C pierde su conformación helicoidal, favoreciendo la palatabilidad de la carne (Blanco *et al.*, 2005; Cole *et al.*, 1975).

1.2.1.3. Proteínas miofibrilares

Las proteínas miofibrilares, localizadas en el interior de las fibras musculares, son proteínas encargadas del mecanismo de contracción-relajación del músculo, de acuerdo con ésta función, algunos autores las denominan proteínas contráctiles. Estas proteínas se caracterizan por su solubilidad en soluciones salinas.

Las proteínas que conforman el aparato contráctil del músculo son: la actina, la miosina, la tropomiosina y la troponina (Tabla 5) (Chacón, 2004; Forrest *et al.*, 1979; Lawrie, 1998).

Tabla 5. Porcentaje de las proteínas miofibrilares y su punto isoeléctrico

Proteínas miofibrilares	Porcentaje de las proteínas miofibrilares	pH isoeléctrico
Miosina	50-55	5.4
Actina	20-25	4.7
Tropomiosina	8-10	5.1

Fuente: Chacón, 2004; Forrest *et al.*, 1979

a) Miosina

Las moléculas de miosina conforman el filamento grueso de las miofibrillas, las cuales se caracterizan por tener un arreglo en forma de bastón alargado con un abultamiento en uno de los extremos. La región abultada se conoce como cabeza y la porción del bastón, recibe el nombre de cola. Cuando es sometida a la acción de la enzima tripsina se divide en dos fracciones: la meromiosina ligera (bastón) y meromiosina pesada (cabeza) (Figura 7) (Chacón, 2004; Forrest *et al.*, 1979; Lawrie, 1998).

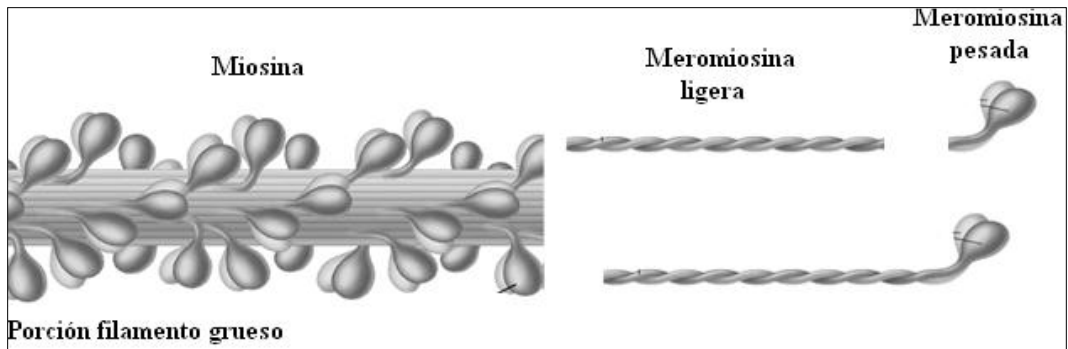


Figura 7. Conformación del filamento grueso

Fuente: Lodish *et al.*, 2004

b) Actina

La actina es una de las proteínas que conforman al filamento delgado de las miofibrillas. La actina tiene la forma de una molécula esférica, generada por la formación de plegamientos de las cadenas polipepticas. Es una molécula con alto contenido del aminoácido prolina (Figura 8) (Chacón, 2004; Forrest *et al.*, 1979; Lawrie, 1998).

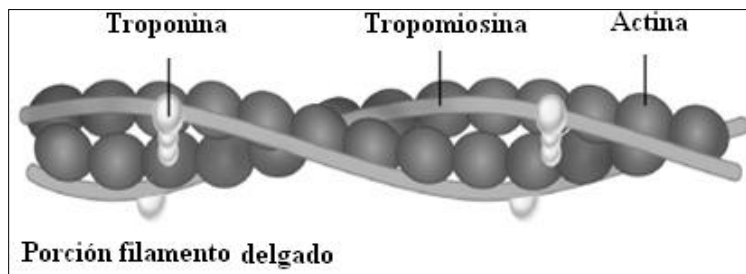


Figura 8. Proteínas que conforman en filamento delgado

Fuente: Lodish *et al.*, 2004

c) Tropomiosina

La tropomiosina está formada por dos cadenas peptídicas fibrosas que interactúan con la actina para la conformación del filamento delgado de las fibras musculares, uniéndose entre sí en los extremos (Figura 7) (Chacón, 2004; Forrest *et al.*, 1979; Lawrie, 1998).

d) Troponina

La troponina es una proteína globular compuesta por tres moléculas TnT, TnI y TnC. La TnT tiene la función de unir a la troponina con la tropomiosina. La TnI está encargada de interactuar con la miosina y la TnC tiene la capacidad para ligar iones Ca^{2+} (Figura 8) (Chacón, 2004; Forrest *et al.*, 1979; Lawrie, 1998).

e) Formación del filamento delgado

El filamento delgado de las miofibrillas está constituido por la actina F. La actina F son dos cadenas de actina G, que se unen formando una doble hélice lineal. La tropomiosina se une a las cadenas de actina G cuando se agrupan para formar actina F, al mismo tiempo, la troponina se adhiere a la tropomiosina (Chacón, 2004; Forrest *et al.*, 1979).

En una micrografía electrónica de la sección transversal de una miofibrilla, se observa la organización de las proteínas que dan origen a las bandas y líneas que conforma un sarcómero (Figura 8). El sarcómero está delimitado por la línea Z, la cual está formada por las uniones de la proteína actina que conforman la banda I.

La banda A está constituida de tres partes: la zona oscura o lateral, la banda H y la línea M. La miosina y actina se localizan en la zona oscura. En la banda H se encuentra principalmente la miosina y la línea M es el resultado de las conexiones cruzadas del filamento grueso, donde la miosina se ordena de forma transversal y longitudinal (Forrest *et al.*, 1979; Lawrie, 1998).

1.2.2. Mecanismo de relajación y contracción

El mecanismo de relajación y contracción depende de la concentración de los iones Ca^{2+} y energía en forma de ATP. La contracción inicia cuando el retículo sarcoplásmico libera iones de Ca^{2+} como respuesta a un estímulo nervioso; el Ca^{2+} al llegar al aparato contráctil, interactúa con la molécula de troponina TnC, lo que modifica la interacción de la troponina y tropomiosina y permite la unión entre actina y miosina (a).

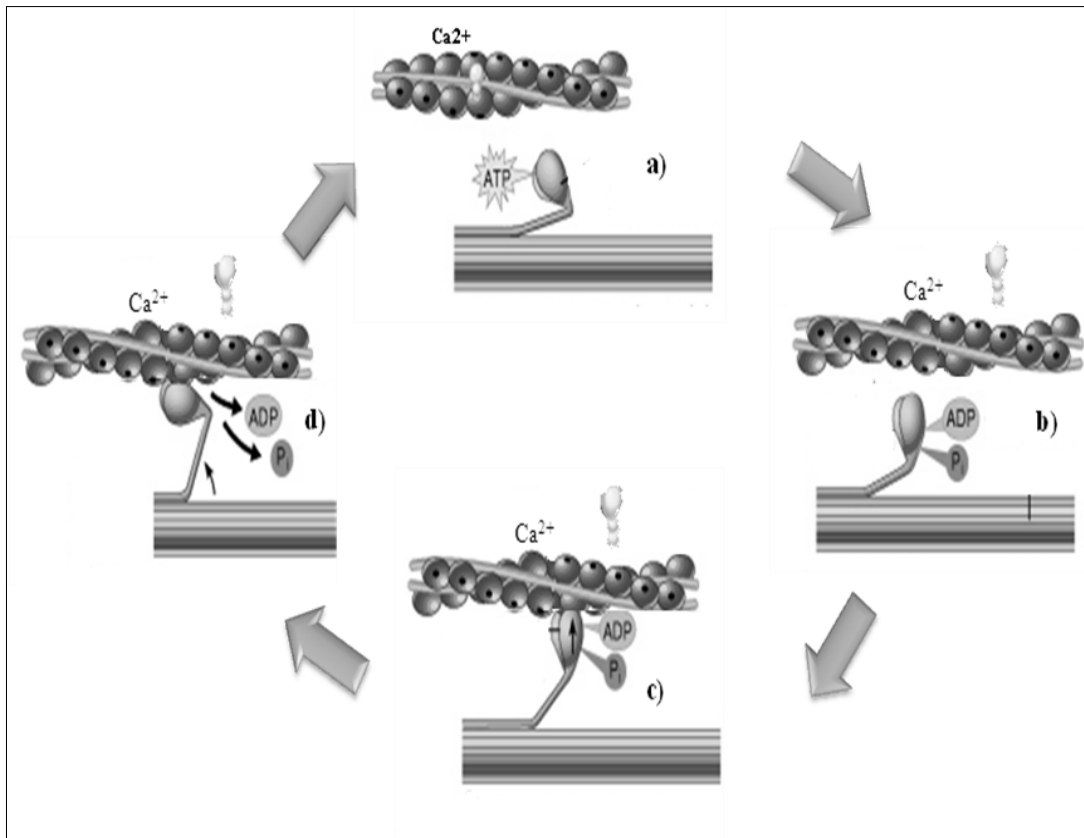


Figura 9. Mecanismo relajación contracción

Fuente: Lodish *et al.*, 2004

La cabeza de miosina hidroliza ATP para formar ADP-Pi y cambia de forma y posición (b), al cambiar de posición la miosina arrastra consigo a la molécula de actina (c), evento conocido como contracción. La relajación inicia cuando al término del desplazamiento de

la actina se libera el ADP-Pi y Ca^{2+} al entrar en contacto con ATP (d), regresando a su estado inicial con la interacción entre la actina, tropomiosina y troponina (Figura 9).

El retículo sarcoplásmico absorbe los iones de Ca^{2+} , almacenándolos hasta la llegada del siguiente estímulo nervioso, iniciando el ciclo una vez más (Chacón, 2004; Lodish *et al.*, 2002).

1.2.3. Metabolismo del músculo

Los animales al ser sacrificados, presentan cambios en el metabolismo, la diferencia de éste entre un músculo *in vivo* y el músculo *post-mortem* está condicionada por la presencia o ausencia de oxígeno.

En el músculo *in vivo*, se desarrollan diversos mecanismos, siendo el de mayor interés la producción de energía a partir del glucógeno muscular. El glucógeno es degradado por la acción de diversas enzimas a piruvato o ácido pirúvico (glucólisis), en presencia de oxígeno el piruvato pasa al Ciclo de Krebs y posteriormente a la cadena respiratoria produciendo energía en forma de ATP, CO_2 y H_2O . Por el contrario, el piruvato en ausencia de oxígeno es degradado por la enzima lactato deshidrogenasa, produciendo ácido láctico, el cual es trasladado al hígado donde se transformará en glucógeno (Belitz, 2004; Forrest *et al.*, 1979).

1.3. Transformación del músculo en carne

Al llevar a cabo el sacrificio de los animales se inician una cascada de eventos que permitirán la transformación final del músculo en carne (Figura 10). Inicialmente, el paro circulatorio reduce el transporte de oxígeno a la célula, lo que favorece que se instale la glucólisis anaerobia con la conversión de ácido pirúvico en ácido láctico. La formación de ácido láctico ocurre por acción enzimática, según la concentración de glucógeno en el músculo y esto a su vez, es función de las condiciones de manejo del ganado previas al

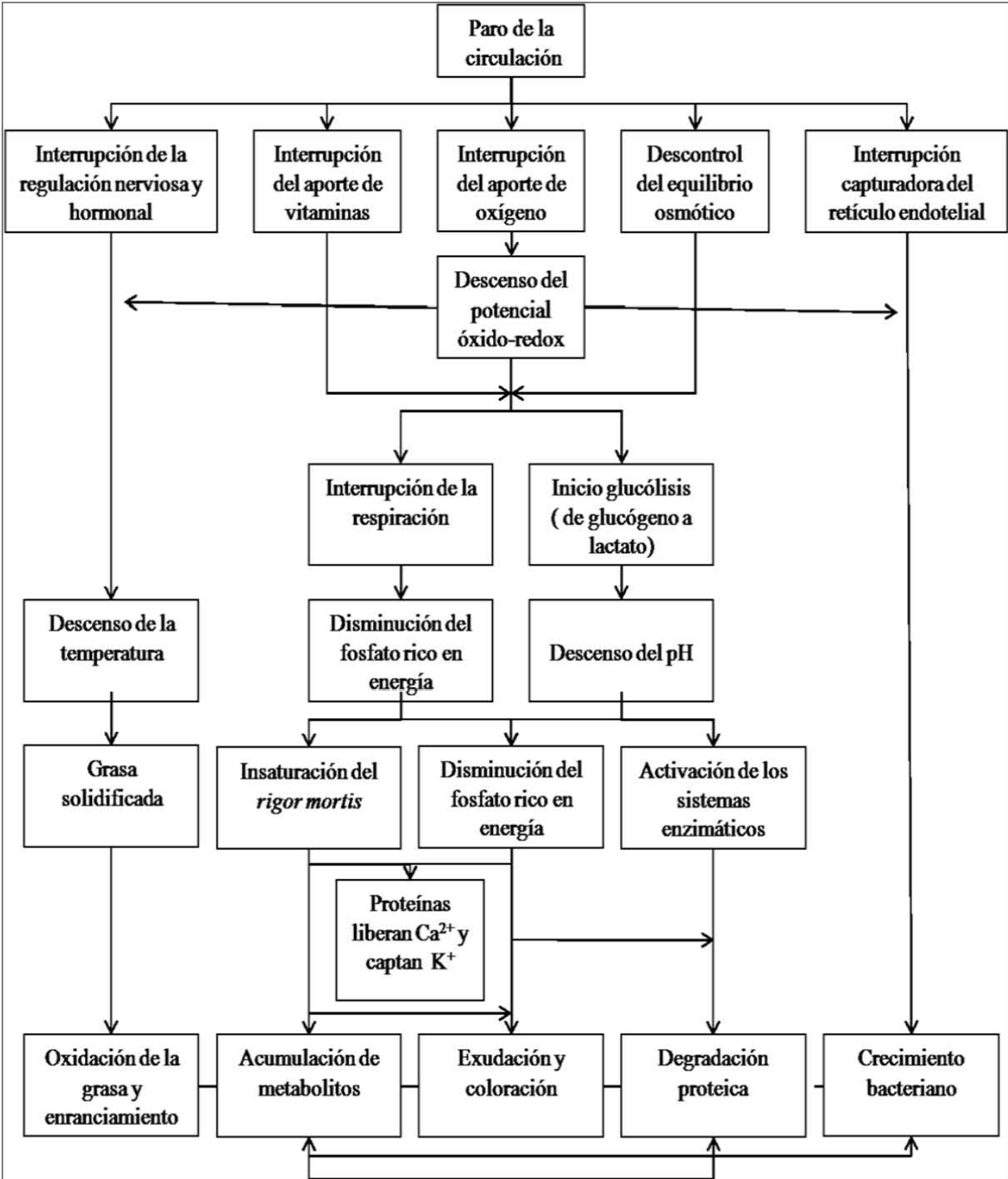


Figura 10. Consecuencias del paro de la circulación en el músculo *post-mortem*

Modificado de Lawrie, 1998

sacrificio. La acumulación del ácido láctico en el músculo *post-mortem*, se relaciona con la velocidad de descenso de pH, a mayor concentración de ácido láctico menor es el valor final que se obtiene. Valores reducidos de pH afectan la evolución de las características físicas (formación de enlaces actina-miosina y color) y funcionales (capacidad de retención de agua). Además, según las condiciones sanitarias *ante-mortem* y *post-mortem* se tendrá un aumento en el crecimiento de microorganismos (Forrest *et al.*, 1979; Fennema, 1993; Lawrie, 1998).

1.3.1. Rigor mortis

El *rigor mortis* o rigidez cadavérica se caracteriza por la presencia de enlaces cruzados entre los filamentos de actina y miosina. Con la disminución de la cantidad de ATP en el músculo *post-mortem* se favorece la formación del complejo actomiosina. Esto ocurre en dos fases, la de retardo y la de presentación. La de retardo se caracteriza por la extensibilidad y elasticidad del músculo *post-mortem*, inmediatamente después del desangrado. La fase de presentación inicia cuando en el músculo *post-mortem* es insuficiente el ATP para una relajación sostenida, lo que ocasiona la formación del complejo actomiosina con una marcada pérdida de la extensibilidad del músculo (Belitz *et al.*, 2004; Fennema, 1993; Teira, 2004).

1.3.2. Maduración

Al final del *rigor mortis*, en el músculo *post-mortem*, se inicia la degradación del complejo actomiosina por la acción de los sistemas enzimáticos de las fibras musculares, proceso en la carne conocido como maduración, el cual se desarrolla de forma natural durante el almacenamiento de la canal en condiciones de refrigeración y que favorece el desarrollo de la ternera, sabor y aroma de la carne (Forrest *et al.*, 1979; Lawrie, 1998).

Los *Complejos Multicatalíticos de Proteinasas (CMP)*, las *catepsinas* y las proteasas neutras activadas por calcio o *calpáinas* son sistemas enzimáticos responsables de la

degradación de las proteínas contráctiles y tejido conectivo (Tabla 6) (Klont et al., 1999; Koohmaraie, 1994; Koohmaraie, 1996; Koohmararie *et al.*, 1998 Quali, 1992).

Tabla 6. Localización y pH óptimo de los sistemas enzimáticos del músculo

Sistema enzimático	Enzimas	Localización	pH óptimo
CMP		Citosol	7.5-8.0
Catepsinas	Catepsina D Catepsina B Catepsina L Catepsina H	Lisosoma	5.0-6.0
Calpaínas	μ Calpaína m Calpaína μ/m Calpaína Calpastatinas	Citosol	7.0-9.0

Fuente: Koohmaraie, 1994; Oauli, 1992

En el músculo esquelético, además de estos sistemas enzimáticos, existen diferentes tipos de proteasas de las que se desconoce su efecto en la maduración de la carne.

a. Complejos Multicatalíticos de Proteinasas

Los CMP son complejos multicatalíticos, anteriormente mencionados como proteínas del estroma, están constituidos por enzimas con una masa de 600 a 710 kDa. Estas proteasas están conformadas por polipéptidos de bajo peso molecular (BPM) 21 a 31 kDa; su actividad enzimática está determinada por el valor de pH y la temperatura del entorno (Tabla 7) (Badui, 1993; Lawrie, 1998).

Tabla 7. Actividad enzimática de las CMP

Actividad	pH	Temperatura (°C)
Mínima	7.5	5
22(%)	5.5	45
Máxima	7.5-8.0	45

Fuente: Koohmaraie, 1994

b. Catepsinas

Las catepsinas son enzimas encargadas de la hidrólisis de las proteínas miofibrilares, en el músculo se han encontrado diferentes catepsinas, las cuales han sido denominadas con letras del alfabeto: D, L y H (Badui, 1993; Lawrie, 1998).

c. Proteasas neutras activadas por calcio

Las calpaínas son las enzimas proteolíticas intracelulares de mayor interés en la transformación de músculo en carne, de acuerdo con sus requerimientos de calcio se clasifican en: μ -Calpaína, μ/m -Calpaína, m-Calpaína y Calpastatinas (Tabla 8).

Las calpastatinas actúan como inhibidores de las calpaínas en presencia de calcio, la cantidad y tamaño de estas enzimas varía según la especie, interactúan una molécula de calpastatina con 3 ó 4 moléculas de calpaína. Por ejemplo, la raza *Bos indicus* cuenta con concentraciones de calpastatinas superiores a las presentes en *Bos taurus* (Chacón, 2004; Lawrie, 1998; Quali, 1992; Teira, 2004).

Tabla 8. Requerimientos de calcio de las calpaínas

Tipo de Calpaína	Requerimientos de Ca^{2+} (μM)
μ -Calpaína	3-5
μ/m -Calpaína	3-1000
m-Calpaína	200-1000

Fuente: Chacón, 2004

El sistema proteolítico calpaína-calpastatina se caracteriza por la habilidad para degradar proteínas encargadas de mantener la estructura contráctil como son la tropomiosina y la troponina; el efecto de estas enzimas en la miosina y actina no es significativo. Se localiza en la línea Z y en menor proporción en la línea I (Chacón, 2004; Forrest *et al.*, 1979).

1.3.3. Acortamiento por frío

El acortamiento por frío se puede producir cuando la temperatura del músculo de la canal desciende hasta los 15°C antes que ocurra el *rigor mortis*, lo que genera el aumento de la contracción por la liberación de calcio al sarcoplasma, como respuesta a la falta de oxígeno *post-mortem*; esta condición se presenta principalmente en canales de bovinos y ovinos. En bovinos, el acortamiento por frío ocurre cuando la canal alcanza los 10°C y el pH es menor a 5.8. En los cerdos el acortamiento por frío es un defecto que difícilmente se presenta debido al contenido de grasa y la concentración de células blancas (células con metabolismo anaeróbico) (Belitz *et al.*, 2004; Forrest *et al.*, 1979; Lawrie, 1998; Teira *et al.*, 2006)).

Un acortamiento del 40 % de la longitud inicial supone un aumento en la formación de actomiosina, generando mayor dureza en la carne (Chacón, 2004; Forrest *et al.*, 1979; Lawrie, 1998).

1.4. Calidad de la carne

Hoy en día, el incursionar en los mercados es una tarea difícil, los consumidores buscan adquirir materias primas cárnicas y subproductos con buena apariencia, suaves y sabrosos, para su abasto, características que describen y definen la calidad de la carne (Chambers *et al.*, 1993; Cole *et al.*, 1975; Mora *et al.*, 2001).

1.4.1. Normatividad

El marco legal que aplica en México, en materia de control sanitario en cuanto al manejo y las condiciones de sacrificio (diseño de un rastro y características del proceso de sacrificio) del ganado y la clasificación de las canales y la producción de subproductos están contemplados en la Ley General de Salud, Ley Federal de Sanidad Animal y los

Reglamentos correspondientes, así como las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX).

En materia de manejo de los animales, diseño de rastros y características del proceso de sacrificio, se encuentran las siguientes normas:

- 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
- NOM-009-ZOO-1994. Proceso sanitario de la carne
- NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres
- NOM-051-ZOO- 1995. Trato humanitario en la movilización de animales

Para la clasificación del ganado bovino y porcino, se tienen las Normas Mexicanas NMX-ZOO-078-2002 y NMX-ZOO-081-2003, respectivamente. Según la NMX-ZOO-078-2002, la clasificación de las canales del ganado bovino se realiza en dos etapas:

1. *Categorización de la carne.* La clasificación de las canales en categorías (suprema, selecta, estándar, comercial y fuera de clasificación) se realiza con base en la edad fisiológica y el color de la carne y de la grasa (Tabla 9).
2. *Determinación de los subniveles de la categorización.* Para la subclasificación (A y B) de las categorías de las canales se utilizan además, los atributos de firmeza, textura y marmoleo (Tabla 10).

Tabla 9. Categorización de la carne de canales de bovinos según edad de los animales y color de la carne y grasa

Categorías	Color carne	Color grasa	Edad aproximada
Suprema	Rojo cerezo	Blanca	18-24 meses
Selecta	Rojo cerezo a rojo intenso	Blanca a cremosa	25-30 meses
Estándar	Rojo intenso a rojo oscuro	Cremosa a ligeramente amarilla	31 a 36 meses
Comercial	Se acepta rojo oscuro	Puede ser amarilla	37 a 48 meses
Fuera de clasificación	-	-	De 49 meses en adelante

Fuente: NMX-ZOO-078-2002

En la NMX-ZOO-081-2003 se establece que para la clasificación de las canales del cerdo se utilizan el color, la firmeza, el marmoleo y el valor de pH a los 45 minutos *post-mortem* de la carne para determinar si son aptos para su consumo (Tabla 11).

Tabla 10. Subniveles de la carne de canales de bovinos según descriptores de firmeza, textura y marmoleo

Atributo	Subniveles	
	A	B
Marmoleo	Abundante	Poco
	Moderadamente abundante	Ligero
	Ligeramente abundante	Trazas
	Moderado	
	Modesto	
Firmeza	Firme	Suave
Textura	Fina	Tosca

Fuente: NMX-ZOO-078-2002

Tabla 11. Evaluación de las características de la carne de canales de porcinos según descriptores y grado de aceptabilidad

Característica	Evaluación	Descriptores	Grado de aceptabilidad
Color	La determinación del color se realiza al hacer el corte transversal del lomo a la altura de la décima costilla.	Pálido	Aceptable
		Ligeramente rosa grisáceo	Aceptable
		Rosa	Rechazado
		Rojo claro	Rechazado
Marmoleo	La evaluación del marmoleo se realiza en la superficie del músculo gran dorsal, cortando a la altura de la décima costilla	Rojo oscuro	Rechazado
		Nulo	Aceptable
		Trazas	Aceptable
		Ligera	Aceptable
		Moderado	Rechazado
Firmeza	La firmeza se determina de acuerdo al criterios establecidos	Abundante	Rechazado
		Muy abundante	Rechazado
		PSE	Rechazado
		Intermedia (animales sanos y jóvenes)	Aceptable
		Dura, rígida o fibrosa (animales adultos y aquellos con un mal manejo en el sacrificio)	Aceptable
		Firme y moderadamente seca	Aceptable
pH _{45 min}		Firme y seca	Rechazado
		Menor a 5.8	Rechazado
		5.9 a 6.8	Aceptable

Fuente: NMX-ZOO-081-2003

Tras una revisión de los descriptores de las características y atributos de las canales utilizadas por la normatividad para su clasificación, resaltan aspectos relevantes como la falta de información y especificaciones que establezcan los criterios utilizados al aplicar los descriptores cuando la carne proviene de animales de diferentes razas, sexos y sistemas de alimentación.

En las normas emergentes (NMX) no son claros, por otro lado no existen normas obligatorias (NOM) sobre aspectos de calidad de la carne fresca, dejando sin especificaciones sanitarias a este sector de la industria cárnica. Sin embargo, existe una

norma que regula las especificaciones sanitarias y los métodos de prueba de los productos cárnicos, la NOM-213-SSA1-2002, donde se clasifican a éstos en 9 categorías:

- a. *Productos cárnicos cocido*, a los elaborados con carne, vísceras, sangre o sus mezclas, curados o no, que son sometidos a proceso térmico. Pueden presentarse enteros, en cortes, emulsionados o troceados.
- b. *Productos cárnicos crudos*, a los elaborados con carne, vísceras o sus mezclas, que pueden ser o no curados o madurados, y que no son sometidos a algún tratamiento térmico.
- c. *Productos cárnicos curados*, a los que se agregan por vía húmeda o seca, sal o azúcares, nitratos o nitritos, independientemente de que sean sometidos a algún tratamiento térmico, a maduración o se manejen crudos.
- d. *Productos cárnicos desecados, secos o salados*, a los sometidos a reducción de la humedad por medio de aire, calor o sal hasta llegar a un valor no mayor de 25%.
- e. *Productos cárnicos empanados o rebozados congelados*, a los elaborados con carne molida o picada o en piezas, con adición o no de tejido graso, subproductos y aditivos, que pueden recibir un tratamiento térmico durante su elaboración, pero que necesitan ser cocinados para consumirlos
- f. *Productos cárnicos fritos*, a los elaborados a partir de carne o piel y que son sometidos a freído en aceite o grasa, con o sin sal, curados o no
- g. *Productos cárnicos madurados*, a los que son sometidos a deshidratación parcial, pudiendo ser ahumados o no, sometidos durante cierto tiempo a la acción de cultivos microbianos o enzimas o microorganismos propios de la carne y su acción sobre azúcares añadidos o no. Pueden ser en cortes enteros o troceados.
- h. *Productos cárnicos marinados o en salmuera*, a los adicionados de sal u otros aditivos por vía seca o húmeda, excepto nitratos o nitritos, pudiendo ser cocidos o no
- i. *Productos cárnicos procesados*, a los elaborados a partir de carne, vísceras, estructuras anatómicas, sangre o sus mezclas, provenientes de mamíferos o aves,

que pueden someterse a ahumado, cocción, curación, desecación, maduración, salado, entre otros.

1.4.2. Factores intrínsecos y extrínsecos

La calidad de la carne está influenciada por factores intrínsecos como son la especie, raza, sexo, edad y características genéticas, así como factores extrínsecos como son el sistema de alimentación y manejo de los animales (Alarcón *et al.*, 2006; Belitz *et al.*, 2004; Ferguson *et al.*, 2008).

1.4.2.1. Sistemas de alimentación

Los animales alimentados bajo distintos sistemas de producción y terminación, ofrecen carne con diferentes características de calidad, en relación, principalmente, al color de la grasa superficial y a los atributos sensoriales. Se ha identificado que la dieta de los animales tiene efecto en los atributos de la carne, dentro de éste contexto, el ganado *alimentado en corral* (p ej. granos) otorga mejores propiedades organolépticas que los animales *alimentados en pastoreo* (forrajes), por la apariencia poco agradable debido a la pigmentación del tejido adiposo (Barrón *et al.*, 2004; Dunne *et al.*, 2009).

En nuestro país, se emplean tres sistemas de alimentación para la engorda del ganado porcino: *sistema de producción de altos insumos* utilizado para la engorda del 50 % de la población, seguido por el *sistema de producción de bajos insumos* con el 29% y el resto es alimentado con el *sistema de producción de medianos insumos* (Villamar, 2004).

a) Ganado bovino

En México se produce ganado bovino para carne, utilizando dos sistemas de alimentación: la *alimentación en pastoreo* (intensivo) y la *alimentación en corral* (extensivo). El primer sistema de alimentación está caracterizado por el empleo de bajos insumos y comprende el

63% del hato ganadero del país provenientes de cruza de razas. En zonas áridas (norte), semiáridas y templadas prevalecen las cruza de las razas de *Bos taurus* (*Angus*, *Charolais*, *Hereford* y *Simmental*) y en zonas del trópico (centro y sur) entre las razas de *Bos indicus* (*Brahman*, *Gyr*, *Indubrasil*) y *Bos taurus* (*Suizo europeo* y *Simmental*) (Barrón *et al.*, 2004; Villamar, 2004).

b) Ganado porcino

La producción de carne de cerdo en el país proviene de cerdos criollos (cerdo pelón, cerdo cuino y pata de mula) y de cruza de las razas *Landrace* y *Yorkshire*, principalmente hembras, con machos *Duroc* o *Hampshire* (Villamar, 2004).

La dieta de los animales es complementada con algunos compuestos que tienen la función de regular o retardar la respuesta del estrés, así como mejorar las características de la carne, a continuación se mencionan algunos de éstos:

- *Triptófano*, es un aminoácido que actúa como precursor de la serotonina, la cual es un neurotransmisor encargado de regular la agresión y la temperatura corporal, entre otras (Ferguson *et al.*, 2008)
- *Magnesio*, (en especial el MgO) reduce la liberación de hormonas del estrés antes del sacrificio. En el ganado porcino, además de mantener su estado emocional, mejora el color y disminuye las pérdidas de agua por goteo (Ferguson *et al.*, 2008)
- *Vitamina E*, mejora la estabilidad del color de la carne, funciona como antioxidante reduciendo el proceso de transformación de la mioglobina a metamioglobina (Lahuacky *et al.*, 2006)
- *Vitamina C*, retiene dos de las vitaminas que conforman el complejo B como son la tiamina (B₁) y la riboflavina (B₂) (Ferguson *et al.*, 2008)

El rechazo de los consumidores por la carne proveniente de animales alimentados en pastoreo (el alto consumo de β -carotenos en su dieta aumenta la presencia de pigmentación

rojo-amarilla del tejido adiposo) y la búsqueda de mercados en el extranjero, ha intensificado las acciones de los ganaderos para resolver esta problemática (Barrón *et al.*, 2004; Dunne *et al.*, 2009; Mora *et al.*, 2001). Las medidas tomadas han sido:

- Alimentar al ganado con granos y cereales de 28 a 56 días para la disminución de la concentración de carotenos
- Usar lipoxigenasas de pasta de soya, que hoy en día no ha tenido éxito
- Complementar la dieta con vitamina A, sin ningún efecto en el tejido adiposo
- Comercializar la canal pigmentada en cortes
- Comercializar la media canal en mercados populares (Barrón *et al.*, 2004; Mora *et al.*, 2001)
- Sacrificio del ganado antes de cumplir los 24 meses (Dunne *et al.*, 2009)

1.5. Caracterización de la carne para determinar su calidad

La norma NMX-FF078-SCFI-2002, establece que calidad de la canal se refiere a los atributos o características deseables para el consumidor, y cuya relación da lugar a los distintos grados de clasificación.

En el presente trabajo se hizo la caracterización física (análisis de perfil de textura - dureza) y color), química (análisis químico proximal) y fisicoquímica (pH, acidez y actividad de agua) de la carne, estos factores se utilizan como indicadores de calidad en la industria cárnica y en este caso para conocer la materia prima cárnica proveniente de diferentes sistemas de producción de pastoreo o forrajes y granos.

1.5.1. Terneza (Dureza)

La aceptación de la carne es definida por los consumidores con base en los criterios de terneza y jugosidad. La terneza de la carne varía entre cortes de la misma canal por las

fibras musculares, tamaño, función y localización del músculo, así como su composición, que está influenciada por la especie, raza, edad y manejo *ante-mortem* (pH) (Klont *et al.*, 1998; Luciano *et al.*, 2007; Velazco 1998^a y 1998b). Por otro lado Zea (2007a) y colaboradores observaron que la terneza no está influenciada por el sexo y el sistema de alimentación.

- *Especie y raza.* El ganado perteneciente a la especie *Bos indicus* así como sus cruzas presentan mayor dureza en la carne en comparación con los *Bos taurus* (Koochmariaie, 1998)
- *Sexo.* La carne de las hembras es más suave que la de los machos. (Jeleníková *et al.*, 2008)
- *Edad.* A mayor edad mayor estabilidad del tejido conectivo, menor solubilidad del colágeno y mayor resistencia a la masticación (Cole *et al.*, 1975; Migdal *et al.*, 2007)
- *Localización del músculo.* Los músculos que constituyen el cuarto delantero tienen menor suavidad que los músculos del cuarto trasero, debido al acomodo de las fibras musculares en la unión de las extremidades anteriores al tórax (Forrest *et al.*, 1979; Velazco, 1998a)
- *Función del músculo.* Los músculos que se encargan del sostén de la estructura ósea son más suaves que los músculos de locomoción, estos últimos, se caracterizan por tener un alto contenido en tejido conectivo (Forrest *et al.*, 1979; Lawrie, 1998; Velazco, 1998a)

a. Métodos de evaluación

La terneza se determina por métodos sensoriales (subjetivos) o instrumentales (objetivos), la mayoría de los autores se refieren a los primeros, por su falta de correlación entre los resultados de la evaluación sensorial de un panel de degustación y los datos obtenidos por métodos instrumentales. El uso de instrumentos como los texturómetros con dispositivos como el Warner Bratzler, permiten una menor variabilidad entre resultados obtenidos (Chacón, 2004; Harris *et al.*, 1998).

I. Métodos subjetivos

La evaluación sensorial, se caracteriza por el uso de paneles conformados por catadores entrenados y consumidores, ésta metodología se utiliza para la evaluación de carne, mediante diversas escalas, siendo las de mayor utilidad la propuesta por Ruiz y Onega en 1999 (Ruiz, *et al.*, 2003a y 2003b).

II. Métodos objetivos

Las pruebas objetivas para el Análisis de Perfil de Textura reflejan la acción de la boca, lengua, mandíbulas y dientes en el corte, rasgado, cizalla, molido y compresión de alimentos durante la masticación (Szczesniack, 1975; Szczeniack, 2002). En la evaluación de la dureza de la carne se emplean dispositivos como el Warner-Bratzler en texturómetros.

i. Warner-Bratzler

El uso de Warner-Bratzler para la evaluación de la terneza de la carne de bovino fue establecida en 1994, por la *National Beef Tenderness Plan Conference* donde se recomienda seguir los siguientes pasos:

1. Separar de la canal de res recién sacrificada, un bife de 2.5 de espesor, sin hueso y exceso de grasa, del músculo *Longissimus* entre la 5^a y 12^a costilla lumbar.
2. Envasar al vacío y madurar durante 14 días a una temperatura entre 0 y 3°C.
3. Asar los bifes en horno eléctrico a 70 °C, calor seco, hasta que la temperatura interna sea de 70 °C.
4. Al término de la cocción dejar enfriar a temperatura ambiente y colocar el trozo de carne en el refrigerador durante 24 h.
5. Separar de 6 a 8 cilindros de cada bife. La obtención de los cilindros se realiza cortando paralelamente a la orientación de las fibras musculares.

6. Realizar la medición en Warner-Bratzler o en un texturómetro con un dispositivo, manteniendo una velocidad de 20 a 25 cm/min (Teira, 2004).

Utilizando la metodología anterior, Belew y colaboradores (2003) determinaron la fuerza de corte (en kg) de 40 músculos de bovino, utilizando 4 intervalos para definir la terneza, siendo el músculo con mayor terneza el *M. spinalis* y *M. flexor digitorum superficialis* el músculo más duro (En el anexo 1 se clasifican los músculos según su localización en el cuarto delantero y trasero de bovino).

ii. Análisis de perfil de textura

Los parámetros para evaluar la textura de un alimento se agrupan en características mecánicas, geométricas y otras. El Análisis de Perfil de Textura o TPA (por sus siglas en inglés), es una metodología que se basa en la percepción de la textura como la suma de las propiedades mecánicas de un alimento que pueden ser cuantificadas y que se organizan según su aparición en: *iniciales* o *primarias* y *masticatorias* o *secundarias*. Las iniciales son las características percibidas al primer mordisco como son la dureza, viscosidad, adhesividad, cohesividad y elasticidad y las masticatorias son aquellas características percibidas durante la fase de masticación como la gomosidad, masticosidad y fracturabilidad.

El TPA es un método instrumental, que consiste en simular las condiciones del alimento en el proceso de la masticación, al comprimirlo dos veces de forma consecutiva entre dos superficies planas, que genera una curva de fuerza vs. tiempo (Figura 11) de donde se obtiene los valores de las características mecánicas del alimento (Caine *et al.*, 2003; Honikel, 1998; Szczesniack, 2002).

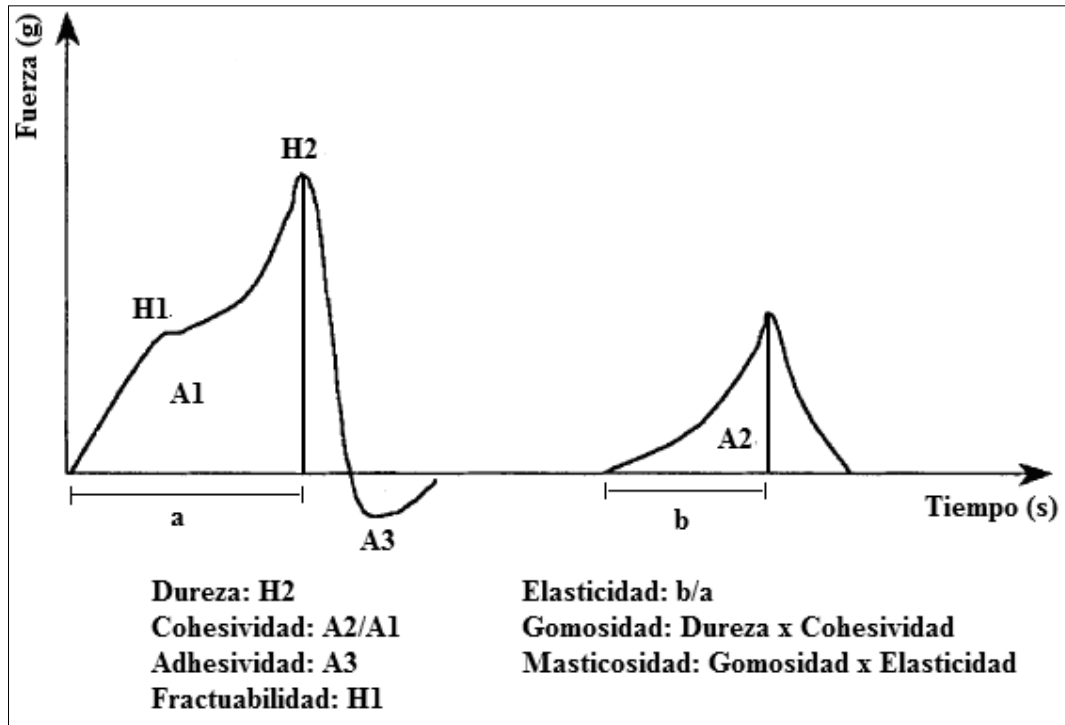


Figura 11. Curva del Análisis de Perfil de Textura

Fuente: Modificado de Caine *et al.*, 2003; Honikel, 1998

b. Alternativas para favorecer la terneza

Las alternativas para favorecer la terneza de la carne son: la estimulación eléctrica, inyección de cloruro de calcio (CaCl_2) y colgado de la canal (*tenderstretching* y *tendercut*) (Tabla 12) (Boleman *et al.*, 1995; Chambers *et al.*, 2001; Teira, 2004; Velazco *et al.*, 1998; Zamorano *et al.*, 1999).

Tabla 12. Alternativas para favorecer la ternera

Alternativa	Descripción
Estimulación eléctrica	La estimulación eléctrica es un método que tiene como finalidad incrementar la suavidad de la carne y consiste en aplicar una descarga eléctrica de bajo o alto voltaje a la canal después del sacrificio (la descarga de bajo voltaje se realiza antes de concluir los 20 minutos <i>post-mortem</i> , después de éste tiempo se denomina descarga de alto voltaje). Este método aumenta la velocidad de descenso de pH, consumiendo el ATP hasta acabar con las reservas de energía que acelera el proceso de <i>rigor mortis</i> .
Inyección de cloruro de calcio	La inyección de cloruro de calcio (CaCl ₂), es utilizado como un método para estimular el sistema enzimático calpaínas-calpastatinas que genera una mayor suavidad. El uso de éste método es aplicable a cualquier músculo y corte de la canal. La concentración que se utiliza de cloruro de calcio no debe generar olores, ni sabores indeseables, ya que la presencia de cloruro puede registrar sabores amargos. Se recomienda, inyectar una solución al 0.3M de CaCl ₂ al 10% (w/v) La carne puede ser inyectada durante los primeros 14 días <i>post-mortem</i> y una vez administrada, debe ser empacada en vacío y madurada de 6 a 10 días. Su utilización en el ganado porcino es una controversia, debido a que proporciona mejores atributos de palatabilidad y beneficia la capacidad de retención de agua del músculo (CRA), aun con la probabilidad de presentarse carne PSE.
El colgado de la canal	Según algunos autores, el colgado convencional de la canal (del talón de Aquiles) durante su estancia en la cámara de refrigeración, favorece principalmente la ternera del músculo <i>Psoas major</i> , además, se han desarrollado alternativas para mejorar la ternera de los músculos del cuarto trasero, como son el <i>tenderstretching</i> y <i>tendercut</i> . En el <i>tenderstretching</i> la canal es colgada de la pelvis, lo que evita el acortamiento de la mayoría de los músculos del cuarto trasero con la excepción del <i>M. Psoas major</i> y <i>M. semimembranoso</i> ; está técnica se caracteriza por disminuir el tiempo de maduración aunque su costo es elevado. El <i>tendercut</i> , consiste en colgar la canal del talón de Aquiles seguido de su división entre la 4 ^a /5 ^a ó 12 ^a /13 ^a vertebras, está alternativa favorece el estiramiento de los músculos antes del <i>rigor mortis</i> que como consecuencia disminuye la formación de los enlaces actomiosina con posibilidades de aumentar hasta en un 34% la ternera de la carne.

Fuente: Boleman *et al.*, 1995; Chacón, 2004; Teira, 2004; Velazco *et al.*, 1998; Zamorano *et al.*, 1999

1.5.2. Color

El color de la carne varía según la concentración de la mioglobina que está influenciada por varios factores.

- *Genéticos.* La especie y la raza tienen influencia sobre la composición de las fibras musculares, las fibras de los cerdos poseen un color más claro que las de los bovinos, y se caracterizan por su baja y alta concentración de mioglobina, respectivamente (Huffman, 1980; Klont *et al.*, 1998)
- *Fisiológicos.* La edad y el sexo son los más importantes. En bovinos, las hembras tienen mayor concentración de mioglobina que los machos y a mayor edad aumentará la intensidad del color por el ascenso de la concentración de mioglobina (Lawrie, 1998; Zea *et al.*, 2007a y 2007b)
- *Tipo de músculo.* Los músculos ejercitados (músculos encargados del movimiento) tienen mayor concentración de mioglobina que los músculos de sostén (Huffman, 1980; Lawrie, 1998)
- *Alimentación.* La carne de animales con forrajes resulta más oscura que la producida con granos (Zea *et al.*, 2007a y 2007b)
- *De manejo.* Las condiciones y prácticas de manejo de los animales alteran su metabolismo lo que afecta la calidad de la carne, por ejemplo, un desangrado incorrecto aumenta la concentración de la hemoglobina en el músculo lo que se refleja en el color de la carne (Kropf, 1995, Lawrie, 1998; Velazco, 1998)

El efecto de estos factores se ve reflejado en la concentración de mioglobina y el valor del pH de la carne. Este último regula el metabolismo de las fibras musculares, controlando el funcionamiento y capacidad de las mitocondrias para competir con la mioglobina por el oxígeno; entre mayor sea este valor, la apariencia de la carne será más oscura (Figura 12) (Fennema, 1993; Girard, 1991; Klont *et al.*, 1998).

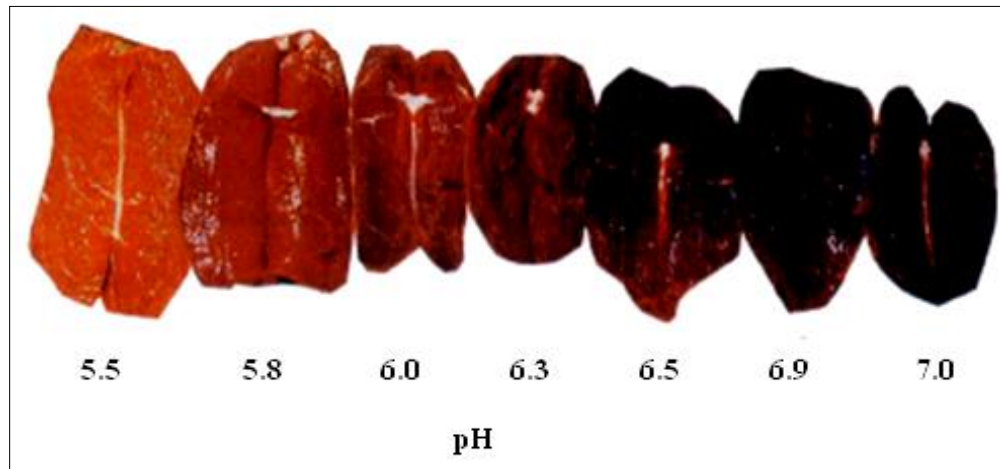


Figura 12. Efecto del pH en el color de la carne de res

Fuente: www.animalrange.montana.edu/courses/meat/meat_color.pdf

Un músculo desangrado correctamente, contiene alrededor del 80 al 90% de mioglobina y el resto es hemoglobina. La diferencia entre estas moléculas, es la dependencia con respecto al pH de la fijación de oxígeno y el tamaño de las proteínas. La hemoglobina está conformada por cuatro moléculas de mioglobin (Cole *et al.*, 1975; Kropf, 1995; Mateo, 2007).

La mioglobina y su interacción con el ambiente permite diferentes estados químicos: deoximioglobina, oximioglobina y metamioglobina, que son los pigmentos responsables del color de la carne fresca (Figura 13):

- *Deoximioglobina* (mioglobina reducida en estado ferroso). Cuando la carne es empacada a vacío, por la ausencia de oxígeno la *mioglobina* se convierte en *deoximioglobina* que es un pigmento de color rojo púrpura
- *Oximioglobina*. Cuando la carne tienen exposición al oxígeno, este interactúa con la *deoximioglobina* formando *oximioglobina*, el cual es de color rojo y rosa brillante en bovinos y porcinos, respectivamente

- *Metamioglobina* (pigmento en estado férrico). Se caracteriza por la presencia de color café o marrón y es el resultado de la oxidación de la *deoximioglobina* u *oximioglobina* (Kropf, 1995; Forrest et al., 1979; Lawrie, 1998;).

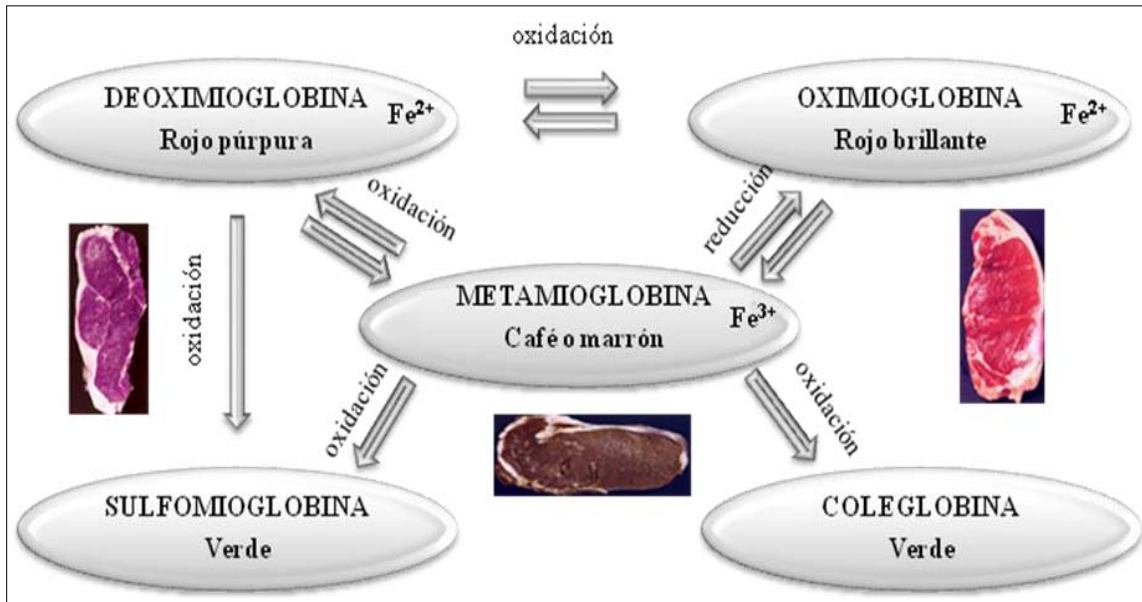


Figura 13. Mecanismo de la formación del color de los pigmentos encontrados en la carne fresca

Fuente: Chambers *et al.*, 2001; Forrest *et al.*, 1979

a. Métodos de evaluación

En la evaluación de color, la obtención de una muestra representativa para su medición, se ha convertido en un problema que resalta la necesidad de contar con procedimientos estandarizados para su evaluación subjetiva y objetiva (AMSA, 1991).

I. Métodos subjetivos

El análisis sensorial del color de la carne se realiza con base en la metodología propuesta por la *American Meat Science Association* (AMSA), la cual incluye desde los

procedimientos para la conformación de un panel y su entrenamiento, hasta las escalas de color para carne fresca y carne cocida.

II. Métodos objetivos

Los instrumentos utilizados en la evaluación del color de la carne se clasifican en *destructivos* (extracción y cuantificación de pigmentos) y *no destructivos* (colorímetro y algunos espectrofotómetros). En la primera clasificación como su nombre lo dice, las muestras utilizadas sufren alteraciones que dificultan su uso en pruebas posteriores, además de esta desventaja existen otros inconvenientes como son la obtención de una muestra representativa y la conversión de mioglobina a sus estados químicos que arrojan resultados erróneos del color de la superficie de la carne, por lo anterior se han desarrollado métodos no destructivos (Alvarado, 2001; AMSA, 1991).

Los métodos no destructivos están diseñados para evaluar el color de las muestras sin alterar su estructura y composición. El *colorímetro* es un instrumento donde la luz reflejada por la muestra iluminada, pasa a través de filtros de color que procesan los valores triestímulo (x , y y z) utilizados para determinar L^* , a^* y b^* (Figura 14). Mientras que el *espectrofotómetro*, mide la cantidad de luz reflejada por la muestra en una serie de intervalos de longitud de onda (λ) con los que se puede conocer los valores de L^* , a^* y b^* (Alvarado, 2001; AMSA, 1991; Honikel, 1998).

Los atributos para evaluar el color son *el matiz*, *el croma (saturación)* y *el valor (claridad)*. El *matiz* o tono es la longitud de la onda de la radiación luminosa o percepción del color. El *croma* describe la intensidad del color, su pureza o saturación y el *valor* es la intensidad luminosa, conocido como claridad o brillo (Figura 14) (Alvarado, 2001, Forrest *et al*, 1979; X-Rite; 2009).

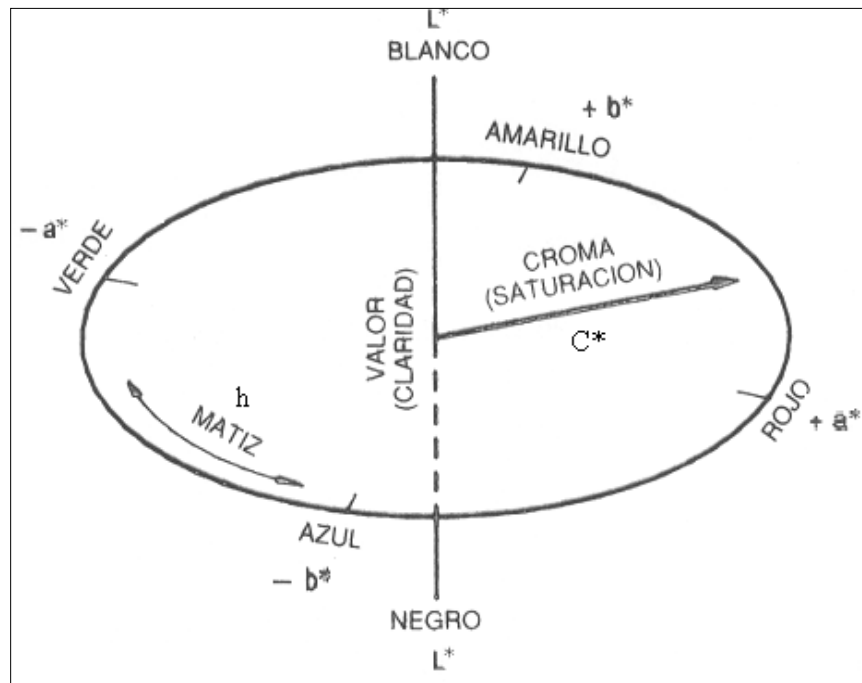


Figura 14. Configuración espacial del sistema CIELAB, donde se observa relación entre los atributos del color y las variables L^* , a^* y b^* .

Fuente: Modificado de X-Rite, 2002

Nota: La claridad es igual al valor de L^* .

El croma es representado por $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$.

El matiz es representado por la $h = \arctan b^*/a^*$.

A través de los años, se han generado diversos sistemas o escalas para la evaluación del color, siendo hoy en día el sistema CIELAB el más utilizado (Figura 14). Este sistema fue publicado en 1976 por la *Comisión Internationale de l'Eclairage* (CIE, Comisión Internacional de Iluminación) que se basa en el sistema Munsell, el cual constituyó la plataforma para la elaboración de las escalas utilizadas en la medición instrumental del color (Alvarado, 2001; X-Rite, 2009).

1.5.3. Análisis químico proximal

La composición química de la carne depende de la especie, raza, sexo, edad, sistema de alimentación y localización anatómica (Lawrie, 1998; Niinivara *et al.*, 1973).

La carne es una fuente de proteínas, minerales (hierro, zinc) y vitaminas del complejo B (Riboflavina, Niacina, Tiamina). La proteína de la carne es clasificada de alta calidad, por la composición de sus aminoácidos (Arenas *et al.*, 2000).

1.5.3.1. Especie y raza

La especie y la raza son factores que implican una diferencia en cuanto al porcentaje de grasa de la carne (Tabla 13) (Niinivara *et al.*, 1973). En el 2003, Barros y colaboradores determinaron la composición química del *M. Longissimus dorsi* de canales provenientes de bovinos *Bos indicus* y su mezcla con *Bos taurus* finalizados en pastoreo. En los resultados de estos investigadores la concentración de grasa tiene una diferencia considerable en comparación con los porcentajes de la humedad, proteínas y minerales.

Tabla 13. Comparación de la composición química de los músculos *L. dorsi* y *Psoas major* en la carne proveniente del ganado bovino y porcino (g/100g de muestra)

Músculo	Humedad	Grasa intramuscular	Proteínas
Carne de bovino			
<i>L. dorsi</i>	76.51	0.56	22.13
<i>Psoas major</i>	77.34	1.46	20.65
Carne de porcino			
<i>L. dorsi</i>	76.33	3.36	23.56
<i>Psoas major</i>	77.98	1.66	22.38

Fuente: Modificado de Lawrie, 1998

1.5.3.2. Edad y el sexo

El ganado bovino menor a dos años, tiene un alto contenido de agua y menor porcentaje de grasas, proteínas y minerales que el ganado adulto. En cuanto a la tendencia de la composición química del ganado porcino, se tiene que los cerdos adultos cuentan con menor contenido de agua y una alta concentración de proteínas en comparación con los cerdos jóvenes (Lawrie, 1998; Niinivara *et al.*, 1973). Migdal y colaboradores (2007), utilizaron el músculo *Longissimus dorsi* de cerdos de la raza *Landrace* con edades de 4 a 7 meses para determinar el efecto de ésta en la composición química, los resultados obtenidos por este grupo de investigadores demuestran que sigue la tendencia que se describe en la literatura (Tabla 14).

Tabla 14. Comparación de la composición química del músculo *Longissimus dorsi* proveniente de de cerdos de la raza *Landrace* de 4, 5, 6 y 7 meses de edad (g/100 g de muestra)

Edad (meses)	4 meses	5 meses	6 meses	7 meses
Humedad	74.12	73.64	72.55	71.98
Proteínas	22.71	23.36	24.39	24.88
Grasa	1.43	1.4	1.52	1.47
Minerales	1.17	1.11	1.05	1.16

Fuente: Migdal *et al.*, 2007

En cuanto al sexo, en el ganado bovino, las hembras y machos a la misma edad de sacrificio, presentan diferencias notables; las hembras tienden mayor intensidad del color y conformación del tejido adiposo (engrasamiento) que los machos y éstos a su vez, tienen mayor masa muscular (Niinivara *et al.*, 1973). Zea y colaboradores (2007a), realizaron una investigación para determinar el efecto de la raza, sexo y alimentación en la carne de vacuno de las razas *Holstein*, *Rubia Gallega* y su cruce (*Bos taurus*), en machos y hembras, utilizando tres sistemas de alimentación: piensos, maíz y pastura. En cuanto a la composición química de la carne, en la Tabla 15 se muestra el porcentaje de los componentes del músculo *Longissimus thoracis* de la raza *Holstein* alimentado con pastura

y con maíz, donde se observa que las hembras tienen un menor contenido de humedad y mayor concentración de lípidos que los machos.

Tabla 15. Comparación de la composición química del músculo *Longissimus thoracis* de carne procedente de la raza Holstein, de ambos sexos y en dos sistemas de alimentación (g/100 g de muestra)

Sexo	Sistemas de alimentación	Humedad	Proteínas	Grasa	Minerales
Macho	Pastura	76.17	21.63	0.93	1.19
	Maíz	76.29	21.59	0.96	1.19
Hembra	Pastura	75.29	21.55	1.97	1.18
	Maíz	74.88	21.43	2.54	1.17

Fuente: Zea *et al.*, 2007a

Tabla 16. Comparación de la composición química del músculo *Longissimus thoracis* de la especie *Bos taurus* de animales enteros y castrados (g/100 g de muestra)

Componente	Enteros	Castrados	
		Por inmunización	Quirúrgicamente
Humedad	76.2	75.7	74.7
Proteína	19.9	21.1	20.9
Grasa	1.23	1.61	2.17
Minerales	0.97	0.94	0.93

Fuente: Ruiz *et al.*, 2005

Sin embargo, existen diversos trabajos donde se argumenta que los machos castrados en comparación con los enteros tienen mayor contenido de grasa (mejores propiedades organolépticas). Ruiz y colaboradores (2005), realizaron un experimento en el músculo *Longissimus thoracis* de bovinos *Bos indicus* enteros y castrados (por inmunización y quirúrgicamente) para determinar la influencia de los métodos de castración en la composición química. Los resultados obtenidos por éste grupo de investigadores demuestran que la diferencia de los porcentajes de humedad, proteínas y minerales del músculo es mínima en comparación con los machos castrados que tienen mayor porcentaje de lípidos

que los enteros, mientras que los machos castrados quirúrgicamente tienen una mayor concentración que los castrados por inmunización (Tabla 16).

1.5.3.3. Sistemas de alimentación

El sistema de alimentación en el caso del ganado bovino tiene una influencia debido a la cantidad de nutrientes consumidos por los animales, los cuales difieren según cada uno (Gil *et al.*, 2003; Keane *et al.*, 1998; Niinivara *et al.*, 1973). En la Tabla 15, se observa que los animales alimentados con maíz tienen mayor contenido de lípidos que los alimentados con pastura.

1.5.3.4. Localización anatómica

La composición química de los músculos depende de la función que desempeña, los músculos locomotores contienen porcentajes menores de agua que los músculos de sostén (Tabla 17) (Lawrie, 1998; Niinivara *et al.*, 1973).

Tabla 17. Composición química de algunas regiones anatómicas de un buey semigraso (g/100 g de muestra)

Región anatómica	Humedad	Grasa	Proteínas
Espaldilla	69.5	9.3	20.8
Costillar	58.7	20.3	19.2
Pierna	71.2	7.2	22.2
Pecho	59.6	22.1	17.9

Fuente: Niinivara *et al.*, 1973

Nota: En el anexo 2 se localiza un diagrama con los cortes convencionales de las regiones anatómicas ⁸⁶.

1.5.4. Métodos de evaluación

En la literatura existen diversos métodos para el análisis químico proximal de los diferentes grupos de alimentos (AOAC, 2000; INNSZ, 1996; Pearson, 1998; Sawyer *et al.*, 1991).

A nivel internacional, existen dos organizaciones *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC) y la *International Organization for Standardization* (ISO) que emiten sus recomendaciones en cuanto al método a utilizar en la determinación del análisis químico proximal (AQP) de cada grupo de alimentos.

1.5.4.1. pH y acidez

En el músculo ocurren diversos cambios metabólicos, que están influenciados por el manejo *ante-mortem* de los animales y que se reflejan en la velocidad e intensidad del descenso del pH a los 45 minutos después del sacrificio y al final del desangrado. Este valor está regulado por la formación y acumulación de ácido láctico que depende de la concentración de glucógeno en el músculo *post-mortem*.

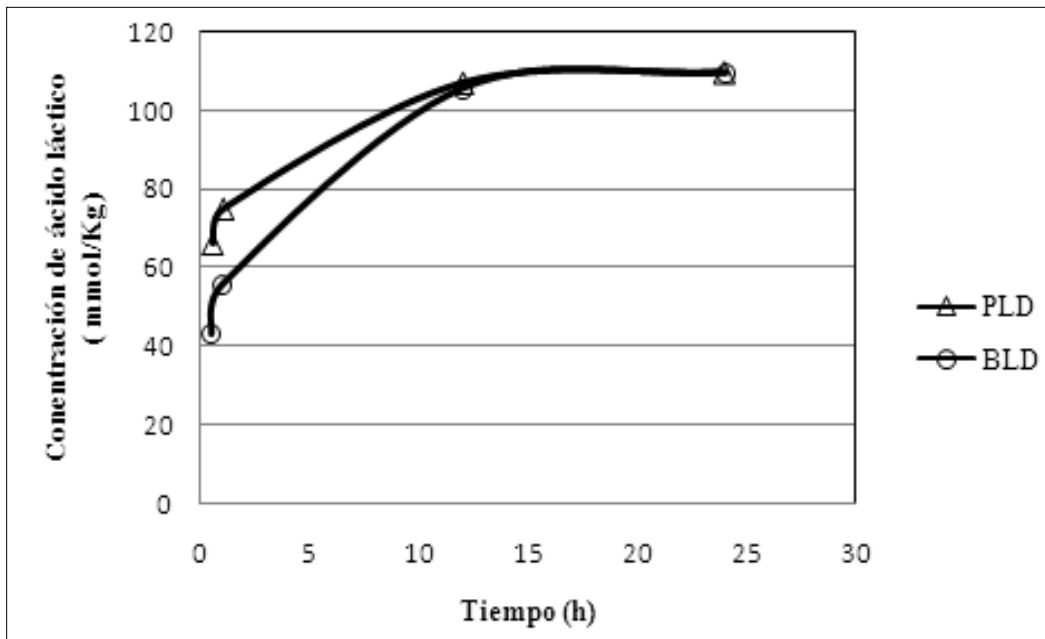


Figura 15. Gráfico de la concentración de ácido láctico con respecto al tiempo del músculo *Longissimus lumborum* de la media canal derecha de porcinos y bovinos. PLD: Porcino lado derecho y BLD: Bovino lado derecho)

Fuente: Simek *et al.*, 2003

Un mal manejo *ante-mortem* altera la concentración del glucógeno, produciendo defectos en la calidad de la carne (Belitz *et al.*, 2004; Castrillón *et al.*, 2007; Forrest *et al.*, 1979; Grandin, 1997; Hargreaves *et al.*, 2004). Simek y colaboradores (2003), determinaron el pH (Sentron Argus pH meter) y la concentración de ácido láctico (espectrofotómetro a 340 nm), del músculo *Longissimus lumborum* proveniente de medias canales de porcinos y bovinos; sus resultados obtenidos demuestran que conforme aumenta la concentración de ácido láctico en el músculo (Figura 15) disminuye el pH (Figura 16).

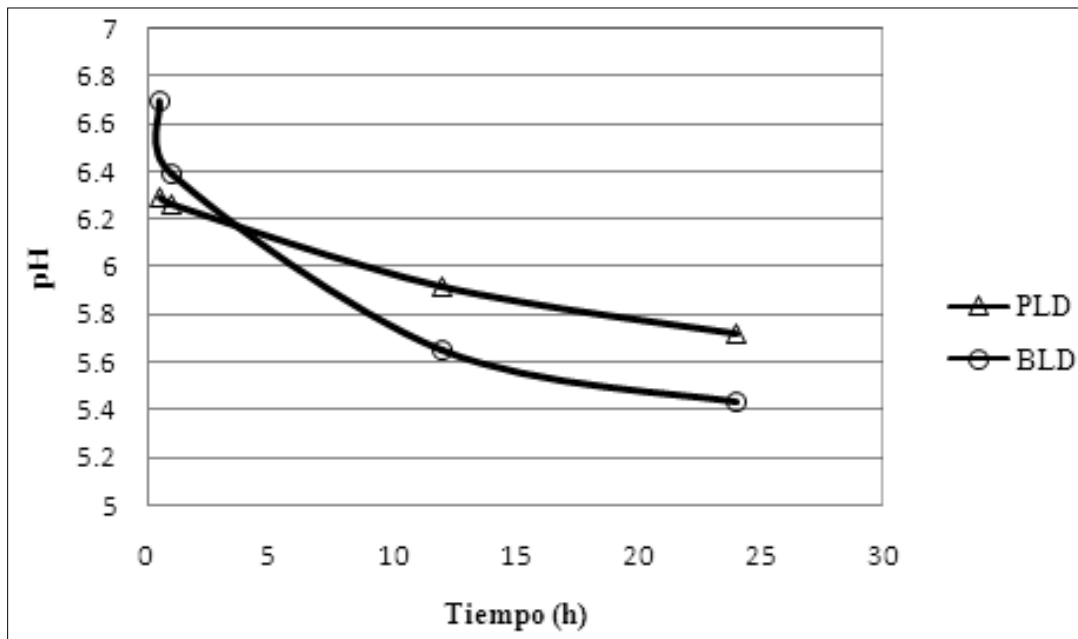


Figura 16. Gráfico del pH con respecto al tiempo del músculo *Longissimus lumborum* de la media canal derecha de porcinos y bovinos (PLD: Porcino lado derecho y BLD: Bovinos lado derecho)

Fuente: Simek *et al.*, 2003

Los defectos en la calidad de la carne, en términos de sus características físicas y funcionales, se identifican como Pálida Suave y Exudativa y Dura Firme y Seca (PSE y DFD por sus siglas en inglés) (Figura 17) (Alarcón *et al.*, 2005; Belitz *et al.*, 2004; Chambers *et al.*, 2001; Llorente, 1997).

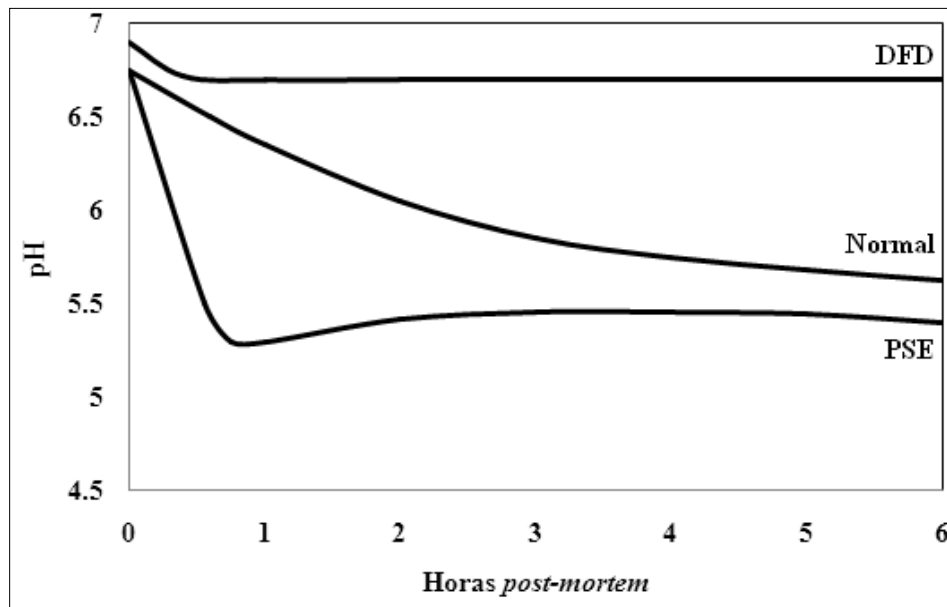


Figura 17. Curvas de descenso de pH durante las primeras 6 h *post-mortem*

Modificado de Forrest *et al.*, 1979

a. PSE

La carne PSE es un fenómeno peculiar de especies con el gen halotano, como el cerdo; esta condición se caracteriza por periodos cortos de estrés que aceleran la glucólisis anaeróbica en los primeros minutos después del sacrificio dando como resultado la acumulación de ácido láctico y valores de pH inferiores a 6 en los 45 minutos *post-mortem*. En este periodo la temperatura de la canal es superior a los 34 °C, se inicia la ruptura de las membranas celulares y la desnaturalización proteica, lo que genera la liberación de agua de la carne y la disminución de la capacidad de retención de agua, con una apariencia pálida, suave y exudativa (Alarcón *et al.*, 2005; Alarcón *et al.*, 2006; Chambers *et al.*, 2001; Chapinal *et al.*, 2005; Forrest *et al.*, 1979).

b. DFD

La condición DFD se presenta principalmente en carne proveniente del ganado bovino, ovino y ocasionalmente en cerdos. Se caracteriza por un estrés prolongado que genera un

desajuste en el metabolismo que acelera el proceso de glucólisis antes del sacrificio, lo que disminuye la concentración de glucógeno e induce a una pobre acumulación y formación de ácido láctico en el músculo *post-mortem* y en consecuencia valores elevados de pH que oscila entre 6.4 y 6.9, con un aspecto oscuro, seco y firme. La carne se torna oscura por la actividad mitocondrial de la célula, la cual genera una competencia entre la mitocondria y la mioglobina por el oxígeno, reduciendo la cantidad de oximioglobina formada. La incidencia de carne DFD se caracteriza por la susceptibilidad a la alteración microbiana (Alarcón *et al.*, 2005; Alarcón *et al.*, 2006; Chambers *et al.*, 2001; Chapinal *et al.*, 2005; Forrest *et al.*, 1979; Hargreaves *et al.*, 2004).

A nivel nacional no existen reportes sobre la incidencia PSE y DFD, sin embargo, la falta de estas cifras, no significa que la producción de la carne cumpla con los requerimientos y recomendaciones, sino que, estos defectos se clasifican como carne de mala apariencia, lo que refleja la falta de reglamentos y lineamientos en la manipulación de los animales y producción de carne (Alarcón *et al.*, 2005).

1.5.4.2. Actividad de agua (Aw)

La actividad de agua (Aw), se define como la relación entre la presión de vapor en equilibrio del alimento y la presión de vapor en equilibrio del agua pura a la misma temperatura (Badui *et al.*, 1993; Sawyer *et al.*, 1991).

$$Aw = \frac{P}{P_0} \dots \dots \dots \text{Ec. 1}$$

Es una propiedad intrínseca que predice la estabilidad y vida de anaquel de un alimento con valores que van de 1.0 a 0 (Tabla 18). Los valores de actividad de agua cercanos a 1.0 son más inestables debido al desarrollo de reacciones químicas y enzimáticas y al crecimiento de microorganismos (Badui *et al.*, 1993; Gómez, 1992).

Tabla 18. Actividad de agua de algunos alimentos

Alimento	Aw
Fruta fresca	0.97
Huevo	0.97
Carne	0.97
Fruta seca	0.73
Galleta	0.35
Azúcar	0.1

Fuente: Badui *et al.*, 1993

La carne puede contener un alto contenido de bacterias patógenas (Alarcón *et al.*, 2007; Meat Technology Update, 2006), como resultado de malas prácticas durante su manejo, las cuales se desarrollan a Aw de 0.9, por ello durante su producción se deben de seguir los lineamientos y reglamentos para disminuir los focos de contaminación.

A mediados del siglo pasado diversos autores desarrollaron métodos y técnicas para la medida de la actividad de agua en un alimento, sin embargo, hoy en día se utilizan los higrómetros y psicrómetros por la rapidez de las lecturas (Gómez, 1992).

Justificación

La falta de normatividad con la que se regulen las características de la carne fresca y sus métodos de prueba resalta la necesidad de establecer valores con los cuales se pueda tomar como referencia en la adquisición de la materia prima en la industria cárnica, más aún, ahora que en los últimos años en nuestro país la mayoría del ganado bovino para carne es alimentado en pastoreo, por lo que el objetivo de este trabajo es caracterizar la carne proveniente del cuarto delantero de este ganado, el cual por su color y dureza, es un corte que se clasifica de segunda calidad, disminuyendo la aceptación de los consumidores y su uso en la industria de los alimentos, por lo que se propone una alternativa en el proceso de elaboración de embutidos madurados, los cuales son elaborados en su mayoría de carne procedente del cuarto trasero del ganado porcino.

Objetivos

General

Evaluar la materia prima cárnica (proveniente de los cuartos delanteros y cuartos traseros de res y cerdo respectivamente y lardo de cerdo) en términos de sus características físicas, químicas y fisicoquímicas, para establecer su calidad como base de las formulaciones en la elaboración de embutidos madurados.

Particular 1

Evaluar las características físicas (análisis de perfil de textura y color) de carne proveniente de cuartos delanteros y cuartos traseros de res y cerdo respectivamente y lardo de cerdo para establecer las características de calidad de la materia prima cárnica a utilizar para la elaboración de embutidos madurados.

Particular 2

Realizar el análisis químico proximal (humedad, proteínas, grasas y cenizas) de carne proveniente de los cuartos delanteros y cuartos traseros de res y cerdo respectivamente y lardo de cerdo, como base del diseño de las formulaciones a emplear en la elaboración de embutidos cárnicos madurados.

Particular 3

Evaluar las características fisicoquímicas (pH, acidez y actividad de agua) de carne proveniente de cuartos delanteros y cuartos traseros de res y cerdo respectivamente y lardo de cerdo para establecer las características de calidad de la materia prima cárnica a utilizar para la elaboración de embutidos madurados.

Capítulo 2.

Materiales y métodos

2. Materiales y métodos

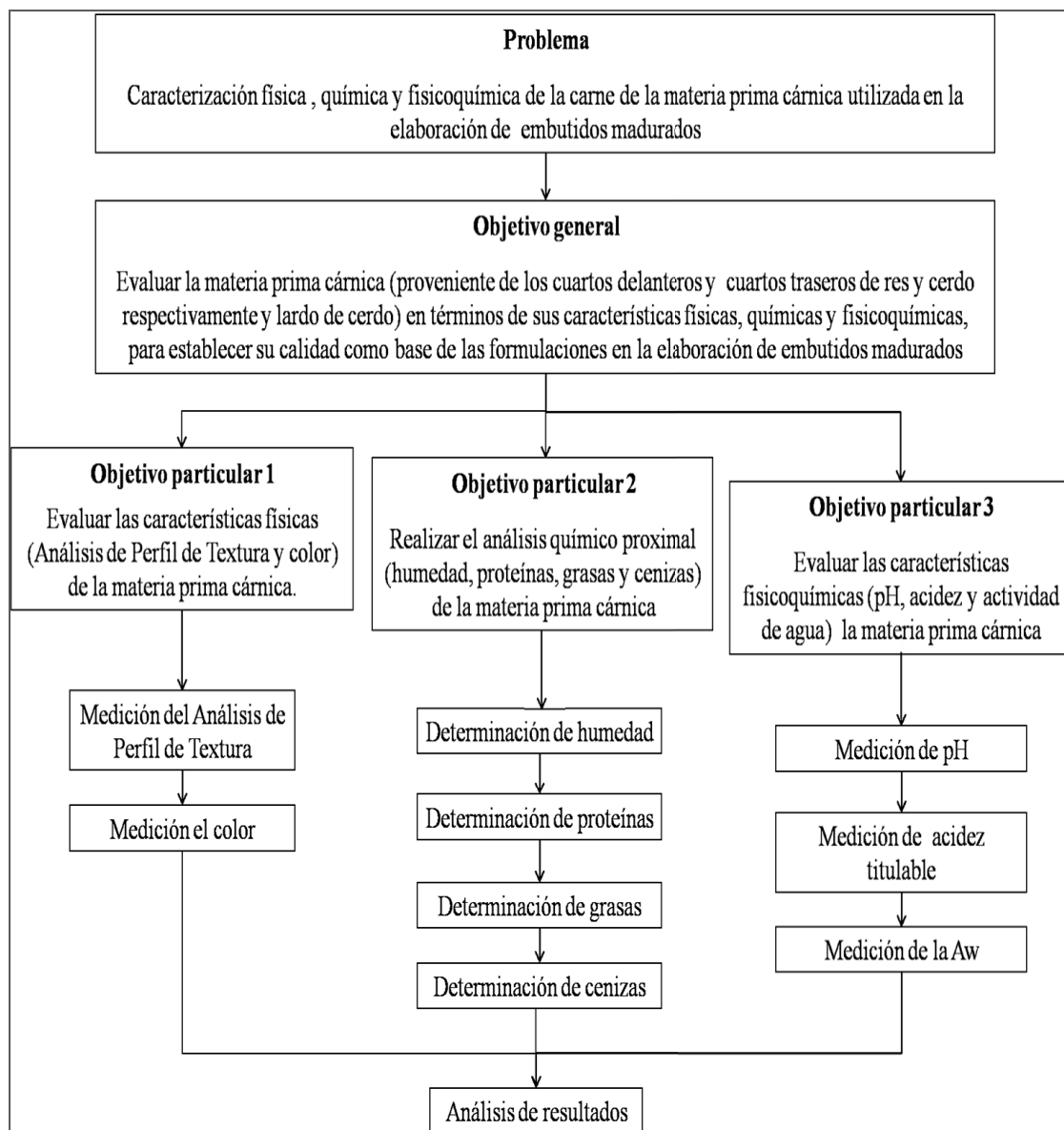


Figura 18. Cuadro metodológico

En la caracterización de la materia prima cárnica se plantearon tres objetivos particulares (Figura 18), con los cuales se realizó el diseño experimental que se describe a continuación.

2.1. Obtención de la muestra

2.1.1. Carne de res

2.1.1.1. Carne proveniente del cuarto delantero de bovinos (FMVZ)

La presente investigación forma parte del Macroproyecto No. 7 de la UNAM “Productividad sostenible de hatos de cría en pastoreo”. Con objeto de que las actividades de los investigadores de las diferentes líneas del Macroproyecto tuviesen un enfoque multi, inter y transdisciplinario, bovinos de cruza europeas (*Bos taurus*), alimentados bajo condiciones controladas en los sistemas intensivo (pastoreo) y extensivo (granos), en el Rancho Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) ubicado en Martínez de la Torre, Veracruz. En su Línea 5 “Calidad, inocuidad y desarrollo de nuevos productos” se contemplan 4 proyectos, en los cuales se encuentran trabajando investigadores de la FMVZ, la Facultad de Química (FQ) y la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), que en el programa de actividades contempla en primera instancia, que los animales serían sacrificados bajo condiciones controladas en un rastro TIF bajo la supervisión de la Dra. Ma. Salud Rubio (FMVZ) responsable del proyecto 7.5.2. De la carne obtenida de este modo se abastecería a la M. en C. Ma. De los Ángeles Valdivia de la FQ, responsable del proyecto 7.5.3. “Aplicación de altas presiones hidrostáticas” y a la Dra. Adriana Llorente responsable del proyecto 7.5.4. “Desarrollo de alimentos a través de procesos microbianos: Bioconservación de productos cárnicos” de la FESC. Dentro de los objetivos de la línea 5 se encuentra el uso de cortes no convencionales, además de utilizar los cuartos delanteros (de menor valor comercial), de bovinos engordados bajo diferentes esquemas de alimentación y de este modo contrastar su efecto en las características físicas, químicas y fisicoquímicas de la carne y los productos elaborados a partir de ésta. Las características del ganado y el manejo que recibieron se localizan en la Tabla 19.

Tabla 19. Descripción de las características de la carne de los cuartos delanteros alimentados en el Rancho Experimental

Parámetro	CRGC	CRPC
Especie	<i>Bos taurus</i>	<i>Bos taurus</i>
Raza	Fenotipo Hereford, Charolais y cruzas de razas europeas	Fenotipo Hereford, Charolais y cruzas de razas europeas
Sexo	Macho	Hembra
Edad	18 a 25 meses	24 meses
Alimentación	Maíz	Forrajes
Tiempo de descanso	18 h	18 h
Fecha del sacrificio	2 de junio del 2008	6 de febrero del 2009
Características del almacenamiento	Envasada al vacío y almacenada a -18 °C	Envasada al vacío y almacenada a -18 °C

Nota:

- El *novillo* es un bovino macho castrado en los primeros meses de vida, antes de alcanzar la madurez sexual y cuya edad puede variar entre 12 y 24 meses.
- La *novilla* o vaquilla es una hembra bovina que no ha sido preñada, o bien que no ha parido, cuya edad varía entre 12 y 32 meses (Aja, 2006, NMX-FF-078-SCFI-2002).

Por cada tipo de alimentación se recibió un lote de 20 kg, de carne de cuartos delanteros de bovinos *Bos Taurus*. Cada lote se almacenó a -20°C y posteriormente se acondicionó (se retiró tejido adiposo y conectivo) en el Taller de Carnes de la FESC y refrigeró para su caracterización (Figura 19a). Durante su caracterización se tomaron tres muestras de cada lote.

2.1.2. Carne de res del cuarto delantero de bovinos (Aguascalientes)

La carne de res proviene de Aguascalientes de bovinos Brangus (*Bos indicus* x *Bos taurus*) alimentados a base granos. La carne (espaldilla) se adquirió en la Carnicería “El Becerro de Oro” localizada en el municipio de Cuautitlán Izcalli; se recibió y acondicionó (se retiró el hueso y tejido conectivo) en el Taller de Carnes de la FESC y se refrigeró para su caracterización (Figura 19b).

2.1.3. Carne de cerdo

La carne de cerdo se obtuvo de cuartos traseros de cerdo (Figura 19c) sacrificados en el Rastro San Lorenzo, Cuautitlán Izcalli (TIF 194). Las piernas se recibieron y se acondicionaron (se retiró el hueso y tejido conectivo) en el Taller de Carnes de la FESC y se refrigeraron para su caracterización.



Figura 19. Materias primas cárnicas utilizada para su caracterización física, química y fisicoquímica

2.1.4. Lardo de cerdo

Las piezas de lardo de cerdo (Figura 19d) se recibieron y trocearon y se refrigeraron para proceder con su caracterización. Esta materia prima cárnica fue proporcionada por la Empacadora (TIF) Peñaranda.

2.2. Análisis de perfil de textura

El análisis de perfil de textura se realizó en el Laboratorio de Polímeros de la Universidad Iberoamericana (UIA) con un equipo TA.XT Plus (Mod. Texture Analyzer).

La materia prima cárnica después de su acondicionamiento en el Taller de Carnes de la FESC fue congelada en bolsas de vacío a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y para su utilización se descongeló y transportó a temperatura de refrigeración. Al momento de las determinaciones se cortó en forma de cubos de una pulgada (1 in= 2.54cm). Se colocó cada muestra en el equipo para su medición con las condiciones de ensayo:

Celda de carga: 5 kg

Velocidad pre-test: 2 mm/s

Velocidad test: 2 mm/s

Velocidad post-test: 2 mm/s

Tensión: 75%

Distancia: 6 mm

Dispositivo: Aguja cilíndrica de acero inoxidable de 35 mm (P/35)

Los resultados obtenidos en las determinaciones se utilizaron para calcular la dureza, cohesividad, elasticidad y masticosidad de acuerdo con la figura 11.

2.3. Color

En el laboratorio de Polímeros de la UIA se determinó color por triplicado con el equipo AccuProbe HH06 color meter.

La carne se descongeló y transportó a temperaturas de refrigeración, después se cortó en forma de cuadrados de 0.5cm de espesor y 6cm de lado. Se envolvió cada muestra con playo y se ubicó bajo el lector del equipo para la medición del color con un iluminante D₆₀. Posteriormente, se anotó la lectura de los valores de L*, a* y b* y también x, y, z.

2.4. Análisis químico proximal

La determinación del porcentaje de humedad, proteínas, grasas y cenizas se realizó por duplicado en el Laboratorio de Bromatología (MVZ-FESC) de acuerdo a las metodologías establecidas en el AOAC.

La materia prima cárnica después de ser acondicionada en el Taller de Carnes de la FESC se congeló en bolsas de vacío -18 °C; para la determinación del AQP, fue descongelada y transportada a temperaturas de refrigeración.

2.4.1. Determinación de humedad

La determinación de humedad se realizó con la técnica de estufa a vacío (950.46 AOAC) la cual tiene como fundamento la diferencia de peso de la muestra que fue calculada con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_1 - (m_2 - m_3)}{m_1} \times 100 \dots \text{Ec. 2}$$

2.4.2. Determinación de proteína

En la determinación de proteína se utilizó el método de Kjeldahl, (928.08 AOAC) el cual ha tenido diversas modificaciones, sin embargo, su fundamento sigue siendo la combustión húmeda de la muestra (calentamiento con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores metálicos) que tienen como objetivo la reducción de nitrógeno orgánico de la muestra a amoníaco, el cual se obtiene como sulfato de amonio.

En la determinación de la proteína de la materia prima cárnica se pesaron de (2 a 2.2 g) de muestra en un matraz Kjeldahl de 800 mL y se adicionaron la muestra catalizadora y el ácido sulfúrico concentrado. El matraz se colocó en el digestor del aparato hasta adquirir una coloración verde transparente, dejando enfriar el matraz para realizar la destilación.

Para la destilación, a cada matraz se le adicionó agua destilada para disolver los cristales formados y paralelamente en un matraz Erlenmeyer se agregaron ácido bórico y solución indicadora. El matraz Erlenmeyer se colocó bajo el refrigerante del destilador con el tubo colector ligeramente sumergido en la solución de ácido bórico.

Al matraz Kjeldahl con la muestra digerida se le adicionó hidróxido de sodio y granallas de zinc y se conectó al destilador para iniciar el calentamiento. Cuando se destilaron dos terceras partes del contenido del matraz Kjeldahl se apagó el destilador. Se tituló el destilado con ácido clorhídrico estándar. En el cálculo de la proteína se utilizaron dos ecuaciones, la primera de estas para determinar el nitrógeno total de la muestra y la segunda para calcular el porcentaje de proteína.

$$\% N_{total} = \frac{m_{HCl} \text{ gastados} \times N_{del HCl} \times meqN}{m_1} \times 100 \dots \text{Ec. 3}$$

$$\% \text{ Proteína} = \% N_{total} \times \text{factor} \dots \text{Ec. 4}$$

2.4.3. Determinación de extracto etéreo

El contenido de grasa de un alimento es conocido como grasa cruda o extracto etéreo (960.39 AOAC). La determinación de extracto etéreo de la materia prima cárnica se realizó utilizando el método Soxhlet. Los cartuchos y matraces del aparato se secaron en una estufa a 100 °C hasta peso constante. Una vez registrado el peso de cada cartucho, se agregaron de 3 a 4 g de muestra seca y algodón desgrasado con éter. Se colocó el cartucho dentro del extractor del aparato y se añadió éter de petróleo, se montó el aparato y se inició el calentamiento hasta que la extracción de grasa se completó (de 4 a 8 h). Finalizada la extracción, se desmontó el aparato y se retiró el cartucho con unas pinzas de crisol. El cartucho se colocó en una estufa a 100 °C hasta alcanzar peso constante. Se determinó el porcentaje de extracto etéreo utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \frac{m_2 - m_3}{m_1} \times 100 \dots \text{Ec. 5}$$

2.4.4. Determinación de cenizas

El método utilizado para la determinación de cenizas de una muestra alimenticia se basa en la eliminación de la materia orgánica por incineración (920.153 AOAC). Se pesaron 5 g de muestra en un crisol de porcelana a peso constante y se colocaron en la mufla a 550 °C hasta la incineración completa (color grisáceo). Al término, se enfriaron los crisoles en el desecador hasta peso constante. Para calcular el porcentaje de cenizas se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{m_2 - m_3}{m_1} \times 100 \dots \text{Ec. 6}$$

2.5. pH

La medición del pH de la materia prima cárnica se realizó utilizando un potenciómetro Orión Mod. KNIpHE electrode, que es un electrodo de penetración y cuenta con una cuchilla de acero inoxidable que protege al bulbo del electrodo, permite que al penetrar la carne, el bulbo entre en contacto con la muestra. Fue calibrado con soluciones amortiguadores y las lecturas de los valores de pH se tomaron por triplicado de las diferentes muestras de materia prima.

2.6. Acidez

La acidez de la materia prima cárnica se determinó por titulación con hidróxido de sodio (Na OH) 0.1 N para lo cual se pesaron 10 g de muestra en una balanza analítica y se homogenizaron con 100 mL de agua destilada y se filtraron (del filtrado se toman 75 mL que se repartieron en 3 matraces Erlenmeyer para su titulación). En un matraz Erlenmeyer de 250 mL se agregaron 25 mL del filtrado y 3 gotas del indicador fenolftaleína. Paralelamente, se montó una bureta de 25 mL con hidróxido de sodio en un soporte universal y en la parte inferior una parrilla con agitación. Se colocó el matraz Erlenmeyer encima de la parrilla, se prendió la agitación y se inició la titulación hasta alcanzar el vire (un tono ligeramente rosa). Se registraron los valores del volumen de hidróxido de sodio consumido, para posteriormente realizar el cálculo de la acidez, expresando el resultado como porcentaje de ácido láctico.

$$\% \text{ ácidoláctico} = \frac{VxNxmeq}{m_1} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ec. 7}$$

2.7. Actividad de agua

La medición de A_w se realizó en el Laboratorio de Polímeros de la UIA con el Higrómetro Aqua LAB (modelo de mesa) (recién calibrado). Se colocó la muestra en las cajas de

plástico y se introdujo al equipo para su medición., se registraron los valores de Aw y temperatura.

2.8. Análisis estadístico

Los datos experimentales se recopilaron en una hoja de Excel del Office 2007 con el objeto de facilitar la construcción de las gráficas, para después utilizarlo como base para el análisis estadístico ANOVA de dos factores para los parámetros del Análisis de Perfil de Textura y color y de un factor para las variables de pH, acidez y Aw en el programa de MINITAB versión 13.1 mientras que para los valores del Análisis Químico Proximal se calculó el promedio y la desviación estándar.

Capítulo 3.

Resultados y

Análisis de resultados

3. Resultados y análisis de resultados

3.1. Análisis de perfil de textura

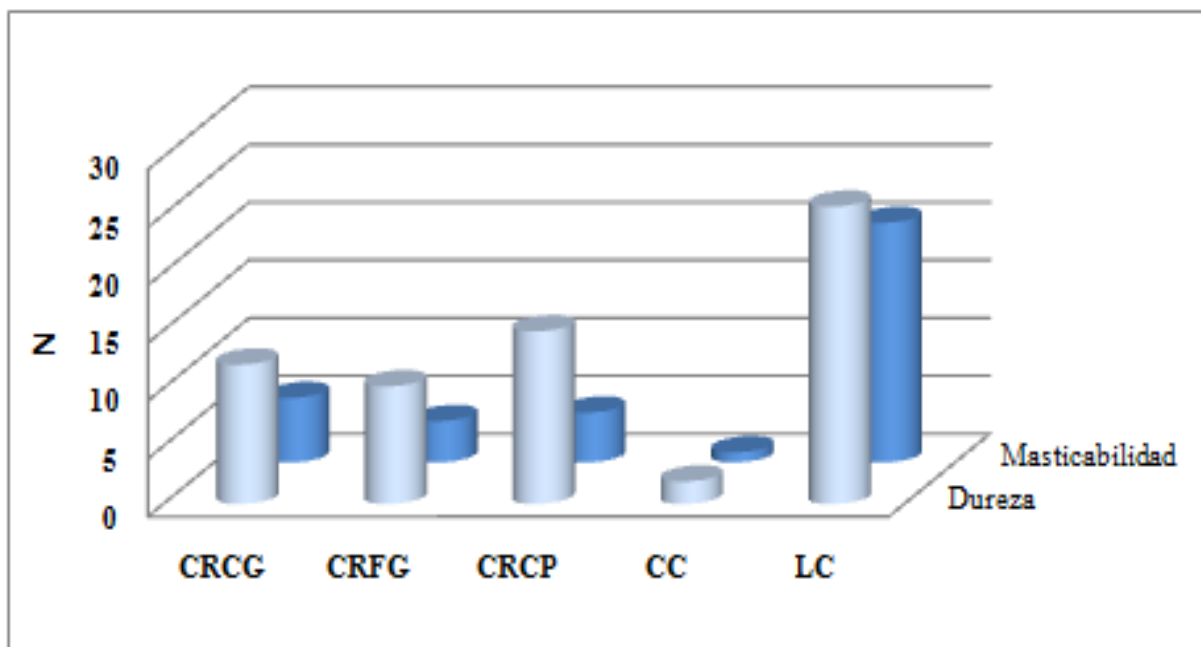


Figura 20. Gráfico de los valores de masticabilidad y dureza del Análisis de Perfil de Textura (TPA) de la materia prima cárnica

El Análisis de Perfil de Textura es una prueba con la cual se puede cuantificar la dureza (terneza), cohesividad, elasticidad y masticabilidad de la materia prima cárnica.

En cuanto a la dureza, se sabe que: a) los músculos encargados del movimiento son más duros que los de sostén (Belew *et al.*, 2003; Klont *et al.*, 1998) b) los músculos del cuarto trasero tienen mayor terneza que los del cuarto delantero el cual se caracteriza de acuerdo con Velazco (1998a) por la unión entre las extremidades anteriores con el tórax por medio de músculos y tendones lo que causa una orientación no paralela de las fibras musculares al eje longitudinal de la canal y c) que los músculos ejercitados tienen mayor dureza debida a la concentración de tejido conectivo, así como, la orientación y el aumento de las fibras

Capítulo 3. Resultados y análisis de resultados

musculares. Además cabe destacar que entre la especie y edad existen diferencias mínimas en los valores de la dureza; mientras en bovinos, la carne de hembras es más tierna y jugosa que la de los machos debido a la concentración de grasa intramuscular, deposición que disminuye cuando el ganado es alimentado en pastoreo (Jelenikova, *et al.*, 2008; Barros *et al.* 2003 y Gil *et al.* 2003); lo que argumenta los resultados obtenidos en la experimentación ($P < 0.05$) (Tabla 20) (Figura 20), debido a que la carne de res proveniente de animales alimentados con granos es más tierna que la carne de alimentados en pastoreo, por lo que no coincide con lo reportado por Zea *et al.* (2007a), quien indica que la dureza es independiente del tipo de alimentación.

Resultados revelan que la carne proveniente de res con la carne y lardo de cerdo se observa que la carne de cerdo es más suave que la carne de res y que el lardo de cerdo es la materia prima cárnica más dura.

Tabla 20. Análisis ANOVA de dos factores de los valores de dureza, cohesividad, elasticidad y masticosidad de las materias primas cárnicas utilizadas en la elaboración de embutidos madurados

<i>S</i>	<i>DF</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
Carne	3	521.43	173.81	7.54
Parámetros	4	266.35	66.59	2.89
Error	12	276.71	23.06	
Total	19	1064.49		

La cohesividad mide la distancia con la que un alimento es deformado ante de su ruptura (Szczeniack, 2002), propiedad mecánica que tiene el valor más elevado en el lardo de cerdo, donde el menos cohesivo es la carne proveniente de hembras alimentadas en pastoreo, mientras que la carne de res fresca proveniente de animales alimentados con granos tienen valores semejantes (0.58) en comparación con la carne de cerdo ($P < 0.05$) (Figura 21).

En cuanto a la elasticidad, el lardo de cerdo es la materia prima cárnica con mayor elasticidad, lo que se debe a las proteínas que constituyen la piel. La carne de res

Capítulo 3. Resultados y análisis de resultados

proveniente de animales alimentados con granos es más elástica que la carne de res de alimentados en pastoreo; la cual da menor elasticidad ($P < 0.05$). Sin embargo la carne de cerdo tiene mayor elasticidad que las muestra de carne de res (Figura 21).

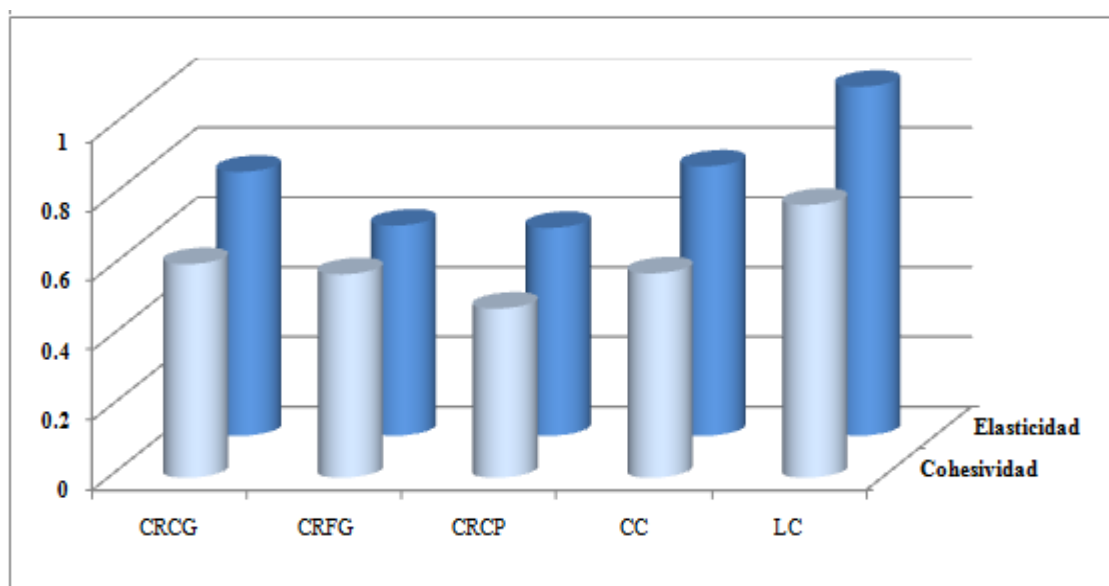


Figura 21. Gráfico de los valores de elasticidad y cohesividad del Análisis de Perfil de Textura (TPA) de la materia prima cárnica

La masticosidad, es el producto de la dureza, cohesividad y elasticidad (Figura 11), propiedad que representa energía necesaria para desintegrar un alimento hasta que está listo para ser tragado (Szczeniak, 2002); por lo que en el presente trabajo se obtuvo que la carne de cerdo es la materia prima cárnica que puede ser desintegrada con mayor facilidad, mientras que el lardo de cerdo dificulta su desintegración al ser masticado (Figura 20). La carne de cerdo tiene esos valores debido a su ternura, que en comparación con las muestras de carne de bovinos se tiene que la carne congelada (5.57 N) y la carne fresca (3.56 N) de alimentados con granos y la carne de res de alimentados en pastoreo (4.3 N) tienen valores elevados ($P < 0.05$).

3.2. Color

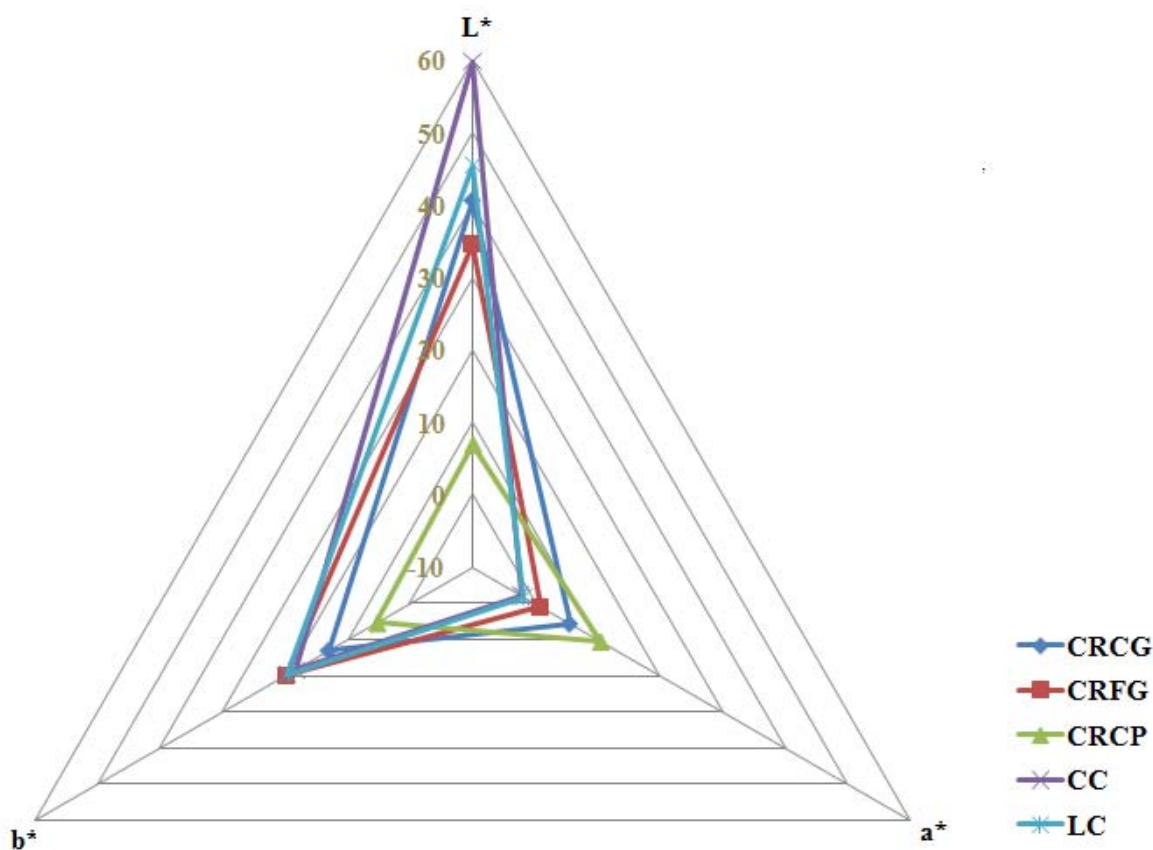


Figura 22. Gráfico de telaraña de los valores de L* a* y b* de la materia prima cárnica

El color de la carne fresca define la selección del consumidor; algunos defectos en ésta, se deben a la dinámica del estado químico de la mioglobina y a la cantidad de hemoglobina, sustratos que dependen del manejo de los animales, su genética, alimentación y el tipo de músculo utilizado en el corte, entre otros (Chambers *et. al.*, 1993; Kropf, 1995).

La medición del color se realiza a través de L* (luminosidad o claridad), a* y b* que son determinados a partir de las coordenadas triestímulo (x, y, z) de un eje cartesiano (Alvarado, 2001).

Capítulo 3. Resultados y análisis de resultados

La diferencia en términos de claridad (L^*) del color de la materia prima cárnica se debe principalmente al tipo de fibras que conforman el músculo, las cuales se caracterizan por su tipo y grado de ejercitación y su contenido sarcoplásmico, que a su vez condiciona el contenido de mioglobina (a mayor contenido aumentará la concentración de mioglobina). Las fibras rojas de contracción lenta y ricas en sarcoplasma contienen un elevado número de moléculas de mioglobina, debido a su dependencia del metabolismo oxidativo del músculo, mientras que las fibras blancas, de contracción rápida y pobres en sarcoplasma tienen como fuente de energía la glucólisis. Argumento que de acuerdo con los valores de L^* en la experimentación y lo publicado por Klont *et al.* (1998) explica el porqué del color obscuro de la carne proveniente del cuarto delantero (músculos de ejercitación) en comparación con la del cuarto trasero (músculos de sostén). Por otro lado, la carne de cerdo posee un mayor contenido de fibras blancas, corroborado esto con los resultados de color de L^* (45.435 y 59.75 de las muestras de lardo y carne de cerdo respectivamente, valores con los que se demuestra que tienen un tono de color más claro que las de res) (Figura 22) ($P < 0.05$) (Tabla 21), que corresponde a lo citado en la literatura.

Tabla 21. Análisis ANOVA de dos factores de los valores de L^* , a^* y b^* de las materias primas cárnicas utilizadas en la elaboración de embutidos madurados

<i>S</i>	<i>DF</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
Carne	2	3125.25	1562.629	9.919
Parametros	4	518.05	129.51	0.822
Error	8	1260.30	157.53	
Total	14	4903.61		

Zea *et al.* (2007 b) al investigar el efecto del sistema de alimentación y sexo en la carne proveniente de terneros, en sus resultados observaron que el ganado alimentado con altas concentraciones de forrajes y/o pastoreo producen carne más oscura que los alimentados con dietas ricas en granos y que los machos tienen un tono de color más claro que el de las hembras. En los resultados de ésta investigación, las muestras de carne de machos alimentados con granos tiene valores de L^* y b^* superiores a los de las hembras alimentadas en pastoreo, lo que de acuerdo con lo divulgado por Zea *et al.* (2007 a y b); Delgado *et al.* (2005) y Klont *et al.* (1998), se tiene que la carne de pastoreo presenta un color más oscuro

debido a su alta concentración de mioglobina por el sexo (hembra) y el metabolismo de los músculos que componen el cuarto delantero así como la baja concentración de grasa debida a su alimentación, la cual favorece los procesos de oxidación de la carne.

Las muestras de carne de los lotes (granos) uno y tres (pastoreo) se encontraban a vacío y congelados (3 meses y 15 días respectivamente), condiciones que de acuerdo con Girard (1991) y Chacón(2004) disminuyen el desarrollo de los procesos bioquímicos, como son aquellos involucrados en el estado de oxidación-reducción de los pigmentos de la carne, pero aumenta el proceso de desnaturalización de las proteínas miofibrilares por la formación de cristales de hielo, situación que afecta el valor de pH, el cual está ligado directamente con la evolución del color de la carne.

3.3. Análisis químico proximal

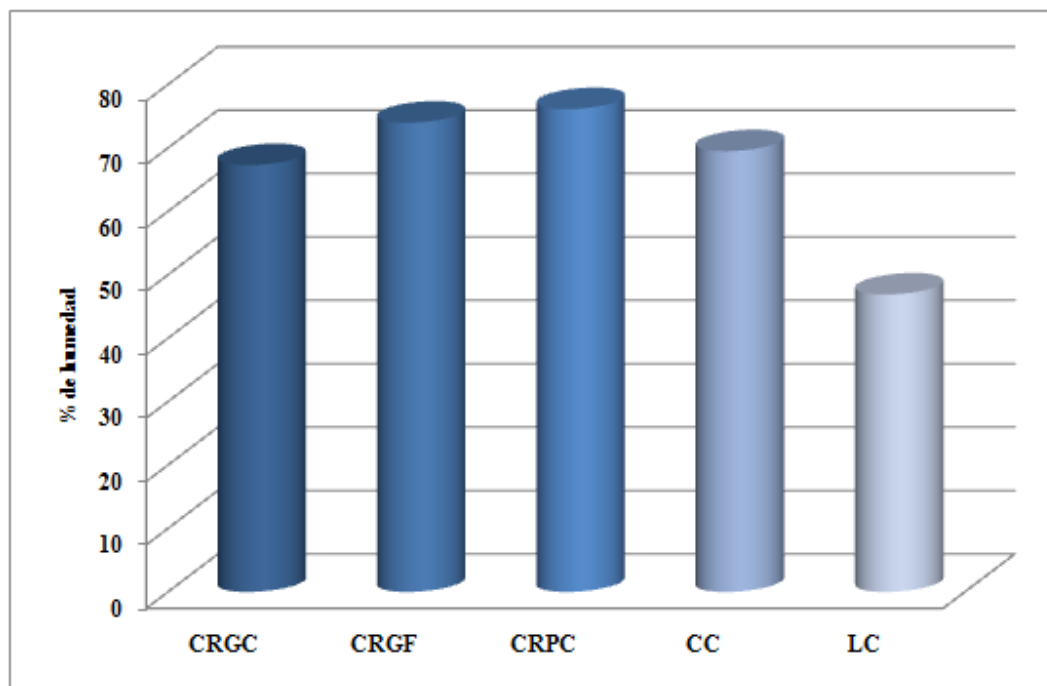


Figura 23. Gráfico del porcentaje de humedad de la materia prima cárnica (porcentaje por cada 100 g de muestra)

Capítulo 3. Resultados y análisis de resultados

Diversos autores reportan que el porcentaje de humedad en el músculo *post-mortem* es superior al 70%, los valores del porcentaje de humedad obtenidos en este trabajo muestran valores inferiores; por ejemplo, el lote de carne de res de alimentación con granos, que fue mantenida al vacío a -18°C durante 3 meses, fue de 67.3%, con el menor contenido de humedad. El lote de carne de animales alimentados con granos, fue de 74% y la de mayor proporción fue la de animales alimentados en pastoreo (Figura 23).

Para la carne de cerdo el porcentaje de humedad es de 69.5%, que de acuerdo por lo publicado por Migdal *et al.* (2007) y Lawrie (1998) estos valores deben estar alrededor o por encima del 70%. El porcentaje más bajo de humedad le corresponde al lardo de cerdo (46.9%), porcentajes que están influenciados por su genética y tipo de alimentación, lo cual genera que las materias primas del ganado porcino cuenten con un porcentaje de grasa elevado.

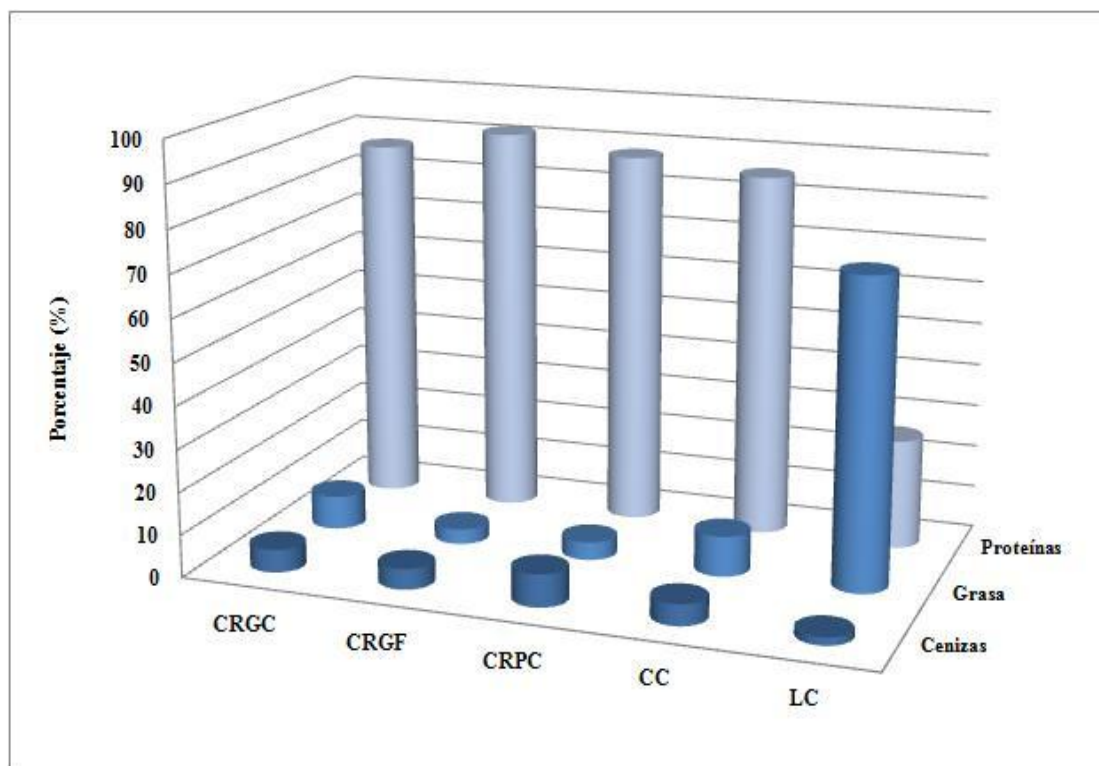


Figura 24. Gráfico del porcentaje en base seca para proteínas, grasa y cenizas de la materia prima cárnica (porcentaje por cada 100 g de muestra)

Capítulo 3. Resultados y análisis de resultados

En base seca, el porcentaje más alto de proteínas le corresponde a la carne proveniente de hembras alimentadas en pastoreo con un 88.1%, seguido de la carne de bovinos alimentados con granos con el 86.64% y 85.58% en las muestras de carne congelada y carne fresca respectivamente (Figura 24). La diferencia en la concentración de proteínas es debida al contenido de lípidos en su dieta que define el porcentaje de proteínas y grasas; el bajo consumo de lípidos del ganado bovino alimentado en pastoreo disminuye la presencia de grasa en la carne pero aumenta la concentración de proteínas, que de acuerdo con Gil *et al.* (2003), el ganado bovino alimentado en *feedlot* (granos) tiene mayor concentración de grasas que los de pastoreo.

El porcentaje de grasa además de estar condicionado por el sistema de alimentación, está influenciado por el sexo. Los machos presentan menor concentración de tejido adiposo que las hembras y por ende menor porcentaje de grasa, comportamiento que de acuerdo con lo divulgado por Ruiz *et al.* (2005) es característico entre la composición química de machos enteros y castrados, donde estos últimos tienen un mayor desarrollo de tejido adiposo. Al observar la Figura 24, se tiene que el porcentaje de grasa en base seca es diferente para cada una de las muestras de carne de res; la carne fresca de bovinos *Brangus* alimentados con granos tiene el mayor porcentaje seguido por la carne congelada de bovinos castrados *Bos taurus* alimentados con granos y por último la carne de hembras *Bos taurus* alimentadas en pastoreo, porcentajes que dependen de la conformación del engrasamiento de la canal, que además de estar influenciado por el sexo y el tipo de alimentación también varía según sea el peso del animal *in vivo* y la raza, con respecto a este factor, las razas *Bos taurus* como *Hereford* y *Angus* tienen menor concentración de engrasamiento en comparación con las razas de gran tamaño como son la *Simmental* y *Limusin*.

Las carne congelada proveniente de pastoreo tiene 7.66% de cenizas, seguida con el 5.46 de la carne congelada de bovinos alimentados con granos y por último la carne de fresca de alimentados con granos (Figura 24).

En cuanto a la carne de cerdo, tienen mayor concentración de proteínas y cenizas que el lardo de cerdo, el cual se caracteriza por su elevada concentración de grasas, lo que se explica por la capa de grasa que lo constituye.

En general se observa que las muestras de carne de alimentados en pastoreo tiene los porcentajes más altos en cuanto a humedad, proteínas y cenizas y el porcentaje más elevado de grasa y los porcentajes más bajos de humedad, proteínas y cenizas son característicos del lardo de cerdo.

3.4. pH

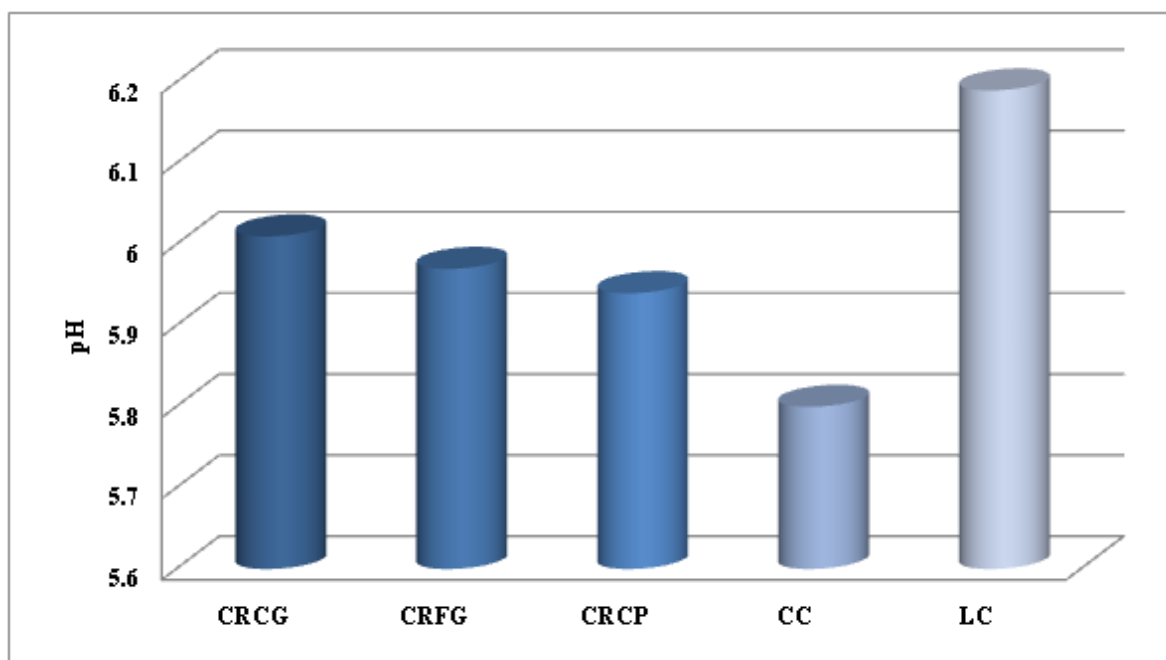


Figura 25. Gráfico de los valores de pH de la materia prima

La velocidad e intensidad del descenso de pH durante los 45 minutos y 24 horas después del sacrificio definen la presencia de defectos y la clasificación de la carne. Antes de culminar éste tiempo, se inicia la contracción del músculo (*rigor mortis*), que es favorecida por la reducción de moléculas en forma de ATP y que en paralelo, tiene efecto en la

Capítulo 3. Resultados y análisis de resultados

disminución del pH. Cuando la formación de los enlaces actomiosina llega a su saturación, son degradados por los sistemas enzimáticos de las fibras musculares (maduración), conjunto de fenómenos que va acompañado de un aumento en el valor de pH.

El valor de pH de las muestras de carne de res (6.01, 5.97 y 5.97) fue similar ($P < 0.05$) (Tabla 22), sin embargo al ser comparados con los valores reportados en otras investigaciones (Llorente, 1997, Delgado *et al.*, 2005 y Zea *et al.*, 2007a), estos son superiores. El valor de pH más bajo le pertenece a la carne de cerdo (5.8) mientras el valor más alto al lardo de cerdo (6.19) (Figura 25).

Tabla 22. ANOVA de los valores de pH de las materias primas cárnicas utilizadas en la elaboración de embutidos madurados

<i>S</i>	<i>DF</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
Carne	4	0.2378	0.05945	424.64
Error	10	0.0014	0.00014	
Total	14	0.2392		

La variación entre los valores de pH se debe a factores genéticos, función y localización de los músculos y metabolismo de las fibras musculares (Klont *et al.*, 1998 y Fennema *et al.*, 1993), así como el manejo antes, durante y después del sacrificio (Chambers *et al.*, 2001; Ferguson *et al.*, 2008 y Llorente, 1997).

La diferencia entre valores de pH establecidos anteriormente para carne de res con los obtenidos en esta investigación se debe principalmente a la función y localización de los músculos así como el metabolismo de las fibras musculares. La medición de pH en la mayoría de las investigaciones se realiza en músculos (Klont *et al.*, 1999; Zea *et al.*, 2007b y Simek *et al.*(2003) o cortes convencionales (Llorente, 1997 y Delgado *et al.*, 2005) del cuarto trasero, que se localizan cerca de la espina dorsal y tienen como función el soporte. En esta investigación, se utilizaron cortes no convencionales del cuarto delantero, el cual está constituido por músculos encargados del movimiento de la canal y que de acuerdo con Klont *et al.* (1998), tienen un metabolismo acelerado (consumo de reservas de glucógeno) y

Capítulo 3. Resultados y análisis de resultados

como consecuencia su valor de pH es mayor al de los músculos de sostén. Variación que puede ser explicada con facilidad al comparar los valores de pH de la carne de cerdo y res. Según Klont *et al.* (1998), las fibras blancas que constituyen en su mayoría los músculos del ganado porcino tienen un metabolismo anaerobio (glucólisis), mientras las fibras rojas de los músculos de bovinos es oxidativo, metabolismo que facilita la concentración de glucógeno en el músculo y la acumulación y formación de ácido láctico y como consecuencia un pH menor al de las fibras blancas; por lo que la carne de res debe tener un valor de pH ácido en comparación con el valor de la carne de cerdo. Argumento que no corresponde a los resultados obtenidos en la investigación, puesto que, la carne de cerdo es más ácida que la carne de res; sin embargo, si se suma que la carne de bovino proviene del cuarto delantero y los músculos que lo conforman se caracterizan por su ejercitación, la falta de oxígeno durante el proceso de contracción-relajación del músculo altera el metabolismo de las fibras rojas (glucólisis) y como consecuencia la concentración de glucógeno en el músculo es menor y el valor de pH mayor. Situación que explica el por qué la variación entre los valores de pH entre la carne de bovino y cerdo.

Por otro lado, es importante mencionar que de acuerdo con Chacón (2004) durante el almacenamiento en congelación de la carne de res, la formación de cristales desnatura las proteínas miofibrilares, evento que de acuerdo con lo establecido con Belitz *et al.*, (2004) afecta la solubilidad y como consecuencia el valor de pH; por lo que, las muestras de carne deben ser descongeladas en refrigeración para favorecer el mantenimiento de la estructura de las proteínas. Condiciones que se contemplaron durante la experimentación en los lotes uno (granos) y tres (pastoreo) para cometer errores mínimos en la medición.

3.5. Acidez

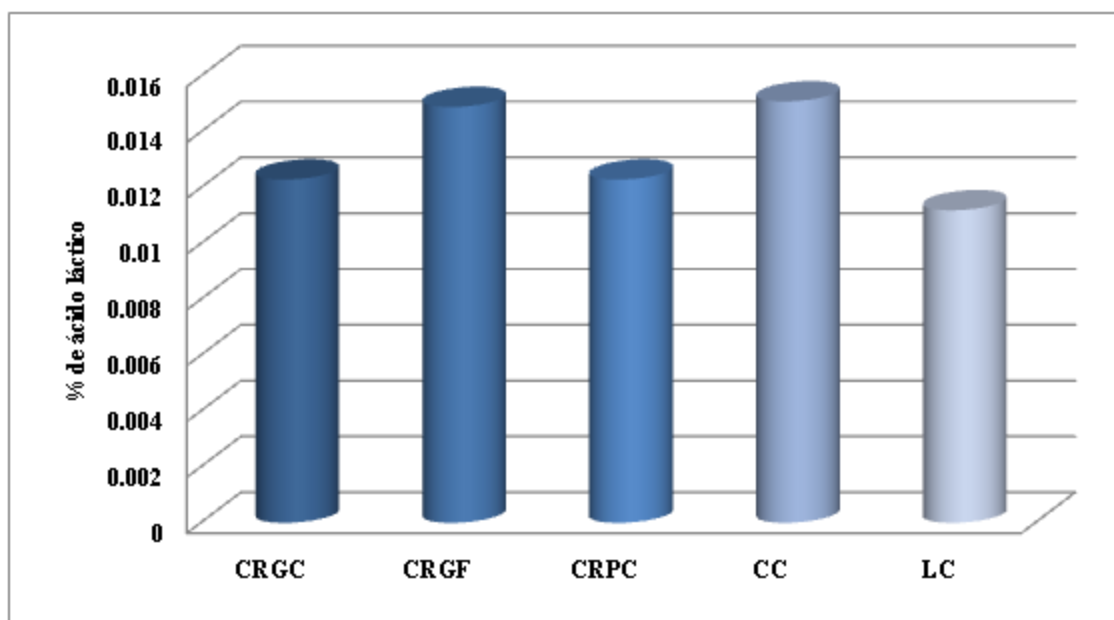


Figura 26. Gráfico de los valores de acidez de la materia prima cárnica

La acidez de la carne congelada proveniente de alimentados en pastoreo y con granos ($P < 0.05$) es similar a la de lardo de cerdo, mientras que la carne fresca de alimentados con granos tiene una acidez semejante ($P < 0.05$) a la de la carne de cerdo; valores que dependen de las condiciones fisiológicas del músculo que condicionan la concentración de glucógeno muscular (Figura 26 y Tabla 23).

Tabla 23. Análisis ANOVA de los valores de acidez de las materias primas cárnicas utilizadas en la elaboración de embutidos madurados

<i>S</i>	<i>DF</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
Carne	4	3.53695E-05	8.84236E-06	10.68
Error	10	8.27537E-06	8.27537E-07	
Total	14	4.36448E-05		

Después del sacrificio, el glucógeno del músculo es el responsable de la acumulación de ácido láctico, que de acuerdo con los valores publicados por Simek *et al.*(2003), la velocidad de formación del ácido láctico depende del tipo de músculo y el tiempo

transcurrido; en los primeros minutos después del sacrificio, la velocidad de formación de ácido láctico es mayor en músculos de cerdos que en los de bovinos, por otro lado al término de las 24 horas *post-mortem*, en cerdos el músculo *L. semimembranosus* tiene valores de acidez menores a los del *Longissimus lumborum* y *thoracis* y a su vez este músculo tiene valores de acidez semejantes entre cerdos y bovinos, resultados que resaltan que la función de los músculos y el metabolismo de las fibras musculares definen la concentración de glucógeno. Dentro de éste contexto, las fibras que componen los músculos encargados del sostén sin importar su metabolismo (fibras rojas-oxidativo y fibras blancas-glucolítico) tienen mayor concentración de glucógeno que los músculos de movimiento, lo que explica que las muestras de carne de res tienen valores de acidez menores a los de la carne de cerdo, sin embargo estadísticamente no explica la similitud entre esta y la carne fresca alimentada con granos; lo que puede deberse a errores durante la experimentación, principalmente durante la titulación de las muestras.

3.6. Actividad de agua

966

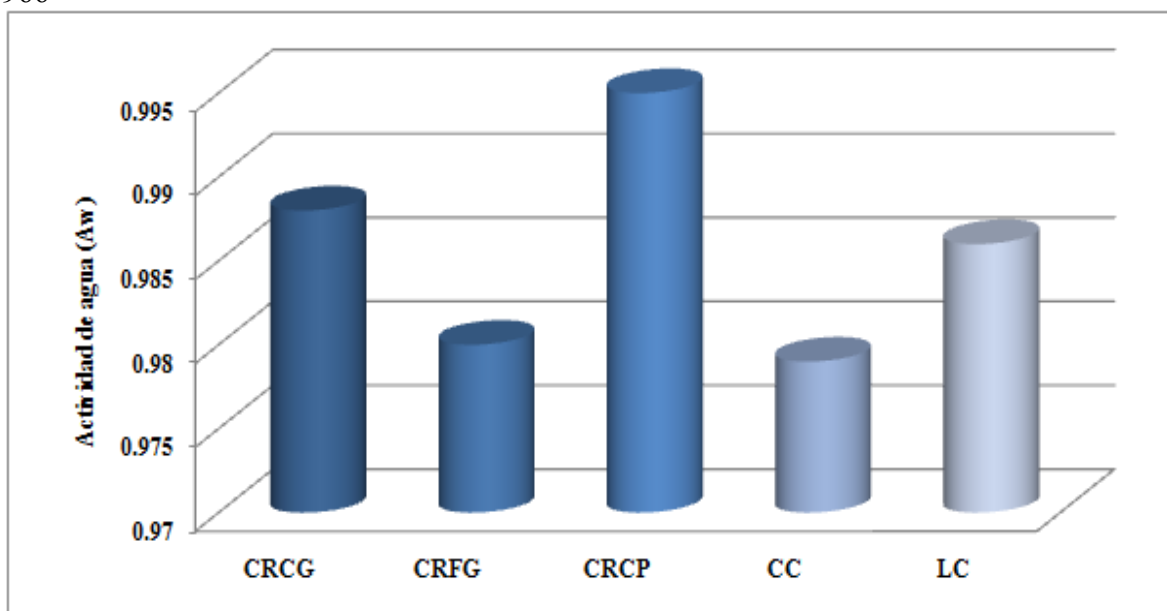


Figura 27. Gráfico de los valores de Aw de la materia prima cárnica

Capítulo 3. Resultados y análisis de resultados

Los valores de A_w para las muestras de las materias primas cárnicas son similares ($P > 0.05$) y cercanos a los valores de A_w del agua pura, por lo que son inestables y tiene una vida de anaquel corta (Figura 27 y Tabla 24). La carne está constituida por dos tipos de agua ligada y libre, donde esta última es la encargada de proporcionar el valor de actividad de agua y que de acuerdo con Badui *et al.* (1993) y Gómez (1992) es utilizada en el crecimiento de microorganismos y en el desarrollo de reacciones químicas y enzimáticas.

Tabla 24. Análisis ANOVA de los valores de A_w de las materias primas cárnicas utilizadas en la elaboración de embutidos madurados

<i>S</i>	<i>DF</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
Carne	4	3.53695E-05	8.84236E-06	10.68
Error	10	8.27537E-06	8.27537E-07	
Total	14	4.36448E-05		

El valor de A_w , predice el tipo de microorganismos que pueden estar desarrollando en una alimento por lo que este es un indicador de calidad. En el caso de la carne durante su proceso de obtención en un rastro existen varios focos de contaminación, de acuerdo con Alarcón *et al.* (2007) y Signorini *et al.* (2006), las bacterias aisladas en carne forman parte de la flora normal y de la carga del intestino (*E. coli*, *Salmonella*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Clostridium*, entre otras), las cuales de acuerdo con sus características son denominadas como bacterias patógenas, que pueden crecer en valores de A_w superiores a 0.9.

Por otro lado, en la carne, se desarrollan reacciones como la lipólisis, oxidación de grasas y oscurecimiento por oxidación. Según Badui *et al.* (1993) y Belitz *et al.* (2004) la lipólisis se produce por la acción hidrolítica de las lipasas que hidrolizan los fosfolípidos y triglicéridos a ácidos grasos oxidados causando olores y sabores anormales, efecto que es favorecido por la autooxidación de la grasa al contacto con el oxígeno y por último el oscurecimiento por oxidación el cual se da por la concentración de pigmentos y la oxidación de mioglobina a metamioglobina, lo que genera un color café indeseable a la carne.

Capítulo 3. Resultados y análisis de resultados

En general los valores tan elevados de A_w en la carne se deben a la interacción del agua disponible con las proteínas de la carne, lo que favorece su ternura y jugosidad, atributos sensoriales que también son afectados por la interacción y concentración de grasa en el ganado.

Resumen de resultados

Tabla 25. Valores del Análisis de Perfil de Textura y color de la materia prima cárnica

	Análisis de Perfil de Textura				Color		
	Dureza (N)	Cohesividad	Elasticidad	Masticosidad (N)	L*	a*	b*
Carne de res congelada alimentada con granos	12.04	0.611	0.756	5.573	40.61 ± 0.43	5.55 ± 2.44	12.95 ± 2.185
Carne de res fresca alimentada con granos	10.17	0.58	0.602	3.56	34.52 ± 1.25	0.83 ± 0.03	19.625± 0.525
Carne de res congelada alimentada en pastoreo	14.92	0.484	0.595	4.3	6.93± 4.37	10.45 ± 1.84	5.31 ± 1.36
Carne de cerdo	1.94	0.58	0.77	0.87	59.75 ± 0.24	-2.28 ± 0.11	18.19 ± 0.09
Lardo de cerdo	25.7	1.0	0.78	20.7	45.435 ± 0.235	-1.84 ± 0.26	19.575 ± 0.035

Tabla 26. Valores de la composición química, pH, acidez y Aw de la materia prima cárnica.

	Composición química			pH	Acidez (% ácido láctico)	Aw
	Base seca					
	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)			
Carne de res congelada alimentada con granos	86.69±0.0806	7.91	5.40±0.064	6.01 ± 0.0058	0.0123 ± 0.0007	0.988±0.0012
Carne de res fresca alimentada con granos	91.64±0.279	3.54± 0.07	4.82	5.97 ± 0.0153	0.0149 ± 0.0014	0.980±0.0010
Carne de res congelada alimentada en pastoreo	88.1	4.23	7.66± 0.091	5.94 ± 0.0058	0.0123 ± 0.0007	0.995± 0.0017
Carne de cerdo	85.51±0.403	9.49	5.00± 0.134	5.8 ± 0.0082	0.0151 ± 0.0011	0.979 ± 0.0145
Lardo de cerdo	25.85±0.007	72.29±0.014	1.86± 0.014	6.19 ± 0.0173	0.0112 ± 0.0004 ^b	0.986 ± 0.0100

Conclusiones

En el presente trabajo se evaluó la materia prima cárnica (proveniente de los cuartos delanteros y cuartos traseros de res y cerdo respectivamente y lardo de cerdo) en términos de sus características físicas, químicas y fisicoquímicas, para resaltar la influencia que guarda el tipo de alimentación en la carne proveniente de bovinos. Se busca establecer su calidad como base de las formulaciones en la elaboración de embutidos madurados.

1. En el Perfil de Textura se cuantificó la dureza (terneza), cohesividad, elasticidad y masticosidad. En cuanto a los resultados de dureza encontrados se tiene que para el caso de las materias primas consistentes en carne fresca y carne congelada correspondientes a bovinos machos alimentados a base de granos fueron más tiernas que aquellas provenientes de hembras alimentadas bajo condiciones de pastoreo, lo cual no coincide con lo reportado por otros autores como *Zea et al.*, 2007^a, valores que al ser comparados con las muestras de lardo y carne de cerdo, se tiene que esta última fue más suave que la carne de res, en tanto que el lardo de cerdo es la materia prima cárnica con mayor grado de dureza.
2. En lo que se refiere al color, la carne y lardo de cerdo están compuestos principalmente por fibras blancas lo cual corresponde a los valores encontrados en la presente investigación donde los valores de L^* fueron superiores a los de las muestras provenientes de carne de bovinos, lo que demuestra que tienen un tono de color más claro que las muestras de res, lo cual corresponde a lo reportado en la literatura. Por otra parte, se encontró que las muestras de carne de machos alimentados con granos tiene valores de L^* y b^* superiores a los de las hembras alimentadas en pastoreo, lo cual coincide con lo reportado por otros autores y demuestra que la carne de hembras es más oscura que la de machos.
3. En cuanto al Análisis Químico Proximal (AQP) los valores del porcentaje de humedad obtenidos en este trabajo fueron inferiores a lo que se sugiere en la literatura, ya que, por ejemplo, para el caso del lote de carne fresca de res

proveniente de animales alimentados a base de granos, fue de 67.3%, con el menor contenido de humedad siendo los de mayor porcentaje las muestras provenientes de carne congelada. Por otra parte, para la carne de cerdo el porcentaje de humedad fue de 69.5%, mientras que el porcentaje más bajo de humedad correspondió al lardo de cerdo (46.9%).

En base seca, para las muestras provenientes de bovinos, el porcentaje más alto de proteínas le correspondió a la carne proveniente de hembras alimentadas en pastoreo, seguido de la carne de bovinos alimentados con granos (carne congelada y carne fresca), mientras que el porcentaje de grasa resultó diferente para cada una de las muestras de carne de res; teniendo que para el caso de la carne fresca de bovinos *Brangus* alimentados con granos presentó el mayor porcentaje seguido por la carne congelada de bovinos castrados *Bos taurus* alimentados con granos y por último la carne de hembras *Bos taurus* alimentadas en pastoreo.

Las carne congelada proveniente de pastoreo tiene 7.66% de cenizas, seguida con el 5.46 de la carne congelada de bovinos alimentados con granos y por último la carne de fresca de alimentados con granos.

En cuanto a la carne de cerdo, esta presentó una mayor concentración de proteínas y cenizas que el lardo de cerdo, el cual se caracteriza por su elevada concentración de grasas, lo que se explica por la capa de grasa que lo constituye.

En general, se observa que las muestras de carne proveniente de alimentados en pastoreo presentaron los porcentajes más altos en cuanto a humedad, proteínas y cenizas y el porcentaje más elevado de grasa y los porcentajes más bajos de humedad, proteínas y cenizas son característicos del lardo de cerdo.

4. Con respecto a la cinética de descenso del valor de pH, se encontró que en las muestras de carne de res (6.01, 5.97 y 5.97) resultó ser muy similar ($P < 0.05$), sin embargo al ser comparados con los valores reportados en otras investigaciones (Llorente, 1997; Delgado *et al.*, 2005 y Zea *et al.*, 2007 a), estos fueron superiores. El valor de pH más bajo le pertenece a la carne de cerdo (5.8) mientras el valor más alto al lardo de cerdo (6.19). Al respecto se atribuye que la diferencia entre valores

de pH en esta investigación se debe principalmente a la función y localización de los músculos así como el metabolismo de las fibras musculares ya que en esta investigación se utilizaron cortes no convencionales del cuarto delantero.

5. La acidez de la carne congelada proveniente de alimentados en pastoreo y con granos ($P < 0.05$) es similar a la de lardo de cerdo, mientras que la carne fresca de alimentados con granos tiene una acidez semejante ($P < 0.05$) a la de la carne de cerdo; valores que dependen de las condiciones fisiológicas del músculo que condicionan la concentración de glucógeno muscular.
6. Los valores de A_w para las muestras de las materias primas cárnicas evaluadas en el presente trabajo fueron similares ($P > 0.05$) y cercanos a los valores de A_w del agua pura, por lo que son inestables y tiene una vida de anaquel corta.

Bibliografía

1. Aja, S. 2006. Rendimiento total de una canal de bovino. *Boviotecnia*. **8**(1):1-10.
2. Alarcón, A. Duarte, J. O. Rodríguez, F. A. y Januaca H. 2005. Incidencia de carne pálida-suave-exudativa (PSE) y oscura-firme-seca (DFD) en cerdos sacrificados en la región del Bajío en México. *Téc. Pecu. Méx.* **43**(3):335-346.
3. Alarcón, A. Gamboa, J. G. Rodríguez F. A. Grado J. A. y Januaca H. 2006. Efecto de variables críticas del sacrificio sobre las propiedades fisicoquímicas de la carne de cerdo. *Téc. Pecu. Méx.* **44**(1):53-66.
4. Alarcón, A. D. y Janacua, H. 2007. Calidad e inocuidad de la carne de res. *Tecnociencia Chihuahua*. 1(1):4-8.
5. Alvarado J. 2001. Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos. 1^{er} ed. Ed. Acribia, España, pp 325-341.
6. Álvarez, B. Garrido, M. D. Bañon, S. and Laencina, J. 2005. Animal welfare and pork carcass according to stunning system. *An. Vet.* **21**(1):78-85.
7. AMSA.1991. Guidelines for meat color evaluation. **44**:1-17.
8. AOAC, Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 2000. 17^a ed. Washington..
9. Arenas, L. Vidal, A. Huerta-Sanchez, D. Navas, Y. Uzcátegui-Bracho, S. y Huerta-Leindenz, N. 2000. Análisis comparativo proximal y de minerales entre carnes de iguana, pollo y res. *ALAN*. **50**(4):409-415.
10. Badui, S. Anzaldúa-Morales, A. Bourges, H. 1993. Química de los alimentos. 3^a ed. Ed. Alhambra Mexicana. México. pp 28- 37.
11. Barrón, S. García, C. Mora, O. y Shimada, A. 2004. Impacto económico de la pigmentación del tejido adiposo en bovinos en pastoreo en el trópico. *Agrociencia*. **38**:173-179.
12. Barros, F. Evelázio, N. Matsushita, M. Nunes, I. and Goncalves, W. 2003. Evaluation of carcass characteristics and meat chemical composition of *Bos indicus* and *Bos*

-
- indicus x Bos taurus* crossbred steers finished in pasture systems. *Brazilian Archives Biology and Technology*. **46**(4):609-616.
13. Belew, J. B. Brooks, J. C. McKenna, D. R. and Savell, J. W. 2003. Warner- Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles. *Meat Science*. **64**(4): 507-512.
 14. Belitz, H. D. and Grosch, W. 2004. Food Chemistry. 4^a ed. Ed. Springer. Alemania. pp 629-634.
 15. Blanco, M. R. And Alonso, C. R. 2007. Collagen type I and III in bovines muscles. *Arch Zootec*. **56**(214):253-256.
 16. Boleman, S. J. Boleman, S. L. Bidner, T. D. McMillin, K. W. and Monlezun, C. J. 1995. Effects of postmortem time of calcium chloride injection on beef tenderness and drip, cooking and total loss. *Meat Science*. **39**(1):35-41.
 17. CAC/RCP 41-1993. Código internacional recomendado para la inspección *ante-mortem* y *post mortem* de animales de matanza y para el dictamen *ante-mortem* y *post-mortem* sobre animales de matanza y carnes.
 18. Caine, W. R. Aalhus, J. L. Best, D. R. Dugan, M. E. R. and Jeremiah, L. E. 2003. Relationship of texture profiles analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. *Meat Science*. **64**:333-339.
 19. Castrillón, W. E. Fernández J. A. y Restrepo, R. F. 2007. Variables asociadas con la presentación de carne PSE (Pálida, Suave, Exudativa) en canales de cerdo. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 20:327-338.
 20. Chacón, A. 2004. La suavidad de la carne: implicaciones físicas y bioquímicas asociadas al manejo y proceso agroindustrial. *Agronomía Mesoamericana*. **15**(2):225-243.
 21. Chambers, P. G. y Grandin T. 2001. Directrices para el manejo, transporte y sacrificio humanitario del ganado. FAO. Italia.
 22. Chambers, E. and Bowers, J. R. 1993. Consumer perception of sensory qualities in muscle food. *Food science and technology*. **43**(11):116-120.
 23. Chapinal, N. Dalmau, A. Fabrega, E. Manteca, X. Ruis de la Torre, J. L. y Velarde A. 2005. Bienestar durante el transporte. *Av. Technol. Porc*. **3**(6):40-51.

-
24. Connell, J. Huerta-Leidenz, N. y Rodas, A. G. 2002. Rendimiento del cuarto trasero y calidad sensorial del músculo longissimus en novillos zulianos. *Rev. Científica*.**12**(2):622-625.
 25. Cole, D. J. A and Lawrie, R. A. 1975. Meat. 1^a ed. Butterworth. pp280-399.
 26. Delgado, E. J. Rubio, M. S. Iturbe, F. A. Méndez, R. D. Cassís, L. and Rosiles, R. 2005. Composition and quality of Mexican and imported retail beef in Mexico. *Meat Science*.**69**:465-471.
 27. Dunne, P. G. Monahan, F. J. Mara F. P. and Moloney, A. P. 2009. Colour of bovine subcutaneous adipose tissue: A review of contributory factors, associations with carcass and meat quality and its potential utility in authentication of dietary history. *Meat Science*.**81**:28-45.
 28. Escutia, I. 1996. Manual de Buenas Prácticas de sanidad en rastros municipales. 1^a ed. SSA. México.
 29. Fennema, O. R. 1993. Química de alimentos. 1^o ed., Acribia, España, pp 855-863.
 30. Ferguson, D. M. and Warner, R. D. 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science*.**80**:12-19.
 31. Forrest, J. C. Aberle, E. D. Hendrick, H. D. Judge, M. D. y Merkel, R. A. 1979. Fundamentos de la ciencia de la carne. 1^a ed. Acribia. España. pp 20-36, 120-162.
 32. Gil, A. y Huertas S. 2003. Efectos de los diferentes sistemas de producción sobre la composición y calidad de las carnes. *Rev. Med. Uruguay*. **19**:182-184.
 33. Girard, J. P. 1991. Tecnología de la carne y de los productos cárnicos. 1^a ed. Acribia. España. pp. 5-33.
 34. Gómez, R. 1992. Actividad de agua de los alimentos. Métodos de determinación. *Alimentaria*. 229(1):77-80.
 35. Grandin, T. 1997. Assessment of stress during handling and transport. *J.B Anim. Sci*. **75**:249-257.
 36. Grandin, T. 2003. The welfare of pigs during transport and slaughter. *Pig News and Information*. **24**(3):83N-90N.
 37. Harris, P. V. and Shortehose, W. R. 1998. Meat Texture. Chapter 5 en: Meat Science 4. Elsevier Science Publishers. Gran Bretaña. pp 245-257.

38. Hargreaves, H. Barrales, L. Peña, I, Larraín, R. y Zamorano, L. 2004. Factores que influyen en el pH último e incidencia de corte oscuro en canales de bovinos. *Ciencia e investigación agraria*.**31**(3): 155-166.
39. Honikel, K. O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*.**49**(4):447-457.
40. Huffman D. L. 1980. Processing effects on fresh and frozen meat color. *Reciprocal Meat Conference Proceedings*. **33**:4-14.
41. Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán. 1996. Tablas de composición de alimentos. Edición de aniversario. México. pp 151-154.
42. Jeleníková, J. Pipek, P and Struch, L. 2008. The influence of *ante-mortem* treatment on relationship between pH and tenderness of beef. *Meat Science*. **80**(1):870-874.
43. Keane, M. G. and Allen, P. 1998. Effects of production system intensity on performance, carcass composition and meat quality of beef cattle. *Livestock Production Science*. **56**(1998):203-214.
44. Klont, R. E. Brocks, L. and Eikelenboom G. 1998. Muscle fibre type and meat quality. *Meat Science*.**49**(1): S219-S229.
45. Klont, R. E. Barnier, V. M. H. Smulders, F. J. M. Van Dijk, A. Hoving-Bolink, A. H. y Eikelenboom, G. 1999. Post-mortem variation in pH, temperature and colour profiles of veal carcasses in relation to breed, blood haemoglobin content and carcass characteristics. *Meat Science*. **53**: 195-202.
46. Koohmaraie M. 1994. Muscle proteinases and meat aging. *Meat Science*.**36**(1-2): 93-104.
47. Koohmaraie M. 1996. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science*. 43(S): S193-S201.
48. Koohmaraie, M. Seideman, S. C. and Crouse, J. D. 1987. Factors Associated with Tenderness in Young Beef. *Meat Science*. 20(1): 281-291.
49. Koohmaraie, M. Seideman, S. C. and Crouse, J. D. 1998. Effect of Subcutaneous Fat and High Temperature Conditioning on Bovine Meat Tenderness. *Meat Science*. 23(1):99-109.

-
50. Kropf, D. H. 1995. El color y su estabilidad (Parte 1: Factores que afectan el color en la carne fresca. *Carnetec*, **2**(2):20-24.
51. Lahuacky, R. Bahelka, I. Küchenmesidter, U. Vasickoca, K. and Ender, K. 2006. Effects of vitamin D3 and vitamin E on quality characteristics of pigs by feeding. *J. Anim. Sci.* **39**(4):205-208.
52. Lawrie, R. A. 1998. Ciencia de la carne. 3^{ra} ed. Acribia. España. pp 246-275.
53. Llorente, A. B. 1997. Influencia del manejo de los animales antes del sacrificio en la calidad de la carne. *Lácteos y cárnicos mexicanos*. **12**(5):12-15.
54. Lodish, H. Berk, A. Zipursky, S. L. Malsudaira, P. Baltimore, D. y Darnell, J. 2002. Biología celular y molecular, 4^a ed, Ed Médica Panamericana, España,
55. Luciano, F. B. Anton, A. A. and Rosa C. F. 2007. Biochemical aspects of meat tenderness: a brief review. *Arch. Zootec.* **56**(R): 1-8.
56. Luchiari, A. Orates, R. Cravo, A. S. Luz, S. Leme, P. R. and Feitosa, G. 2005. Hanging the beef carcass by the forequarter to improve tenderness of the *Longissimus dorsi* and *biceps femoris* muscles. *Sci. Agri.* **62**(5): 483-486.
57. María, G. A. Villarroel, M. Sañudo, C. Olleta, J. L. and Gebresenbet, G. 2003. Effect of transport time and ageing on aspects of beef quality. *Meat science*. **65**: 1335-1340.
58. Mateo, A. 2007. Estabilidad del color de la carne fresco. *Nacameh*. **1**(1): 67-74.
59. Meat Technology Update. 2006. How useful are microbiological criteria for fresh meat? En www.meatupdate.csiro.au/data/MEAT_TECHNOLOGY_UPDATE_02-1.pdf visitado el 23 de mayo del 2009.
60. Migdal, W. Zivkovic, B. Nowocien, A. Przeor, I. Palka, K. Natonek-Wisniewska, M. Wojtysiak, D. Walczycka M. and Duda, I. 2007. Chemical composition and texture parameters of lion from polish landrace fatteners slaughtered in different age. *Biotechnology in Animal Hunsbandry*. **53**(5):277-282.
61. Miller, R. K. Miller, J. L. Carstens, G. E. Lunt, D. K. Rouquette, R. M. Warrington, W. Lippke, H. Holloway, W Long, C. Randel, R. Welsh, T. and Sander, J. O. Environmental and nutritional effects on beef tenderness. Texas Beef Council. 2002.
62. Mora, O. y Shimada, A. 2001. Causas del color amarillo de la grasa de canales bovinos finalizados en pastoreo. *Vet. Méx.* **32** (1): 63-71.

63. Niinivara, F. P. y Antila P. 1973. Valor nutritivo de la carne. Acribia. España. pp 44-45
64. NMX-FF-078-SCFI-2002. Productos pecuarios. Carne de bovino en canal.- Clasificación.
65. NMX-FF-081-SCFI-2003. Productos pecuarios. Carne de porcino en canal. Calidad de la carne. Clasificación.
66. NOM-194-SSA1-1995. Productos y servicios. Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio. Especificaciones sanitarias de productos.
67. NOM-213-SSA1-2002. Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Método de pruebas.
68. 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.
69. NOM-009-ZOO-1994. Proceso sanitario de la carne.
70. NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres
71. NOM-051-ZOO- 1995. Trato humanitario en la movilización de animales.
72. Novelo, R. Franco, J. Bianchi, G. Feed, O. Bentancur, O. Benia, P. y Stefanell, V. 2008. Efecto de la temperatura de refrigeración sobre la calidad de la carne de novillos *Holstein* a lo largo de la maduración. *Téc. Pecu. Méx.* **46**(2): 137-145.
73. Quali, A. 1992. Proteolytic and physicochemical mechanisms involved in meat texture development. *Biochimie.* **74**(3):251-265.
74. Pearson, D. 1998. Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos. 1ª ed. Ed. Acribia. España. pp41-71.
75. Ranken, M. D. 2003. Manual de la industria de la carne. 1ª ed. Mundi-Prensa. México. pp 18-22.
76. Ríos, F. y Acosta D. 2006. Sacrificio humanitario de ganado bovino e inocuidad de la carne. *Nacameh.* **2**(2):108-123.
77. Ruiz, M. R. Matsishita, M. Visentainer, J. V. Hernández, J. A. Ribeiro, E. L. Shimokomaki, M. Reeves, J. J. and Souza N. E. 2005. Proximate chemical composition

- and fatty acid profiles of *Longissimus thoracis* from pasture fed LHRH immunocastrated, castrated and intact *Bos indicus* bulls. *J. Animal. Sci.***35**(1):13-18.
78. Ruiz de Huidobro, F. Miguel, E. Anega, E. and Blázquez, B. 2003a. Changes in meat quality characteristics of bovine meat during the first 6 days post mortem. *Meat Science*.**65**(1): 1439-1146.
79. Ruiz de Huidobro, F. Miguel, E. Blázquez, B. and Onega, E. 2003b. A comparison between methods (Warner- Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science*.**69**: 527-536.
80. Sawyer, R. and Kirk R.1991. Pearson's composition and analysis of food. 9^a ed. Longman Scientific Technical. Gran Bretaña. pp 447-449.
81. Secretaria de Educación Pública (SEP). 1984. Obtención de la carne. Trillas. México. pp 70-79.
82. Signorini, M. Civit, S. Bonilla, M. Cervantes, M. E. Calderón, M. Pérez, A. Espejel M. A. y Almaza, C. 2006.Evaluación de riesgos de los rastros y mataderos municipales. SSA. México.
83. Simek, J. Vorlová, L. Malota, L. Steinhauserová, I. and Steinhauser, L.2003. Post-mortal changes of pH value and lactic acid content in the muscles of pigs and bulls. *J. Anim. Sci.***48**(7):295-299.
84. Silvia, J. R. Tomic, G. Cavicres, E. Mansilla, A y Oviedo, P. 2005. Estudio de la incidencia del reposo *ante-mortem* en cerdos y la influencia en el pH, capacidad de retención de agua y color de músculo. *Ciencia e investigación agraria*.**32**(2): 125-132.
85. Szczesniak, A. S. 1975. General foods texture profile revisited-ten years perspective. *J. of Texture Studies*. **6**:5-17.
86. Szczesniak, A. S. 2002. Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*. **13**(2002):215-225.
87. Teira, G. A. 2004. Actualidad y perspectivas de un componente principal de la calidad de carnes bovinas: la ternera. *Ciencia, docencia y tecnología*. **15**(28):215-244.
88. Teira, G. Perlo, F. Bonato, P Tisocco, O. 2006. Calidad de carnes bovinas. Aspectos nutritivos y organolépticos relacionados con sistemas de alimentación y prácticas de elaboración. *Ciencia, docencia y tecnología*. **33**(15): 173-193.

89. Universidad Estatal de Montana. Meat color. En www.animalrange.montana.edu/courses/meat/meat_color.pdf. visitado el 15 de junio del 2009.
90. Velazco, J. 1998a. Los músculos: características, funcionalidad y su relación con el rendimiento de corte. *Carnotec.* **4**(6):40-44.
91. Velazco, J. 1998b. Manejo *ante-mortem* del ganado. *Carnotec.* **4**(2):16-20.
92. Velazco, J. y Aguirre, S. E. 1998. La estimulación eléctrica en canales. *Carnotec.* **4**(5):18-24.
93. Velazco, J. 2000. Problemas de la calidad en el sacrificio de bovinos. *Carnotec.* **7**(1):18-21.
94. Villamar, L. A. 2004. Informe sobre la situación de los recursos genéticos pecuarios (RGP) de México. FAO. México. pp 6-8.
95. X-Rite. Guía para entender la comunicación del color. 2002. En: <http://www.xtec.es/~jforment/html/classes/altres/ComunicaciondelColor.pdf> visitado el 20 de abril del 2009.
96. Zamorano, J. M. y Lüdden L. 1999. El valor R, el pH y CRA como predictores de la terneza de la carne en las reses bovinas con y sin electroestimulación. *La industria cárnica latinoamericana.* **114**(4): 37-46.
97. Zea, J. Díaz, M. D. y Carballo, J. A. 2007a. Efecto de la raza, sexo y alimentación en la calidad de la carne de vacuno. *Arch. Zootec.* **56**(Sup 1):737-743.
98. Zea, J. Díaz, M.D. y Carballo, J. A. 2007b. El efecto del sistema de producción y del sexo en la calidad de la carne de vacuno joven. *Arch. Zootec.* **56**(216):817-828.

Anexos

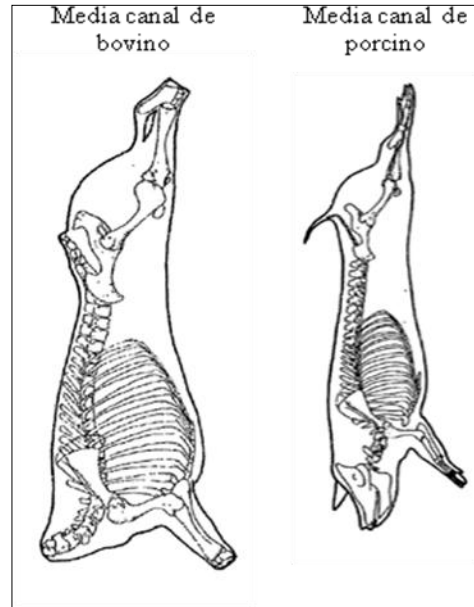
Anexo 1. Clasificación de los músculos de acuerdo con su localización en la canal

Músculos del cuarto delantero	Músculos del cuarto trasero
<i>M. biceps brachii</i>	<i>M. adductor</i>
<i>M. biventer cervicis</i>	<i>M. flexor digitorum superficialis</i>
<i>M. brachialis</i>	<i>M. gastrocnemius</i>
<i>M. complexus</i>	<i>M. gluteoaboiceps</i>
<i>M. deltoides</i>	Cranial
<i>M. extensor carpi radialis</i>	Caudal
<i>M. infraspinatus</i>	Vertebral
<i>M. latissimus dorsi</i>	<i>M. gluteus medius</i>
<i>M. pectoralis profundus</i>	<i>M. gracilis</i>
<i>M. pectorales superficiales</i>	<i>M. iliacus</i>
<i>M. rhomboideus</i>	<i>M. longissimus dorsi</i>
<i>M. serratus ventralis</i>	<i>M. longissimus lumborum</i>
<i>M. spinalis</i>	<i>M. longissimus thoracis</i>
<i>M. splenius</i>	<i>M. obliquus externus abdominis</i>
<i>M. subscapularis</i>	<i>M. obliquus internus abdominis</i>
<i>M. supraspinatus</i>	<i>M. psoas major</i>
<i>M. teres major</i>	<i>M. rectus abdominis</i>
<i>M. trapézius</i>	<i>M. rectus femoris</i>
<i>Pars cervicalis</i>	<i>M. semimembranosus</i>
<i>Pars thoracaca</i>	<i>M. semitendinosus</i>
<i>M. transversusu abdominis</i>	<i>M. tensor fasciae latae</i>
<i>M. triceps brachii</i>	<i>M. vastus lateralis</i>
<i>Caput longum</i>	<i>M. vastus medius</i>
<i>Caput laterale</i>	

Anexo 2. Cortes de la canal



División de la canal en cuarto delantero y cuarto trasero



División en media canal

Cortes convencionales de la media canal bovino

